

Potentialités hydriques

Eaux superficielles et souterraines

Introduction :

La question de la disponibilité et d'accès à l'eau est sans aucun doute un des problèmes majeurs auquel devra faire face l'humanité durant le siècle à venir. Aujourd'hui on estime en effet qu'un habitant sur cinq de la planète n'a pas accès à l'eau en suffisance et un sur trois à une eau de qualité. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau". (Déclaration de Dublin, 1992). De fait, la compréhension et l'analyse du cycle de l'eau est la base de toute étude et réflexion au sujet de la gestion des eaux.

I- Définitions :

➤ L'**hydrologie** est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol.

Au titre des échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre, l'hydrologie s'intéresse aux précipitations (pluie et neige), à la transpiration des végétaux et à l'évaporation directe de la couche terrestre superficielle.

L'hydrologie de *surface* étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion, les écoulements des cours d'eau et les inondations.

L'hydrologie de *subsurface* ou hydrologie de la zone non-saturée étudie les processus d'infiltration, de flux d'eau et de transport de polluants au travers de la zone non saturée (encore appelée zone vadose). Cette zone a une importance fondamentale car elle constitue l'interface entre les eaux de surfaces et de profondeur.

L'hydrologie souterraine ou hydrogéologie porte sur les ressources du sous-sol, leur captage, leur protection et leur renouvellement.

L'hydrologie urbaine constitue un « sous-cycle » de l'eau lié à l'activité humaine : production et distribution de l'eau potable, collecte et épuration des eaux usées et pluviales.

L'hydrologie : Etude des eaux, de leurs propriétés.

➤ On parle d'hydrosphère pour désigner la partie de la planète dans laquelle l'eau se trouve. Les cycles **hydrologiques** sont donc présents dans l'hydrosphère.

II- L'eau, généralités :

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**.

Les mécanismes des mouvements de l'eau dans la nature sont déterminés par l'énergie thermique solaire, la gravité, l'attraction solaire, l'attraction lunaire, la pression atmosphérique, les forces intermoléculaires, les réactions chimiques, nucléaires et les activités biologiques, et enfin les activités humaines.

L'énergie thermique du soleil produit une circulation de l'air dans l'atmosphère, en raison du fait que la surface terrestre est réchauffée de façon inégale. La force de gravité est responsable des phénomènes de précipitations, de ruissellement, d'infiltration et de courant de convection.

L'attraction solaire et lunaire est à l'origine des marées et des courants marins. Les différences de pression atmosphérique occasionnent les déplacements horizontaux de l'air. Les vents sont eux-mêmes responsables du mouvement des couches superficielles dans les lacs et les océans. Les forces intermoléculaires dans le sol provoquent les phénomènes capillaires ainsi que la viscosité et influencent donc la vitesse d'écoulement.

L'eau est une des composantes de plusieurs réactions chimiques organiques ou inorganiques. Un autre type de transformation de l'eau est le processus physiologique qui se produit dans l'organisme animal.

Finalement, l'homme intervient directement sur les processus de mouvement et de transformation de l'eau. son action peut conduire à une meilleure gestion de sa plus précieuse ressource naturelle, mais elle peut aussi causer de nombreux problèmes, notamment en perturbant le cycle hydrologique, tant au niveau quantitatif que qualitatif.

III- Définition et composantes du cycle hydrologique :

1- Définition :

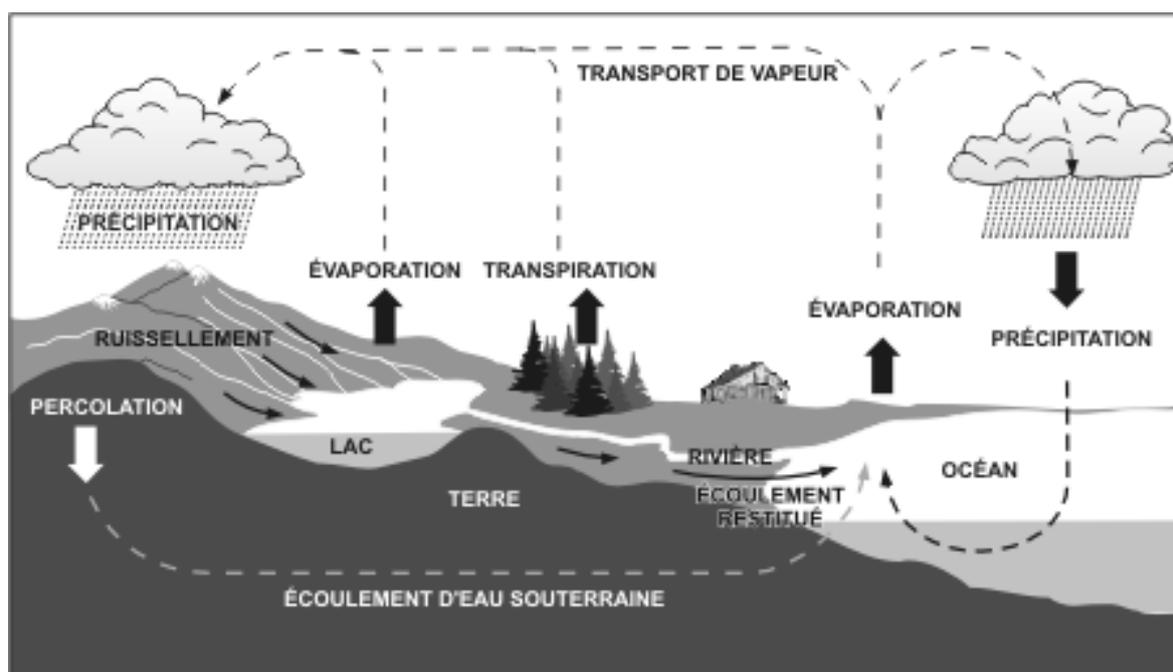
Le cycle hydrologique (Le cycle de l'eau) : Est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre. Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique ne surviennent pas seulement les uns à la suite des autres, mais sont aussi concomitants. Le cycle hydrologique n'a donc ni commencement, ni fin.

Le cycle de l'eau : Est un modèle représentant 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.

L'eau est présente partout sur la planète, mais depuis plus de 4 milliards d'années, l'eau se renouvelle et se recycle en suivant un cycle naturel appelé : **cycle naturel de l'eau**. La terre ne reçoit pas d'apport d'eau venant d'une source extérieure.

L'eau que nous consommons aujourd'hui est la même depuis la création de la Terre. En suivant un cycle naturelle se renouvelle perpétuellement tout en permettant aux êtres de vivre.

Dans de ce cycle, on montrera successivement l'arrivée de l'eau sur le sol, le devenir de cette eau (ruissellement, évaporation, infiltration), et alors on déterminera les principaux complexes hydrologiques (réserves souterraines, eaux stagnantes et réseaux hydrographiques) constitués.



- Le cycle de l'eau est donc sujet à des processus complexes et variés parmi lesquels nous citerons:
 - les précipitations,
 - L'évaporation,
 - la transpiration (des végétaux),
 - l'interception,
 - le ruissellement. l'infiltration. la percolation.
 - l'emmagasinement et les écoulements souterrains.
- Ces divers mécanismes sont rendus possibles par un élément moteur le soleil, organe vital du cycle hydrologique.

Les mécanismes des mouvements de l'eau dans la nature sont déterminés par,

- **L'énergie thermique du soleil:** produit une circulation de l'air dans l'atmosphère, en raison du fait que la surface terrestre est réchauffée de façon inégale.
- **La force de gravité:** responsable des phénomènes de précipitations, de ruissellement, d'infiltration et de courant de convection.
- **L'attraction solaire et lunaire:** à l'origine des marées et des courants marins.
- **Les différences de pression atmosphérique:** occasionnent les déplacements horizontaux de l'air.
- **Les forces intermoléculaires dans le sol:** provoquent les phénomènes capillaires ainsi que la viscosité et influencent donc la vitesse d'écoulement.
- **Les activités humaines:** l'homme intervient directement sur les processus de mouvement et de transformation de l'eau.

2- Les précipitations :

Sont dénommées **précipitations** toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

La vapeur d'eau de l'atmosphère se transforme en liquide lorsqu'elle atteint le point de rosée par refroidissement ou augmentation de pression. Pour produire la condensation, il faut également la présence de certains noyaux microscopiques, autour desquels se forment des gouttes d'eau condensées. La source de ces noyaux peut être océanique (chlorides, en particulier NaCl produit par l'évaporation de la mer), continentale (poussière, fumée et autres particules entraînées par des courants d'air ascendants) ou cosmiques (poussières météoriques).

Le déclenchement des précipitations est favorisé par la coalescence des gouttes d'eau. L'accroissement de poids leur confère une force de gravité suffisante pour vaincre les courants ascendants et la turbulence de l'air, et atteindre le sol.

Enfin, le parcours des gouttes d'eau ou des flocons de neige doit être assez court pour éviter l'évaporation totale de la masse. Les précipitations sont exprimées en intensité (mm/h) ou en lame d'eau précipitée (mm) (rapport de la quantité d'eau précipitée uniformément répartie sur une surface).

3- L'évaporation/l'évapotranspiration :

- **L'évaporation** se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On parle de sublimation lors du passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.

- Le terme **évapotranspiration** englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. On distingue :

- **L'évapotranspiration réelle (ETR)** : somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

○ **L'évapotranspiration de référence (ET_0) (anciennement évapotranspiration potentielle) :** quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. En général, des analyses spécifiques d'évaporation devront être faites pour des études de bilan et de gestion de l'eau par les plantes. Cependant, ces analyses approfondies sont moins nécessaires pour les études de projets d'aménagement où l'eau est plutôt considérée sous un aspect d'agent dynamique.

4- L'interception et le stockage dans les dépressions :

La pluie (ou dans certains cas la neige) peut être retenue par la végétation, puis redistribuée en une partie qui parvient au sol et une autre qui s'évapore. La partie n'atteignant jamais le sol forme **l'interception**. Son importance est difficile à évaluer et souvent marginale sous nos climats, donc souvent négligée dans la pratique.

Le stockage dans les dépressions est, tout comme l'interception, souvent associé aux pertes. On définit l'eau de stockage comme l'eau retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant et après une averse.

La quantité d'eau susceptible d'être interceptée varie considérablement. Si la végétation offre une grande surface basale ou foliaire, donc un important degré de couverture, la rétention d'eau peut atteindre jusqu'à 30% de la précipitation totale pour une forêt mixte, 25% pour les prairies et 15% pour les cultures. L'effet respectif de l'interception et du **stockage dans les dépressions** est très variable et diminue au cours de l'averse. Il provoque en générale un retard dans le démarrage et la réaction hydrologique qui peut être perçue à l'exutoire du bassin.

5- L'infiltration et la percolation :

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et des effets de pression.

La percolation représente plutôt l'infiltration profonde dans le sol, en direction de la nappe phréatique. Le taux d'infiltration est donné par la tranche ou le volume d'eau qui s'infiltrer par unité de temps (mm/h ou m³/s). La capacité d'infiltration ou l'infiltrabilité est la tranche d'eau maximale qui peut s'infiltrer par unité de temps dans le sol et dans des conditions données. L'infiltration est nécessaire pour renouveler le stock d'eau du sol, alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves aquifères. De plus, en absorbant une partie des eaux de précipitation, l'infiltration peut réduire les débits de ruissellement.

6- Les écoulements :

De par la diversité de ses formes, on ne peut plus aujourd'hui parler d'un seul type d'écoulement mais bien des écoulements. On peut distinguer en premier lieu les écoulements rapides des écoulements souterrains plus lents. Les écoulements qui gagnent rapidement les exutoires pour constituer les crues se subdivisent en :

○ **Écoulement de surface** (mouvement de l'eau sur la surface du sol) : Désigne le mouvement de l'eau dans le sol. On peut encore ajouter à cette distinction les écoulements en canaux ou rivières qui font appel à des notions plus hydrauliques qu'hydrologiques (à l'exception des méthodes de mesures comme nous le verrons ultérieurement).

- **Écoulement de subsurface** (mouvement de l'eau dans les premiers horizons du sol). L'écoulement de surface caractérise un écoulement sur une surface et s'exprime généralement par un rapport volume / surface / temps [$L^3/L^2/T$]. Il est ainsi souvent exprimé en millimètre par année hydrologique dans les études de bilans ou encore en litres par secondes et par hectares dans le cadre de projet d'aménagement des terres et des eaux (drainage ou irrigation). Les écoulements souterrains et en rivière font explicitement référence à la notion de débit, à savoir à un volume d'eau traversant une section par unité de temps [L^3/T].

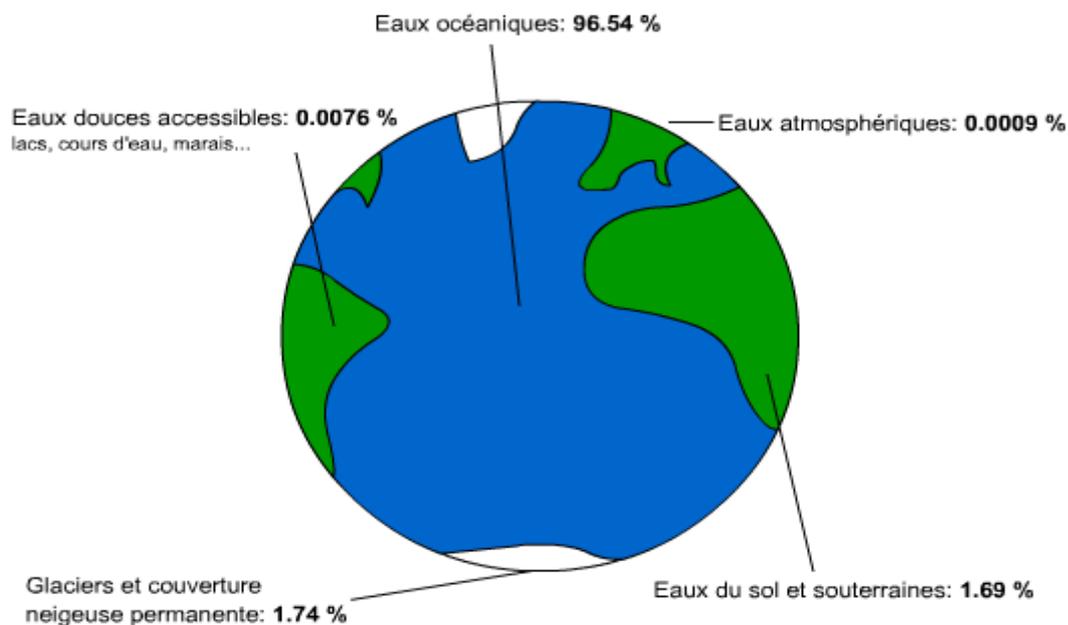
IV- La répartition des eaux :

Nous pouvons concevoir la répartition des eaux sur la terre selon différents points de vue :

- Une répartition quantitative et qualitative des eaux à l'échelle du globe, et par rapport aux différentes composantes du cycle hydrologique.
- Une répartition spatiale du bilan de l'eau sur les continents et à l'échelle d'une zone géographique.

1- A l'échelle du globe :

La terre, vue de l'espace, apparaît comme une planète recouverte en grande partie d'eau (planète bleue). Les océans occupent en effet 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.



Disponibilité mondiale d'eau.

Les eaux souterraines occupent des réserves mondiales en eau douce après les eaux contenues dans les glaciers. Elles devancent largement les eaux continentales de surface. Leur apport est d'autant plus important que, dans certaines parties du globe, les populations s'alimentent presque exclusivement en eau souterraine par l'intermédiaire de puits, comme c'est le cas dans la majorité des zones semi-arides et arides.

Les eaux continentales de surface (lacs d'eau douce, rivières, fleuves, etc.) sont, à l'inverse des eaux souterraines, très accessibles. Par contre, elles sont quantitativement infimes et sont susceptibles d'être plus facilement polluées malgré l'effort fait depuis une dizaine d'années pour en améliorer la qualité.

Quant aux eaux météoriques, elles peuvent paraître quantitativement très modestes, du moins dans certaines régions. Néanmoins, elles constituent une étape essentielle du cycle de l'eau.

Le pourcentage d'eau disponible pour l'homme est certes très faible, mais suffisant grâce à la circulation ou au recyclage de cette eau.

Le cycle global de l'eau se subdivise en cycles océanique et continental. Des échanges d'environ 40000 km³/an équilibrent le bilan de ces deux cycles. A l'échelle du globe, le bilan hydrique est théoriquement nul.

2- A l'échelle des continents :

A l'échelle continentale, les principaux éléments de la répartition des eaux sont donnés par le tableau ci-après. Le pourcentage des précipitations qui ruisselle est plus important dans l'hémisphère Nord (~40%) que dans l'hémisphère sud (Australie : ~35%, Afrique : ~20% et Amérique du sud : ~10%).

Tableau : Principaux éléments de la répartition des eaux à l'échelle du globe

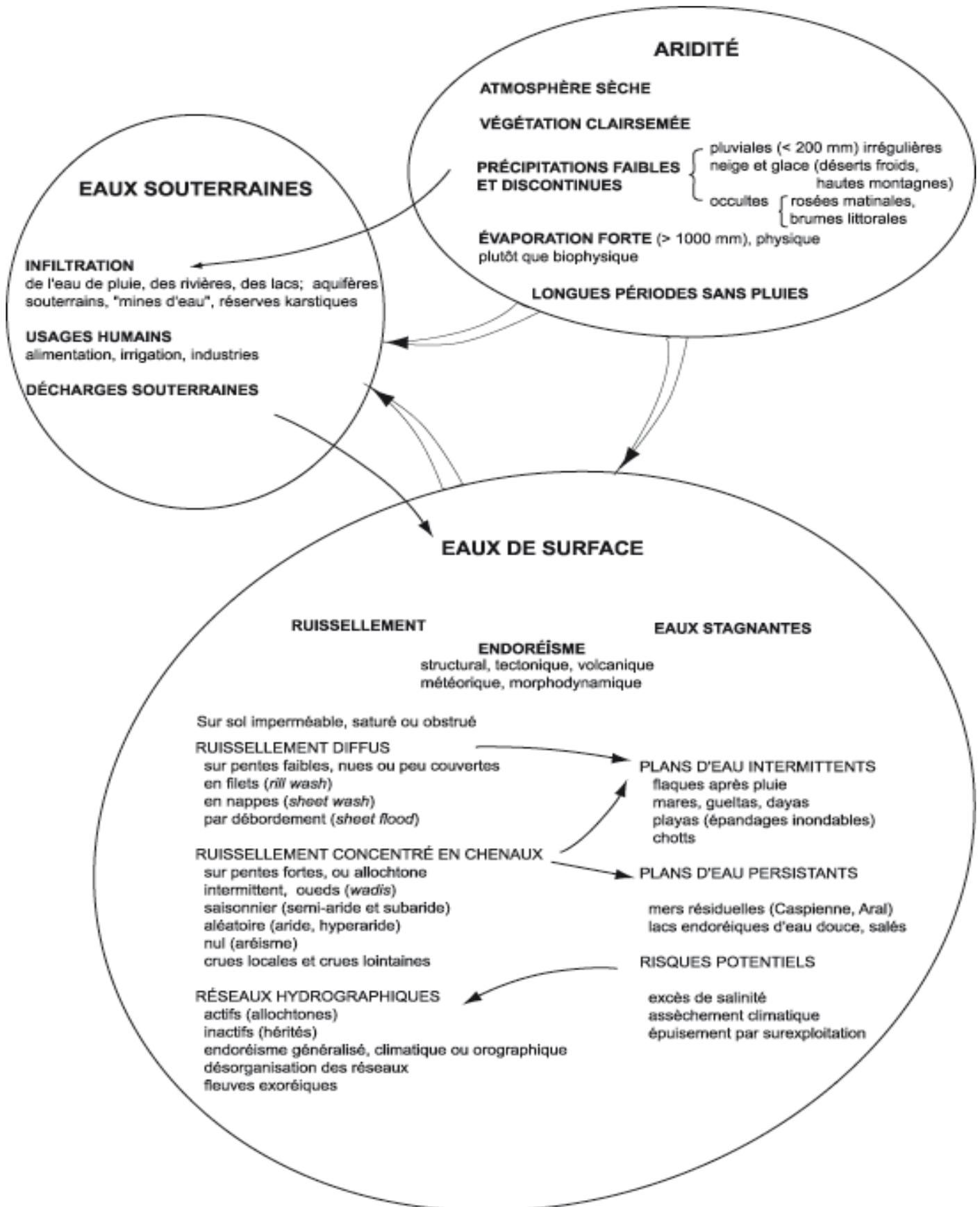
Continents	Précipitations mm	Evaporation mm	Ruissellement mm
Europe	790	507	283
Afrique	740	587	153
Asie	740	416	324
Amérique du Nord	756	418	339
Amérique du Sud	1600	910	685
Australie et Océanie	791	511	280
Antarctique	165	0	165
Moyenne pour tous les continents	800	485	315

Petite conclusion sur 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.

Dans la zone aride, c'est l'irrégularité qui est la règle : le cours d'eau aride est intermittent, l'oued se confond avec la crue, locale ou lointaine. Une autre partie s'évapore, et une autre s'infiltré et vient grossir les réserves d'eau souterraines : sous-écoulements et nappes profondes, présentes dans tous les grands déserts mais d'accès plus ou moins difficile.

La présence d'eaux stagnantes est favorisée par les structures tectoniques et par certains effets spécifiques de la géodynamique aride. Il s'agit de plans d'eau élémentaires (flaques, mares), d'épandages inondables (*sebkhas*.....) et de véritables lacs, salés ou non, à l'hydrologie complexe.



Les eaux des régions arides

L'eau et tout particulièrement l'eau souterraine - conditionne la vie dans les régions semi-arides et arides. Il n'est pas douteux que l'hydrologie - et notamment l'hydrogéologie - a un rôle primordial à y jouer.