

LE BILAN HYDRIQUE ,LE BILAN HYDROLOGIQUE.

Trop souvent confondus, le bilan hydrologique se situe à l'échelle du bassin versant et concerne une démarche hydrologique, le bilan hydrique se situe à l'échelle de la plante et participe d'une démarche agronomique.

Simple opérations comptables, le bilan hydrique et le bilan hydrologique visent tous les deux à établir le budget entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps donné.

Dans sa formulation la plus générale, il s'écrit:

$$P = Q + ETR + DR(u+h)$$

Tout ce qui tombe (P) dans un espace hydrologique et dans un laps de temps donné soit s'écoule (Q) soit repart dans l'atmosphère par évapotranspiration (ETR), soit participe à la recharge des réserves en eau du sol (Ru) ou du sous-sol (Rh). Les variations de réserve peuvent être également négatives et contribuer aux écoulements et/ou à l'évapotranspiration.

Suivant le schéma auquel on s'attache, et l'échelle considérée, on parlera de bilan hydrique, en général à l'échelle stationnelle (et dans ce cas le débit Q sera composé de l'infiltration profonde et/ou du ruissellement, et DRh sera ignoré), ou du bilan hydrologique à l'échelle d'un bassin versant.

Les bilans peuvent concerner également des éléments liés à l'eau, par exemple des éléments dissous (on parlera de "bilans géochimiques") ou des particules solides véhiculées par l'eau, ou même par d'autres facteurs (bilan érosif).

Calcul 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 :

$$P = Q + ETR + DR$$

équation valable à n'importe quel intervalle de temps, mais qui n'a d'intérêt qu'utilisée dans un intervalle ayant une signification hydrologique (année hydrologique - et non pas légale ; épisode de crue ; saison hydrologique...).

Les pluies et les débits sont le plus souvent mesurés, le débit étant exprimé en lame d'eau écoulée en tenant compte de la surface du bassin versant. Les choses sont plus complexes en ce qui concerne le terme DR, variation des réserves en eau, soit positive, soit négative, qui cumule les variations de stockage de l'eau dans la tranche superficielle du sol (réserve hydrique, ou réserve "utile", Ru) et dans le sous-sol (réserve hydrologique, Rh). La réserve hydrologique, en régime non influencé, peut se déduire de l'équation de la loi de décrue, dans la mesure où celle-ci a pu être établie. La réserve hydrique est encore plus difficile à connaître avec précision : elle peut se mesurer (mais en quelques points...) ou s'estimer à partir de différents modèles de reconstitution ou de décroissance. La difficulté qu'il y a toujours dans une telle démarche, comme l'imprécision dont le terme DR est généralement entaché font que, dans la mesure du possible, on essaye de s'en affranchir en partant de moments privilégiés du cycle hydrologique entre lesquels les variations de niveau des réserves peuvent être considérées comme nulles ou négligeables : pour Rh, ce sera des moments où le débit de base est le même. Pour Ru, ce sont les valeurs d'équilibre (capacité de rétention ou au contraire épuisement) qui, selon les climats, peuvent se maintenir une bonne partie de l'année, qui seront privilégiées.

L'ETR demeure souvent inconnue, et reste souvent la valeur à déduire par soustraction à partir de l'équation de bilan. Le problème est que, étant le terme résiduel, il est entaché à la fois des erreurs de mesure sur la pluie et les débits, des incertitudes sur la surface du bassin versant, et des difficultés d'estimation des réserves... Si cette méthode des bilans hydrologiques demeure en tout état de cause la seule méthode de référence possible, à l'échelle du bassin, pour connaître l'évapotranspiration réelle, il ne faut pas pour autant en sous-estimer les faiblesses. Celles-ci sont particulièrement graves en cas de comparaison du fonctionnement hydrologique de bassins versants différents.

Calcul du bilan hydrique

Le bilan hydrique se situe à l'échelle stationnelle de la plante, ou tout au plus du champ, et s'écrit :

$$P = ETR + I + DRu$$

Les gains du système, sous forme de pluies ou d'apports par irrigation, sont mesurés ou connus. Les pertes se composent de l'évapotranspiration, comme

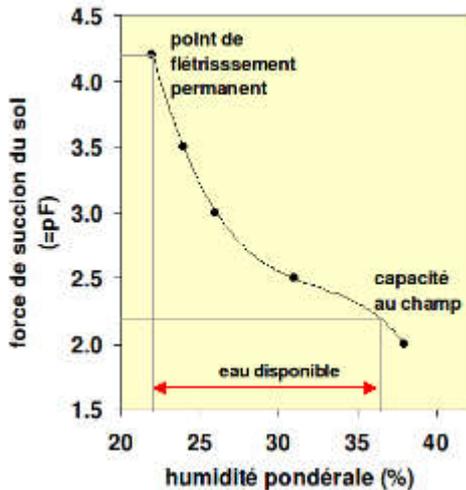
dans le cas du bilan hydrologique, et de l'infiltration profonde I , qui représente l'eau transitant par le profil pédologique sans y demeurer, et qui est donc perdu pour le système "sol - plante - atmosphère" ; ce terme I correspond à l'écoulement c'est-à-dire à la somme des termes Q et DR du bilan hydrologique. le terme DR se limite alors à DR_u , et ne concerne que les variations de stocks d'eau dans la partie superficielle du sol ; il est le plus souvent mesuré directement par le suivi des profils hydriques. Le terme I est également connu à partir de ce suivi des profils hydriques et de la détermination du plan de flux nul, par exemple par des méthodes tensiométriques ; il est le plus souvent positif, mais peut être négatif en cas de remontées capillaires.

L'ETR peut soit être déduite de l'équation, soit être mesurée, en utilisant des méthodes indirectes (micro-météorologique de bilan d'énergies) ou des méthodes directes à partir de lysimètres. L'estimation indépendante des différents termes du bilan est alors un moyen très rigoureux d'avoir une idée des marges d'erreur sur les valeurs établies des différents termes de l'équation de bilan.

Qu'est ce que la réserve en eau du sol ? Quelle est l'unité de cette grandeur ?

La réserve en eau du sol se définit comme le volume d'eau contenu dans le sol à un instant donné. Ce volume, ou stock d'eau, est généralement exprimé en épaisseur de lame d'eau (en mm), pour être facilement comparé aux pluies et à l'évapotranspiration. C'est une **grandeur dynamique** qui évolue au cours du temps, sous l'action conjointe des précipitations et de l'évapotranspiration. Cependant toute l'eau du sol n'est pas utilisable par la végétation, soit parce que les racines ne colonisent pas tout le volume de sol, soit parce que l'eau est trop fortement retenue par le sol pour être extraite par les racines.

Qu'est ce que la réserve utile d'un sol ?



Un exemple de courbe de rétention d'un horizon argilo-limoneux (appelée aussi courbe pF-humidité). Les fortes valeurs de pF correspondent aux faibles humidités des sols.

La réserve utile (RU) correspond à la fraction de la réserve qui est exploitable par la plante, c'est-à-dire la fraction accessible par les racines et absorbable par leur succion. Elle est exprimée en millimètres. C'est une **variable d'état**, qui dépend des propriétés physico-chimiques du sol, de sa composition granulométrique, de l'arrangement des particules de sol et de la distribution de la porosité. L'eau utilisable par les plantes est égale au volume d'eau emmagasiné par la tranche de sol explorée par les racines entre deux états hydriques caractéristiques : la capacité au champ (l'eau que peut retenir le sol après écoulement de l'eau gravitaire, ou ressuyage) et le point de flétrissement permanent (au-delà duquel la végétation ne peut plus extraire l'eau). Cette quantité d'eau disponible par la plante est déterminée rigoureusement par l'établissement de **courbes de rétention en eau** (dites aussi courbes pF-humidité) sur des échantillons de sols non remaniés prélevés dans chaque horizon (cylindre ou mottes). A défaut, il existe des tables de coefficient ou des fonctions permettant d'estimer l'humidité massique du sol à ces états caractéristiques à partir de propriétés plus ou moins complexes (texture, teneur en carbone, densité, capacité d'échange cationique ...). Attention, il existe assez peu de telles fonctions calibrées spécifiquement pour les sols forestiers. L'utilisation de fonctions de pédotransferts construites sur des sols agricoles peut conduire à des biais.

Le bilan hydrique

Etablir le bilan en eau d'une région sur une période donnée, c'est chiffrer les quantités d'eau qui entrent et sortent de différents bassins versants qui la composent. Le bilan hydrique d'un bassin versant s'exprime schématiquement par la formule suivante :

$$P = E + Q + I + U + dR$$

Avec P : Précipitation

I : Infiltration

E : Evaporation + Evapotranspiration

U : Utilisation humaine

Q : Ecoulement

dR : Stockage

1. La précipitation sous toutes ses formes

Forme liquide (pluies) forme solide (neige, grêle, grésil) ainsi que les précipitations dites occultes ou déposées (rosée, gelée blanche) (Musy & Higy, 2004). Les précipitations sont provoquées par un changement de température et de pression. Elles sont exprimées en intensité (mm/h), en lame d'eau précipitée (mm). A part la quantité, les précipitations sont caractérisées par leur nature physique (pluie, neige, grêle, rosée), leur fréquence (nombre de fois par an), leur durée de chute (minutes ou heures), leur répartition dans le temps (ex. jours successifs) et dans l'espace (échelle locale) (Sahani, 2010).

2. L'évaporation

L'évaporation désigne le passage de la phase liquide à la phase gazeuse de l'eau. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de la vapeur d'eau. Elle concerne aussi l'eau contenue dans le sol. Le facteur principal régissant l'évaporation est la radiation solaire soit la quantité d'énergie calorifique. Les autres facteurs auxquels l'évaporation est liée sont l'humidité relative, la pression, le mouvement de l'air, la forme et la dimension de la surface d'évaporation, l'épaisseur de la lame d'eau (Sahani, 2010).

Le terme évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. C'est une composante essentielle du cycle hydrologique et son étude se justifie pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant.

3. L'écoulement

L'écoulement se définit comme étant le déplacement de l'eau à la surface du sol. C'est un phénomène discontinu dans le temps

Pour que l'écoulement puisse survenir, il faut que l'eau soit présente en surface. Cela signifie que la pluie n'a pas été interceptée par la végétation et qu'elle ne s'est pas infiltrée. C'est donc le surplus d'eau que le sol n'a pas pu absorber au cours d'une pluie, résultant du défaut de la perméabilité. L'écoulement découle de la saturation du sol qui limite la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol (Mutiviti, 2004).

D'après Mutiviti (2004), on distingue trois types d'écoulement :

- L'écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration qui se produit lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à la capacité d'infiltration du sol ;
- L'écoulement de subsurface qui se produit lorsque la conductivité latérale est beaucoup plus importante que la conductivité verticale ;

- L'écoulement sur sols saturés ou écoulement de retour qui se produit lorsque la capacité du sol à stocker et à transmettre latéralement le flux d'eau est dépassée par la pluie.

4. L'infiltration

L'infiltration désigne le processus de pénétration de l'eau dans les couches superficielles du sol et l'écoulement vertical de cette eau dans le sol et le sous-sol sous l'action des forces de gravité.

La percolation représente le mouvement vertical profond dans le sol, en direction de la nappe phréatique. C'est le déplacement de l'eau dans un milieu saturé (Mutiviti, 2004).

L'infiltration est nécessaire pour renouveler le stock d'eau du sol, alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves des aquifères. Elle permet de réduire les volumes d'eau écoulés en surface (Musy & Higy, 2004).

5. Le stockage

Les réservoirs du cycle hydrologique sont :

- L'eau interceptée : l'interception est le processus de retenue de la pluie par la végétation ou la toiture. Dans la pratique, l'importance de l'interception est difficile à évaluer.

- Le stockage dans les dépressions : il s'agit de l'eau retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant et après une averse.

- Les eaux du sol et de la nappe : ce sont des eaux stockées plus profondément. Elles peuvent être salées ou non. Les nappes sont dites libres dans le cas où les terrains environnants sont perméables. Elles sont captives dans le cas où ces mêmes terrains présentent une très faible perméabilité, voire une imperméabilité.

- Les eaux des cours d'eau, lacs et océans : le réservoir océanique est le plus grand réservoir d'eau. Les lacs dont le volume et la surface sont nettement plus faibles que ceux des mers et des océans constituent la réserve principale d'eau douce liquide. On ajoute des lacs artificiels qui ont un rôle prépondérant dans les problèmes d'aménagement, de protection contre les crues et de production d'énergie. Les cours d'eau, de par leur aspect dynamique, constituent le principal vecteur de transport de l'eau liquide de la terre vers les océans. Ils permettent aussi de stocker de l'eau de manière temporaire.

Comment établir un bilan hydrique simplifié ?

On établit un bilan mensuel à partir de la pluie du mois P , de l' E_{tp} et de la RFU .

-Si P est supérieur à E_{tp} , alors $E_{tr}=E_{tp}$, Il reste un excédent $(P-E_{tp})$ qui est affecté en premier lieu à la RFU , et si la RFU est complète, à l'écoulement Q .

-Si **P** est inférieur à **Etp**, on évapore toute la pluie et on prend à la **RFU** jusqu'à vider l'eau nécessaire pour satisfaire l'**Etr** soit :

$$\mathbf{Etr = P + (RFU, Etp - P)}$$

$$\mathbf{RFU = 0 \text{ ou } RFU + P - Etp}$$

Si **RFU** =0, la quantité (**Da =Etp-Etr**) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de sécheresse

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pr	67	55	41	49	54	77	60	67	65	55	61	62
Etp	3	8	33	61	90	103	109	94	67	35	14	5
RFU	100	100	100	88	52	26	0	0	0	20	67	100
Etr	3	8	33	61	90	103	86	67	65	35	14	5
Da	0	0	0	0	0	0	23	27	2	0	0	0
Ec	64	47	8	0	0	0	0	0	0	0	0	23

Pour établir ce bilan, il faut se donner la **RFU** maximale en fonction du bassin versant.

Par ailleurs, il faut connaître l'état de la **RFU** à la fin du mois antérieur au début de l'établissement du bilan. On tient alors l'un des 2 raisonnements suivants :

- Si la **RFU** doit être pleine, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la remplir, c'est-à-dire à la fin du dernier mois ou **P** est supérieur à **Etp**
- Si la **RFU** doit être vide, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la vider, c'est-à-dire à la fin du dernier mois ou **P** est inférieur à **Etp**. Ayant établi ce bilan par mois, on évalue l'**Etr** annuelle par la somme des 12 **Etr** mensuelles.