

### **3. Physique du Sol : état hydrique - mouvement de l'eau et des solutés**

#### **3.1 Physique du sol**

La physique du sol, consiste à étudier ses phases solide, liquide et gazeuse de même que leurs interactions. Ce milieu triphasique contient, en proportions variables une phase solide (argiles, limons, sables, matière organique, cailloux, concrétions variées), une phase liquide (eau, substances dissoutes), et une phase gazeuse (oxygène, azote, gaz carbonique ...). C'est aussi un milieu poreux organisé et complexe dans lequel on distingue de multiples niveaux d'organisation : des niveaux macroscopiques (couches superposées ou horizons définis par les pédologues) et des niveaux microscopiques (structure lamellaire des minéraux argileux). Entre ces niveaux d'assemblage, qui vont de quelques mètres parfois (épaisseur exceptionnelle d'un horizon) jusqu'au nanomètre (les espaces entre les feuillets d'une argile), existent des vides (pores) dont la géométrie est complexe et les dimensions extrêmement variées. La géométrie de ces pores varie aussi du fait des variations de volume liées à l'état hydrique du sol, d'autant plus importantes que le sol est riche en argile et que ces dernières présentent des propriétés de gonflement-retrait, d'où les fentes de retrait visibles dans un sol argileux asséché.

Le sol est donc à la fois un milieu divisé par la présence de ces vides à différentes échelles, potentiellement déformable et partiellement continu par la présence de sa fraction solide.

#### **3.2 La texture, sa structure et sa densité apparente**

Reflètent la façon dont les particules minérales et organiques se combinent pour former le tout « sol », constitué d'une matrice et d'interstices non occupés par de la matière minérale solide, appelés « pores ». Ces interstices peuvent être occupés par l'air, par l'eau ou par d'autres matières gazeuses ou liquides.

Les phénomènes de rétention en eau du sol et de mouvement de l'eau du sol sont déterminants dans :

- la disponibilité en eau pour les plantes et les organismes du sol,
- l'infiltration et le drainage,
- le ruissellement et l'érosion.

Le transport des solutés constitués de nombreux éléments nutritifs a lieu dans la solution de sol. La circulation de l'air dans le sol et les échanges gazeux régissent les émissions de CO<sub>2</sub> dans sol et la disponibilité de l'O<sub>2</sub> pour les racines des plantes. Les propriétés thermiques du sol régulent la température à différentes profondeurs. Elles sont aussi en cause dans la vitesse de réchauffement du sol au printemps. La résistance du sol est influencée par sa texture et sa teneur en eau, et détermine la vulnérabilité d'un sol aux glissements de talus et à la compaction.

### **3.3 La disponibilité en eau pour les plantes et les organismes du sol**

Le sol est le lieu de l'absorption hydrique, pour les plantes mais aussi pour tous les micro-organismes qui y résident. Toute approche raisonnée du prélèvement d'eau dans le sol repose sur la maîtrise de sa disponibilité dans l'environnement racinaire ou microbien. Ce paramètre complexe de « biodisponibilité » intègre deux grandes notions, l'une quantitative qui définit le stock d'eau mobilisable dans le milieu par les organismes vivants et l'autre qualitative qui définit les possibilités énergétiques de transfert de l'eau du sol vers ces organismes.

Les sols et la ressource en eau sont deux éléments capitaux de l'environnement. Ils fonctionnent comme un système et sont intrinsèquement liés. En effet, l'essentiel de l'eau qui parvient à la surface des écosystèmes terrestres, notamment via les précipitations, s'infiltre dans les sols, ou ruisselle à leur surface. Quels sont les flux et les interactions qui s'opèrent au sein du système sol-eau ? En quoi les sols ont-ils, en fonction de leur structure, de leur texture, de leur état de santé, de leur type de couvert et d'usage, une influence sur la qualité et la quantité d'eau disponible pour les plantes et le vivant dans son ensemble ? Ces questions sont cruciales pour comprendre l'impact des projets de restauration forestiers et agroforestiers, tant dans l'augmentation de l'infiltration des eaux de pluie au sein des nappes que dans la diminution du ruissellement et de ses risques.

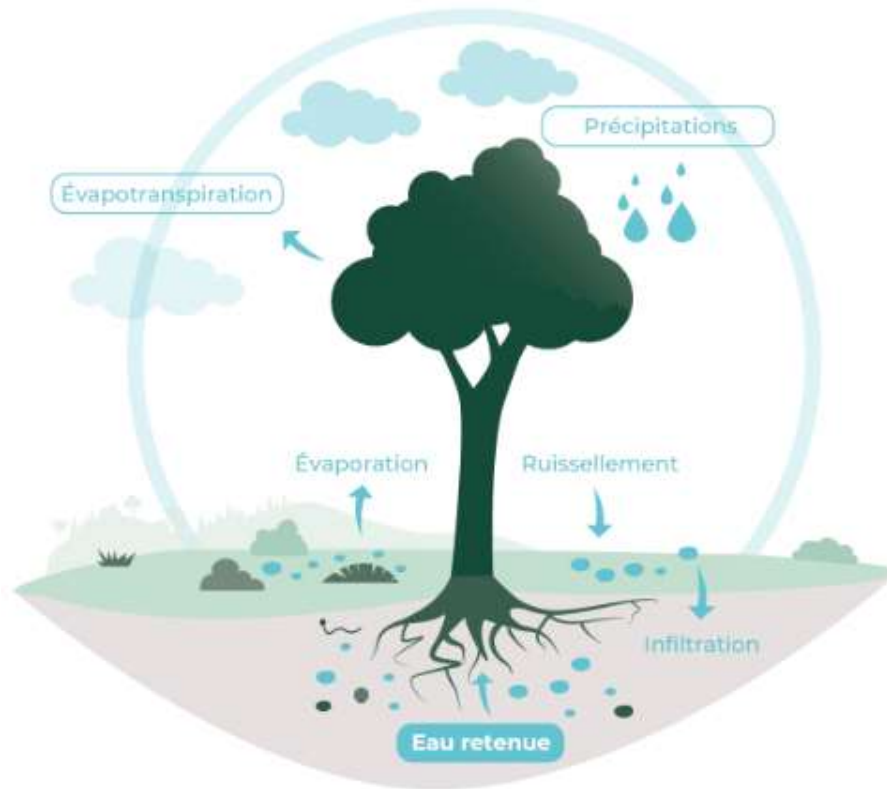
#### **3.3.1 Rôle du sol dans le cycle de l'eau**

Partie vivante de la géosphère, le sol est à la fois le support et le produit du vivant, puisqu'il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports de matière organique. Le sol est ainsi l'un des principaux puits de carbone planétaires. Il possède également un rôle primordial de régulation dans le cycle de l'eau. Si l'eau contenue dans les sols ne représente que 0,064% de l'eau douce totale disponible à l'échelle de la terre, elle est cependant essentielle à l'alimentation des végétaux et au processus de photosynthèse, ainsi qu'à la vie de la grande diversité des micro-organismes vivants contenus dans le sol, dont des animaux (lombrics, arthropodes, nématodes, protozoaires), des champignons ou encore des bactéries.

#### **3.3.2 Interactions entre sols et eau**

De manière générale, la quantité d'eau disponible dans le sol pour la biodiversité végétale et animale et les champignons, provient des précipitations. Plus de la moitié des précipitations annuelles passe en effet dans le sol et dans les végétaux (cultures, forêts, plantes...), avant d'être majoritairement évapotranspirée. Le reste des pluies rejoint les cours d'eau, les lacs et s'infiltre dans les nappes phréatiques.

La quantité d'eau stockée temporairement dans les sols, circule dans des microporosités, c'est-à-dire des cavités de petite taille comportées dans le sol, et constitue la réserve en eau du sol. Cette capacité stockée dépend du climat, de la structure et de la texture du sol, de sa profondeur ou encore de son taux en matière organique (richesse en carbone).



**Figure 1** : Interactions entre le sol et l'eau

### 3.4 Les flux d'eau dans les sols

En connaissant la réserve utile d'un sol, il est possible de déterminer les flux de drainage profond, c'est-à-dire la recharge des nappes phréatiques, ou inversement l'épuisement des ressources en eau du sol.

Pour cela, il faut comparer le volume des précipitations à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cet indice bioclimatique traduit en millimètres d'eau le pouvoir évaporant de l'atmosphère, commandé par le rayonnement solaire, le dessèchement de l'atmosphère et la vitesse du vent.

Si le volume des précipitations est inférieur ou équivalent à l'ETP, alors les flux d'eau bleue sont inexistantes (il n'y a pas de ruissellement et les nappes ne se rechargent pas), même si les flux d'eau verte se poursuivent (la transpiration des plantes a lieu jusqu'à l'épuisement de la réserve utile en eau dans les sols environnants).

En revanche, si le volume des précipitations est supérieur à l'ETP, alors la réserve utile des sols commence à se recharger. Le ruissellement, c'est-à-dire l'écoulement de l'eau à la surface des sols (par opposition à l'eau qui y pénètre par infiltration), est directement corrélé aux précipitations. Il survient lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la vitesse d'infiltration, ou lorsque le profil du sol est saturé en eau (phénomène de saturation de la réserve utile en eau du sol, pouvant éventuellement déclencher un transfert vers les nappes).

### **3.4.1 Impacts du ruissellement sur les sols et la qualité de l'eau**

#### **- L'érosion**

La limitation du ruissellement et de ses risques pour l'environnement, par exemple l'érosion, est l'un des enjeux des projets de restauration des écosystèmes forestiers et agroforestiers. Le ruissellement est en effet l'un des moteurs de l'érosion : l'eau qui s'écoule entraîne avec elle des particules plus ou moins importantes en fonction de la quantité d'eau en mouvement et du coefficient de pente, créant un effet abrasif sur le terrain soumis au ruissellement. L'érosion peut ainsi être la source d'une perte en terre et en éléments nutritifs préjudiciables au niveau agronomique.

#### **- Les inondations**

Le ruissellement peut également conduire à des crues des cours d'eau, des glissements de terrain, des coulées de boue et des inondations en aval.

#### **- Les pollutions liées à l'agriculture**

Il est enfin un facteur d'aggravation des pollutions liées à l'agriculture : les engrais et les produits phytosanitaires sont entraînés vers les cours d'eau, puis vers les milieux littoraux ainsi que vers les mers et les océans, au lieu de rester sur le lieu de traitement, provoquant une dégradation de la qualité de l'eau pour la biodiversité dans son ensemble.

### 3.4.2 Mouvement de l'eau et des solutés dans le sol

Le sol en présence des différentes phases (air, eau, polluant) est le siège de nombreux phénomènes physiques et chimiques parfois complexes, difficilement contrôlables, chaque phase pouvant interagir entre elles. Aussi, moyennant certaines hypothèses simplificatrices, la modélisation numérique reste, à ce jour, un outil effectif dans la recherche de solutions aux problèmes de transport de polluant dans les sols.

La mise en valeur du sol et la gestion de l'eau sont étroitement liées. Bien que les plantes aient des besoins en eau très différents, aucune d'entre elles ne peut pousser sans une certaine quantité d'eau. Cependant, un certain nombre de plantes ont développé par nécessité une grande résistance à la sécheresse.

Les plantes peuvent contenir jusqu'à 90 % d'eau. L'eau est absorbée principalement à travers le système racinaire de la plante, et les éléments nutritifs sont absorbés en même temps que l'eau. Des racines saines ont besoin d'air (aération) pour se développer, mais un excès d'eau dans le sol empêche l'air de pénétrer, ce qui endommage les racines de la plante. Ainsi, la gestion de l'eau est extrêmement importante, aussi bien dans les régions où l'eau est abondante que dans celles où elle est rare.

Le type de sol influe fortement sur sa capacité à retenir l'eau. Un sol riche en matières organiques a une meilleure aération, une meilleure structure et une meilleure capacité de rétention.

Les terrains lourds et collants sont trop denses pour permettre à l'air de pénétrer et à l'eau de sortir ; les plantes ne peuvent donc pas respirer et risquent de mal pousser. Lorsqu'un sol de ce type sèche, il devient comme du ciment, et l'eau met beaucoup de temps pour pénétrer. En revanche, les sols sablonneux à structure grossière sont trop lâches pour retenir l'eau avant qu'elle ne s'écoule ailleurs. Dans ce type de sol, les racines de la plante ne peuvent pas trouver assez d'eau pour pousser, si elles ne reçoivent pas régulièrement un apport d'eau extérieur. Pour ces deux types de sols, une application régulière de matières organiques améliorera la capacité du sol à retenir et à libérer assez d'eau et d'air.