

Auteurs : Ghislain DE MARSILY (plus d'infos)

Résumé : Le cycle de l'eau est aujourd'hui bien compris : évaporation, transport dans l'atmosphère par le vent et les nuages, retombée sous forme de pluie et de neige, écoulement sur les continents et retour aux océans. Nous allons, dans ce qui suit, proposer une description très empirique de la partie continentale du cycle de l'eau, en imaginant des expériences simples qui permettent de « montrer » les écoulements, ainsi que certains aspects de la pollution des nappes. Enfin, nous répondrons à quelques questions plus générales sur l'origine de l'eau sur Terre, la salinité de la mer, le rôle de l'effet de serre sur le cycle de l'eau... Chapitre issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.

Copyright : Creative Commons France. Certains droits réservés.



Le cycle de l'eau

## Introduction

Le cycle de l'eau est aujourd'hui bien compris : évaporation, tant sur les océans que sur les continents, transport dans l'atmosphère par le vent et les nuages, retombée sous forme de pluie et de neige, écoulement sur les continents et retour aux océans, par l'intermédiaire des rivières et des nappes, ainsi que par migration de la glace sur les calottes glaciaires et formation d'icebergs qui fondent lentement en mer. Nous allons, dans ce qui suit, proposer une description très empirique de la partie continentale du cycle de l'eau, en imaginant des expériences simples qui permettent de « montrer » les écoulements, ainsi que certains aspects de la pollution des nappes. Puis nous donnerons quelques chiffres de bilan, à l'échelle globale, afin de quantifier l'importance de ces écoulements. Enfin, nous répondrons à quelques questions plus générales sur l'origine de l'eau sur Terre, la salinité de la mer, le rôle de l'effet de serre sur le cycle de l'eau...

Quelle vision les Anciens avaient-ils du cycle de l'eau ? Ils s'étaient, à ce sujet, posé deux questions : pourquoi les sources coulent-elles quand il ne pleut pas, et comment se fait-il que le niveau des mers ne monte pas, alors que sans cesse les fleuves s'y écoulent ? La réponse donnée par les philosophes grecs était simple, limpide, et répondait à la fois aux deux questions : l'eau de mer s'infiltrait dans les terres le long du rivage, se dirige en profondeur et se dessale au passage, puis remonte vers les sources et s'écoule dans les rivières. Simple, n'est-ce pas ? Il était donc facile de comprendre pourquoi le niveau des mers ne montait pas et pourquoi les sources coulaient : c'était la même eau que l'on voyait passer sans cesse, selon un cycle de l'eau souterrain. Une ombre existait cependant au tableau : d'où venait l'énergie permettant à l'eau de remonter des points bas (la mer) aux points hauts (les sources) ? Les principes de la thermodynamique n'étant pas encore compris, cette question ne choqua personne, et ce... jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle.

À cette époque, le physicien Pierre Perrault établit que le débit de la Seine pouvait facilement être expliqué à partir de la pluie tombée du ciel, sans recourir à l'eau des profondeurs, et Edmund Halley montra que l'évaporation sur la Méditerranée était du même ordre de grandeur que la somme du débit des fleuves qui s'y jettent : inutile là encore d'invoquer une fuite souterraine de l'eau de la mer vers les continents. Le cycle de l'eau par l'atmosphère était donc finalement établi...

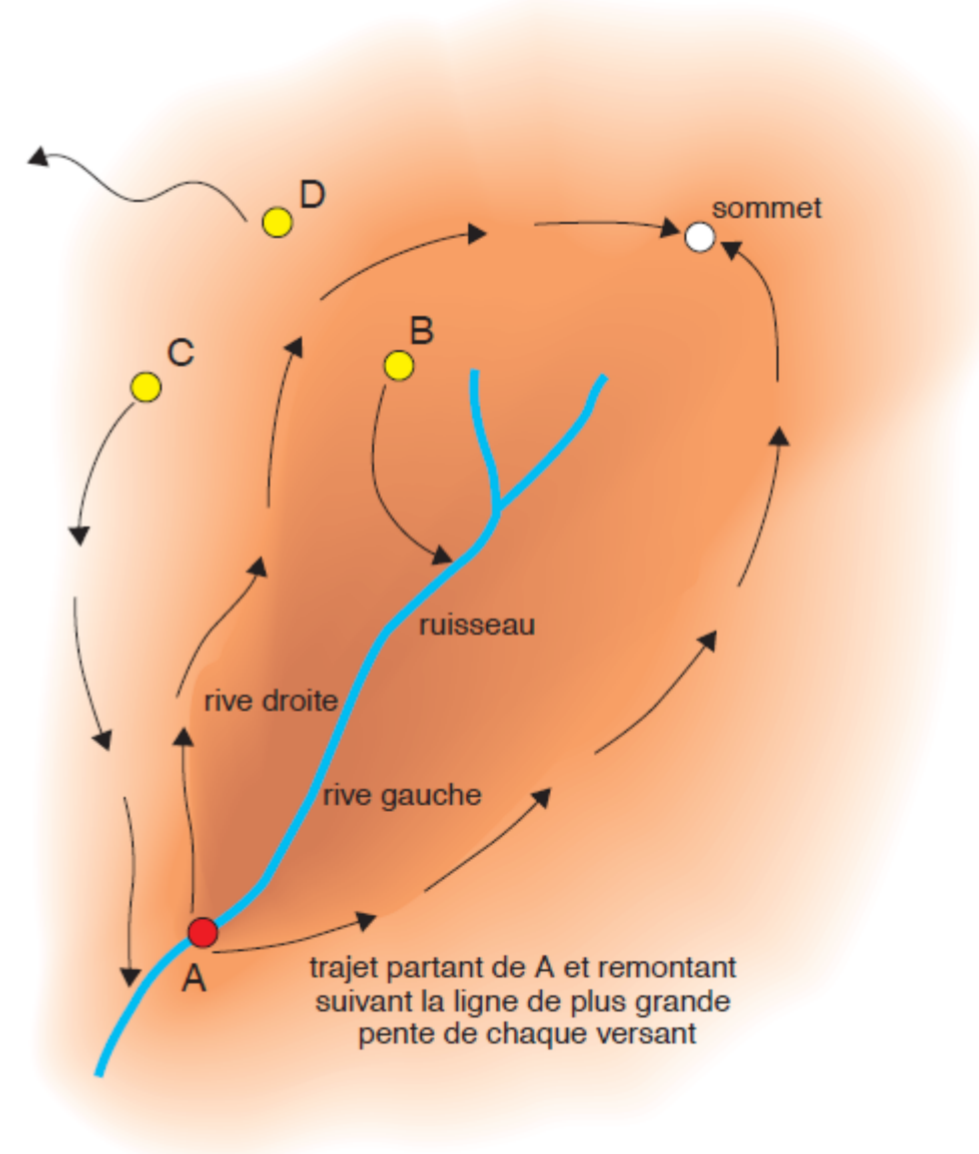
Mais reprenons pas à pas les étapes continentales du cycle de l'eau, à partir du moment où elle tombe du ciel, en tâchant d'illustrer l'enchaînement des maillons successifs de la chaîne tout en passant des phénomènes visibles, à la surface, aux phénomènes cachés, en milieu souterrain.

Notre raisonnement se situera à l'échelle du vallon, de la parcelle de terre et du ruisseau, que nous connaissons bien ; et des petites maquettes, faciles à construire, illustreront chacun de ces maillons...

## Où va l'eau qui tombe du ciel ?

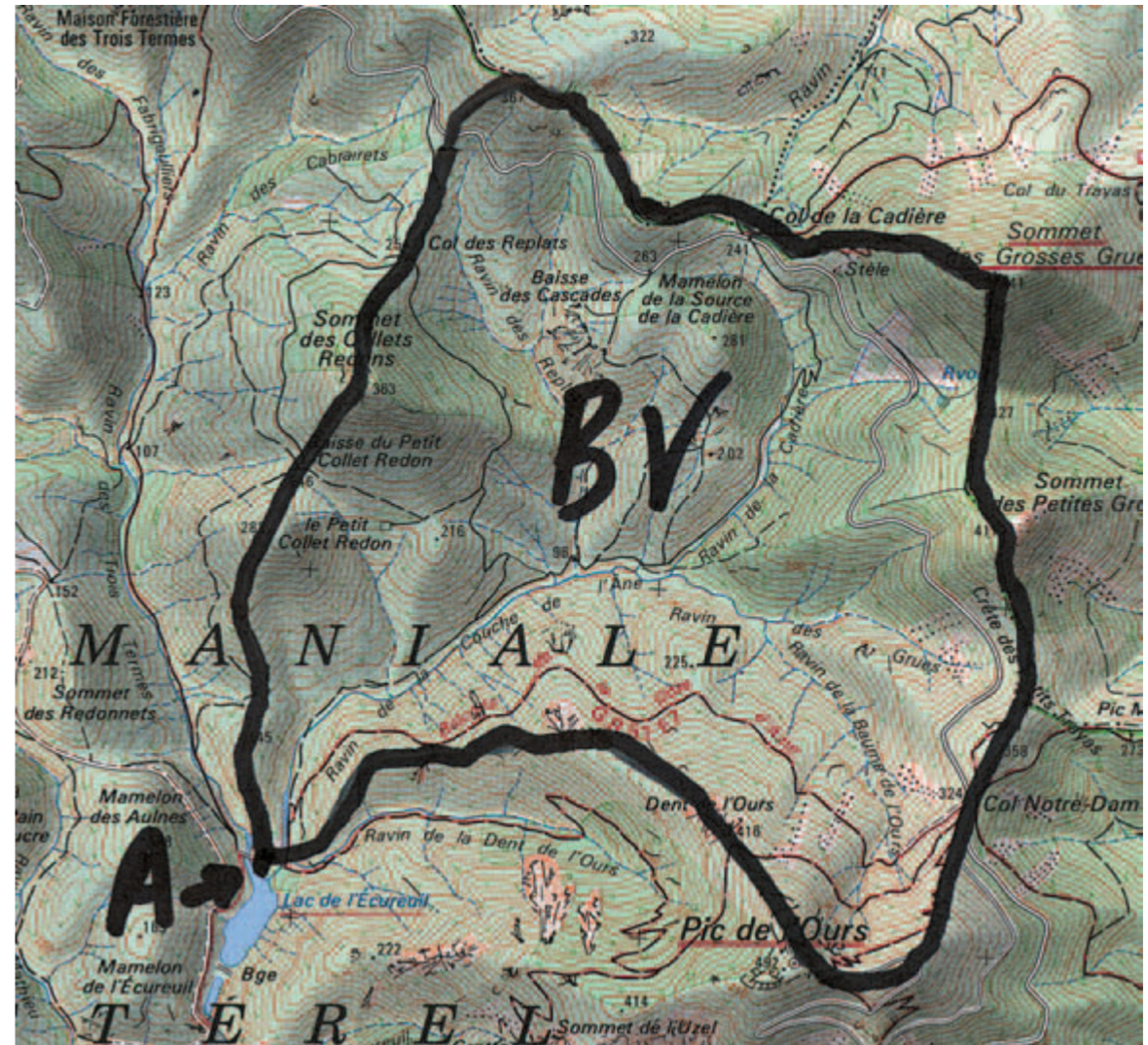
Tout le monde comprend que, quand il pleut, de l'eau ruisselle sur le sol et se dirige vers les points bas (elle coule dans le sens de la pente) pour finalement arriver à la rivière. Pour le voir, menons une expérience simple : vidons sur le sol, dans un endroit pentu, un arrosoir plein d'eau. Celle-ci ruisselle et coule vers le bas, dans le sens de la pente la plus forte (c'est-à-dire qu'elle ne coule pas en biais, mais parallèle au sens de la pente, comme un skieur qui fait du « schuss », pour descendre le plus vite possible). Aux Treilles, nous avons fait l'expérience au bord d'un petit ruisseau, que l'eau a fini par rejoindre (lorsqu'on en versait suffisamment). De cette expérience, nous pouvons déduire ce que l'on appelle le bassin versant du point de la rivière où nous nous trouvons.

Dans la pratique, on définit le bassin versant d'une rivière entière (par exemple, la Marne) en choisissant comme point A le point de confluence avec la Seine, ou, pour la Seine, le point d'arrivée en mer.



Plaçons-nous au bord du ruisseau, au point A sur la figure ci-dessus, et gravissons la colline, selon la pente la plus forte, dans les traces d'un skieur qui aurait fait du schuss et serait arrivé au point A. Formons plus précisément deux groupes, qui remontent la pente à partir du point A en suivant la ligne de la plus grande pente, l'un sur la rive droite du ruisseau et l'autre sur la rive gauche (en regardant vers l'aval – c'est-à-dire dans la direction vers laquelle l'eau s'écoule –, la rive droite est celle qui correspond à notre côté droit). Les deux équipes montent chacune de leur côté, et se rejoignent sur un sommet, ou sur le bombement d'un plateau, qui correspond au sommet du « bassin versant ». La région comprise entre les chemins empruntés par les deux équipes, depuis le point de départ A jusqu'au sommet (en plus foncé sur la figure), est appelée bassin versant du ruisseau au point A. Toutes les eaux de pluie reçues par ce bassin versant aboutissent au point A, tandis que les eaux tombées à l'extérieur de cette région ne s'écoulent pas vers A. En effet, comme l'eau coule toujours dans le sens de la plus forte pente, à partir d'un point situé à l'intérieur du bassin versant (le point B, par exemple), l'eau arrive au ruisseau avant A, tandis que, pour un point extérieur au bassin versant (les points C et D, par exemple), elle arrive au ruisseau après A, ou rejoint un autre ruisseau. Il y a donc autant de bassins versants que de points A choisis le long du ruisseau.

Pour dessiner le bassin versant d'une rivière ou d'un ruisseau, plutôt que de le faire « avec les pieds » sur le terrain, on utilise une carte topographique IGN, par exemple au 1/50 000, et on dessine le bassin en partant toujours du point A choisi sur la rivière, puis en remontant vers l'amont, le trait de crayon étant toujours perpendiculaire aux lignes de niveau. La carte ci-contre représente un bassin versant aboutissant au lac de l'Écureuil, dans le massif de l'Estérel. © IGN-Paris 2001, autorisation n°80-1056, extrait de carte IGN 1/25000 n°3644 O.



Cette notion de bassin versant est très importante en hydrologie : pour connaître le débit qui risque de s'écouler en un point donné d'une rivière – si cette dernière est en crue, par exemple – afin de prévoir les dimensions d'un pont ou une digue, il faut connaître la surface du bassin versant en ce point, estimer l'intensité maximale, en mm/h, d'une pluie extrême, rare, qui ne se produit, par exemple, qu'une fois en dix ans ou même en cent ans (à partir des chroniques de pluie de la région), et estimer le coefficient de ruissellement de cette pluie (voir page suivante). Le produit de cette intensité de la pluie par le coefficient de ruissellement et par la surface du bassin versant indiquera le débit probable au point choisi. Pour savoir quel volume de retenue donner à un barrage afin de se protéger des crues, ou pour stocker de l'eau en hiver destinée à l'irrigation en été, il faut connaître la quantité d'eau susceptible de s'écouler vers le barrage, également obtenue en multipliant la surface du bassin versant par la hauteur de pluie qui peut ruisseler, pour un orage donné (afin de stocker la crue correspondante), ou pendant une saison donnée (pour stocker l'eau d'irrigation correspondante).

## Comment mesurer le débit d'une rivière ?

Pour mesurer approximativement le débit d'un ruisseau ou d'une rivière, nous jetons dans l'eau un petit flotteur (morceau de papier, feuille, bâtonnet...). Nous avons au préalable installé deux repères, en tendant deux cordes à travers le ruisseau, séparées par exemple de 1 m, de 10 m ou de 100 m. Nous mesurons au chronomètre le temps mis par le flotteur pour franchir la distance qui sépare nos repères. Disons qu'il a mis sept secondes pour faire 1 m. On répète plusieurs fois la mesure pour confirmation. La vitesse de l'eau, en surface du ruisseau, est donc de 1 m en sept secondes, soit 0,143 m/s.

Pour obtenir le débit, il faut mesurer la section à travers laquelle se produit l'écoulement, c'est-à-dire la largeur du ruisseau (disons 0,60 m) et la profondeur moyenne de la lame d'eau (disons 0,20 m). La section est donc de 0,12 m<sup>2</sup>, et le débit de 0,143 x 0,12 = 0,017 m<sup>3</sup>/s, soit encore 17 litres par seconde. C'est évidemment peu précis, car la vitesse de l'eau varie dans le lit du ruisseau (elle est plus faible aux bords et au fond), mais cela donne un ordre de grandeur. On prend souvent les deux tiers de la valeur ainsi trouvée, pour tenir compte de ces différences de vitesse ; ici, on trouverait alors 11 litres par seconde.

Dans la pratique, les hydrologues font des mesures de la vitesse réelle de l'eau en plusieurs points de la section de la rivière (des sous-sections), avec un « micromoulinet », une petite hélice de métal plongée dans l'eau, qui tourne plus vite quand le courant est plus fort. On compte simplement, avec un compteur, le nombre de tours de l'hélice en une minute. Une table convertit le nombre de tours en vitesse de l'eau. Le débit de la rivière est ensuite calculé en multipliant la vitesse mesurée en chaque point par la sous-section de la rivière correspondant à ce point, puis en faisant la somme de ces débits par sous-section. Cette opération s'appelle un « jaugeage de la rivière ».

Les hydrologues posent aussi des échelles (que l'on appelle limnimétriques) graduées dans les rivières, souvent sur la pile d'un pont, et mesurent périodiquement la hauteur de l'eau sur l'échelle. Cette mesure est aujourd'hui le plus souvent faite sur un enregistreur automatique, qui utilise un flotteur ou un capteur de pression. Plus la hauteur d'eau dans la rivière est importante, plus le débit est grand. Ceci est facile à comprendre : si la hauteur d'eau augmente, la section d'écoulement aussi ; de plus, en général, la largeur de la rivière augmente, ce qui augmente encore la section (sauf si les berges sont verticales) ; enfin, en général aussi, la vitesse de l'eau est plus forte s'il y a plus d'eau dans la rivière.

Les hydrologues ont constaté que le débit d'une rivière est à peu près toujours le même, pour une hauteur d'eau donnée : quand on mesure la hauteur d'eau à l'échelle, on la convertit donc en débit grâce à une courbe de tarage, qui indique le débit pour une hauteur d'eau donnée. Cette courbe de tarage est établie à partir de jaugeages réalisés au micromoulinet, sur toute la section de la rivière, depuis le fond jusqu'au niveau de l'eau au jour de la mesure. De telles mesures sont faites à plusieurs jours d'intervalle, pour différentes hauteurs d'eau dans la rivière.

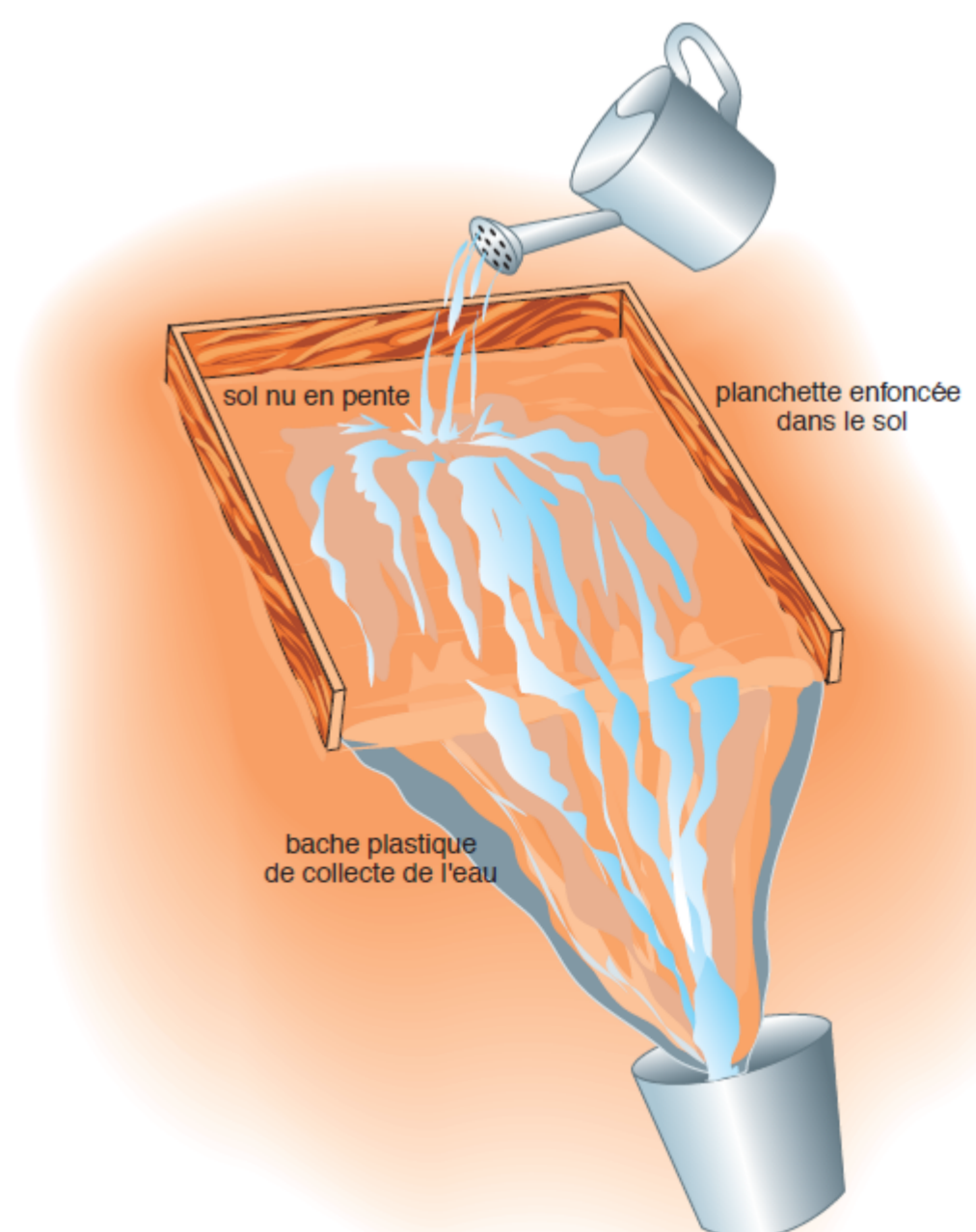
Il faut regarder cependant si la section est modifiée par la crue, par exemple si des branchages sont venus s'y coincer, ou si des érosions très importantes ont approfondi le lit de la rivière... Dans ce cas, la courbe de tarage doit être entièrement refaite, car la relation hauteur-débit établie avant la modification de la section n'est plus valable.

## Est-ce que toute l'eau tombée ruisselle ?

Pour étudier cette question, nous construisons sur un sol nu pentu un carré de 1 m de côté, délimité sur trois côtés par des planchettes enfoncées dans le sol. Le quatrième côté, qui se trouve vers l'aval, est équipé d'une paroi en plastique (un sac poubelle découpé) dont le bord amont est un peu enterré et le bord aval replié pour former un entonnoir, qui va nous permettre de récupérer l'eau qui ruisselle dans un seau. Nous versons un grand arrosoir de 10 litres sur le sol, en prenant soin de n'arroser que l'intérieur du carré. Au début, si le sol est sec, on voit bien que la terre « boit » une partie de l'eau. Ensuite, cette dernière se met à ruisseler, et on la récupère dans le seau. Aux Treilles, nous avons récupéré moins de 5 litres, sur les 10 litres versés. Une partie de l'eau s'infiltre donc dans le sol. On appelle « coefficient de ruissellement » la fraction de l'eau de pluie qui ruisselle (ici, ce coefficient serait de 50 %).

Nous mesurons ensuite la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Pour ce faire, nous prenons une boîte de conserve d'une contenance de 1 l, ouverte à ses deux bouts, que nous enfonçons dans le sol, sur un centimètre. Puis nous la remplissons d'eau. Nous remarquons que l'eau descend dans la boîte, parce qu'elle s'infiltre dans le sol. On mesure la vitesse de descente en millimètres par heure, par exemple.

Si l'on poursuit l'expérience un long moment, en versant périodiquement de l'eau dans la boîte, on voit que la vitesse de descente diminue avec le temps : un sol bien sec au départ « boit » plus vite qu'un sol déjà humide. Mais cette vitesse ne devient jamais nulle, elle atteint au bout de quelque temps une vitesse constante. Suivant la nature du sol, cette vitesse peut être de 10, 100 ou 1 000 mm/h.



## Parfois, l'eau ne ruisselle jamais

Prenons une autre boîte de conserve, cette fois ouverte seulement en haut. Mettons-la dehors quand il pleut. Il s'agit d'un pluviomètre rudimentaire, pour mesurer la pluie. Nous mesurons la vitesse de montée de l'eau dans la boîte, en millimètres par heure. L'eau monte, par exemple, de 10 mm en une heure. Si, dans la boîte sans fond enfoncée dans le sol, nous avons observé qu'il pouvait s'infiltrer par exemple 100 mm en une heure, alors il est clair qu'il ne pleut pas assez vite pour que l'eau puisse ruisseler. Toute l'eau de pluie s'infiltre donc dans le sol, et le coefficient de ruissellement est nul.

*On peut le vérifier, avec la boîte sans fond qui est restée enfoncée dans le sol : on ne voit pas d'eau s'y accumuler, bien qu'il pleuve.*

C'est donc l'intensité de la pluie (nombre de millimètres de pluie par heure), comparée à la capacité d'infiltration du sol (nombre de millimètres d'infiltration possible par heure), qui va déterminer la présence ou non de ruissellement. Ainsi, si le sol est très sableux, comme dans la forêt de Fontainebleau, la pluie ne ruisselle jamais ; au contraire, quand le sol est argileux, comme dans le Gers, la vitesse d'infiltration est très faible, et la moindre pluie se met à ruisseler.

### **Que devient l'eau qui s'est infiltrée ?**

*Nous prélevons un fragment du sol, à l'endroit où nous avons fait l'expérience de ruissellement et d'infiltration. Nous le séchons dans le four de la cuisine, pendant deux ou trois heures, à four pas trop chaud (on choisit conventionnellement une température de 105 °C pour ne pas détruire la matière organique ou même déstabiliser les argiles, ce qui modifierait les propriétés du sol). Nous mettons le sol sec dans un petit moule à gâteau en aluminium, doublé d'un petit morceau de chiffon ou de papier filtre. Au préalable, nous avons percé des trous avec un couteau pointu dans le fond du moule. Nous pesons le moule avec son sol sec sur une balance, puis nous versons sur le sol sec un volume connu d'eau, par exemple 50 cl, mesuré à l'aide d'un verre gradué emprunté à la cuisine. Une partie de l'eau versée (si l'on en a versé assez) traverse le sol et ressort par les trous faits dans le moule. Nous récupérons cette eau dans un verre, puis mesurons le volume d'eau recueilli avec le verre gradué. Nous constatons que nous avons recueilli moins d'eau que nous n'en avons versé (par exemple 30 cl récupérés pour 50 cl versés). C'est le sol qui a gardé le reste, comme une éponge. Pour le vérifier, nous pesons le sol humide, quand toute l'eau qui veut bien sortir s'est égouttée. Sachant qu'un centilitre d'eau pèse 10 g, on doit trouver que le sol humide pèse plus lourd que le sol sec (200 g de plus, dans cet exemple, pour une différence de 20 cl).*

*Versons à nouveau de l'eau sur notre sol humide. Cette fois, nous constatons que toute l'eau versée traverse le sol et se retrouve dans le verre. Le « sol-éponge », une fois mouillé, ne retient pas davantage d'eau.*

*Avec cette expérience, nous avons montré deux choses : que le sol retient de l'eau lorsqu'il est sec, mais qu'il la laisse passer plus bas quand il est déjà mouillé.*

### **Pourquoi le sol se dessèche-t-il ?**

Que devient l'eau du sol mouillé ? Pour le savoir, posons par terre le petit moule contenant le sol mouillé, à l'extérieur, par beau temps. Protégeons-le seulement à l'aide d'un grillage (un tamis de cuisine retourné) pour éviter qu'oiseaux ou fourmis nous cherchent noise. Tous les matins, nous pesons le moule. Le poids diminue tous les jours, à moins qu'il n'ait plu. S'il fait beau et chaud pendant longtemps, nous reviendrons au poids initial du sol sec (pas tout à fait cependant, car le four à 105 °C dessèche plus efficacement que l'évaporation par l'atmosphère).

L'air sec quand il ne pleut pas, le vent, et la chaleur apportée par les rayons du soleil dessèchent donc le sol.

*On peut comparer deux petits moules remplis de sols mouillés identiques, et constater que si l'un est gardé dehors à l'ombre, et l'autre au soleil, celui qui est au soleil se dessèche plus vite. Mais cette expérience ne suffit pas.*

*Nous allons préparer trois moules à gâteau en aluminium, tous identiques. L'un contient le sol mouillé, comme décrit ci-dessus, les deux autres sont dépourvus de trous au fond. Dans le second, nous mettons seulement un poids connu d'eau ; le troisième contient une culture de lentilles, que nous avons fait germer quelques jours avant, sur une bonne épaisseur de coton, qui joue le rôle d'éponge. Ce troisième moule est aussi pesé, avec le coton bien humide. Tous les jours, nous pesons les trois moules. Nous constaterons que les deux moules contenant l'eau seule et les lentilles perdent du poids à peu près à la même vitesse, tandis que le moule qui contient le sol en perd moins vite.*

L'eau s'évapore donc : directement quand elle est à la surface, comme dans une flaque qui reste après la pluie ; directement, à partir du sol nu mouillé, sur toute l'épaisseur du sol et pas seulement à la surface ; par l'intermédiaire de la végétation, qui « pompe » l'eau du sol par ses racines, comme les lentilles ont pompé l'eau du coton. Ce « pompage » de l'eau du sol par la végétation est fonction de la profondeur atteinte par les racines : du blé qui vient de germer a des racines d'un centimètre, mais qui atteignent un mètre quand il est bien développé ; certains arbres peuvent envoyer des racines à dix mètres de profondeur, voire plus.

On appelle évapotranspiration l'extraction de l'eau du sol par les effets cumulés de l'évaporation directe et de la transpiration par les feuilles de la végétation, qui extrait l'eau du sol grâce à ses racines. Une très grande partie de l'eau qui s'est infiltrée dans le sol pendant la pluie est donc stockée temporairement dans le sol superficiel (en pratique, dans le premier mètre du sol sous la surface) et s'évapore ou sert à alimenter en eau la végétation.

---

Source URL: <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/20333/29-notions-clefs-le-cycle-de-leau>