

Mots clés : fertilité des sols, système racinaire, bilan hydrique, réserve utile, évapotranspiration, irrigation

Cette fiche fait partie d'un ensemble de fiches traitant de la fertilité durable des sols agricoles.

L'eau est indispensable à la vie des plantes

Les plantes sont essentiellement constituées d'eau et leur teneur en eau varie de 80 à 95 %. Cette eau, ainsi que les nutriments nécessaires à la croissance de la plante, sont puisés dans le sol par les racines. L'eau est ensuite transportée des racines aux feuilles par des organes spécialisés, les vaisseaux du xylème. Au niveau des feuilles, les plantes perdent une grande partie de cette eau par transpiration, dont le rôle est double :

- la transpiration foliaire fait monter la sève brute composée d'eau et de sels minéraux des racines aux feuilles où a lieu la photosynthèse ; seule une petite partie de l'eau de la sève brute est utilisée pour la photosynthèse (voir ci-dessous) ;
- elle permet la photosynthèse, qui conduit à la photo-oxydation de l'eau produisant du dioxygène (O₂) et des protons (H⁺). Ces derniers permettent de réduire le CO₂ capté au niveau des stomates des feuilles et de former des molécules organiques (sucres).

La transpiration est un mécanisme indispensable à la croissance des plantes. Il faut en moyenne que les plantes absorbent 500 litres d'eau pour produire un kilogramme de matière sèche.

Sous notre climat tempéré, les pluies d'automne et d'hiver constituent une réserve d'eau dans le sol, qui sera utilisée par les plantes pendant la période de végétation (printemps, été) ; l'absorption d'eau par les plantes durant cette période participera à l'assèchement du sol en été. La quantité d'eau stockée en automne et en hiver est très dépendante du type de sol¹. En raison du changement climatique, l'eau de pluie qui y est stockée est souvent insuffisante pour les cultures d'été, d'autant que la réduction des pluies de printemps augmente ce déficit hydrique. Il en résulte un recours accru à l'irrigation, même dans des régions qui jusqu'ici n'en avaient pas besoin.

L'irrigation est une manière efficace pour augmenter et régulariser les rendements. Elle permet de cultiver des zones à faible potentiel, avec des cultures fruitières ou légumières. Pour optimiser l'utilisation de l'eau de pluie et de l'eau d'irrigation, il est nécessaire de faire appel à plusieurs notions (réserve utile, évapotranspiration) afin de réaliser un bilan hydrique. Il faut aussi utiliser les plantes les mieux adaptées au sol et au climat de la région de culture.

Le stockage de l'eau dans le sol

Dans un sol sain (notion qui s'oppose aux sols hydromorphes), l'eau circule par gravité (eau gravitaire) en utilisant les vides de la macroporosité, qui ont une taille de 6 à 8 µm (micromètres). Après une pluie ou un arrosage, l'eau va en quelques heures, parfois quelques jours, être drainée et permettre à nouveau la circulation de l'air dans le sol. L'eau gravitaire, qui va atteindre les horizons plus profonds et éventuellement rejoindre la nappe phréatique, ne sert donc pas à l'alimentation en eau de la plante.

C'est dans la microporosité du sol, où elle circule par capillarité, que l'eau est stockée, devenant ainsi disponible pour la plante. Il existe aussi dans le sol une part d'eau non disponible, car elle est fortement liée à certains constituants comme les feuillets d'argile.

¹ cf. fiches [01.08.Q01 : Les constituants physiques du sol](#), [01.08.Q02 : La matière organique : son rôle essentiel pour la fertilité \(première fiche sur la matière organique\)](#) et [01.08.Q03 : La matière organique : son rôle essentiel pour la fertilité \(seconde fiche sur la matière organique\)](#)

La fraction d'eau du sol qui peut être prélevée par les plantes se situe entre :

- la *capacité au champ*, qui correspond à la capacité de rétention maximale du sol, où l'eau est à son niveau maximum après ressuyage ;
- le *point de flétrissement*, où l'eau n'est plus mobilisable par la plante. Comme son nom l'indique, ce point correspond à la situation où s'observe la perte de rigidité d'une plante herbacée due à un manque d'eau.

La quantité d'eau utilisable pour la plante est la différence entre la *capacité au champ* et le *point de flétrissement permanent*. Elle est nommée *réserve utile* (RU) et s'exprime en millimètres d'eau (un millimètre équivaut à 1 litre/m² ou 10 m³/hectare). La RU d'un sol est très dépendante de sa nature pédologique comme le montrent les ordres de grandeur suivants :

- RU de 0,9 à 1,3 mm d'eau par cm en sol sableux,
- RU de 1,3 à 1,6 mm d'eau par cm en sol sablo-limoneux,
- RU de 1,8 à 2,0 mm d'eau par cm en sol limoneux ou argileux.

La matière organique (MO) du sol peut retenir jusqu'à 5 à 6 fois son poids en eau. Il faut tenir compte de sa teneur dans chaque horizon pour calculer la RU, en particulier pour l'horizon de surface.

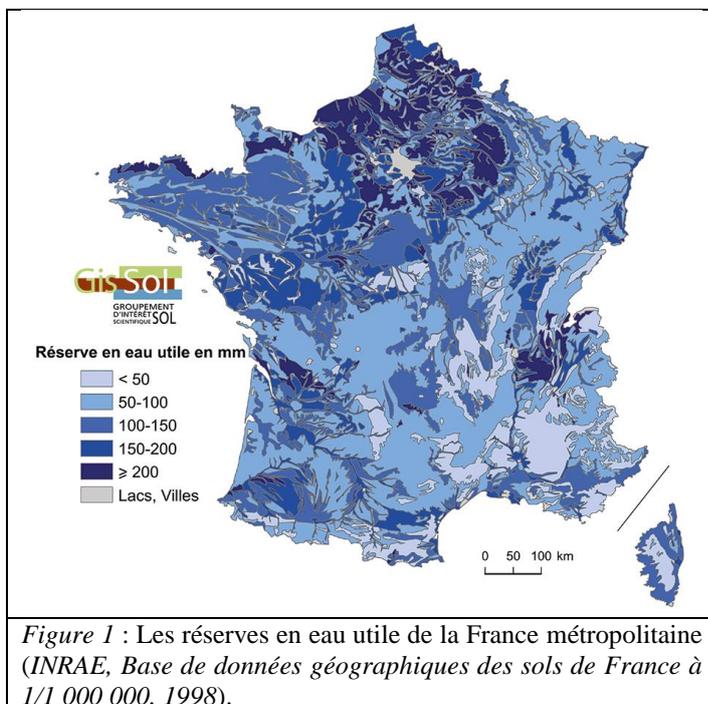
Pour estimer la RU totale d'un sol, il suffit, pour chaque horizon, de calculer la RU de chaque centimètre en fonction de la texture et de la teneur en MO, de multiplier cette valeur par l'épaisseur de la couche de l'horizon, puis d'additionner la RU de tous les horizons. Il faut en général éliminer le volume occupé par les éléments grossiers (cailloux), mais certains cailloux poreux comme la craie peuvent contenir de l'eau utilisable.

La *Figure 1* présente une carte de la RU totale de France métropolitaine. Le Bassin parisien a des valeurs de RU très élevées, en raison :

- de sols sur limon profond (plus d'un mètre), avec des RU supérieures à 200 mm,
- de sols en Champagne où la roche mère est en craie, avec une RU de 260 mm en raison des remontés d'eau par capillarité dans la craie, qui peuvent fournir jusqu'à 100 mm d'eau par jour aux cultures.

En revanche, certains sols du pourtour du Bassin parisien (Poitou-Charentes, Champagne berrichonne, plateaux calcaires de l'Auxerrois) et du Bassin aquitain sur calcaire jurassique ont des RU plus faibles, de l'ordre de 50 à 100 mm.

De plus, les RU peuvent être très variables d'une parcelle à l'autre, et même à l'intérieur d'une parcelle.



Améliorer la résistance à la sécheresse du système sol-plante

Augmenter la réserve en eau dans le sol

La teneur en matières organiques (MO) d'un sol joue un rôle important pour évaluer la RU. En effet, les apports de MO permettent d'augmenter la capacité de rétention en eau dans l'horizon superficiel. Pour accroître significativement cette teneur, il est nécessaire d'apporter de grandes quantités de MO, par exemple du compost. Cette technique n'est réellement pratiquée que sur des faibles surfaces (comme en maraîchage), car elle est très coûteuse. Ainsi, pour augmenter de 45 mm la RU, il faut passer de 2 à 4 % de MO, soit un apport d'environ 90 tonnes de MO par hectare.

En grandes cultures, pour passer de 2,0 % à 2,2 % de MO, il faut employer des stratégies à plus long terme que l'apport annuel. Ainsi, il faut cultiver une céréale à paille tous les deux ans, avec un enfouissement des pailles, ou réintroduire une prairie dans la rotation, pendant une trentaine d'années, pour obtenir des résultats significatifs. Il faut remarquer qu'une augmentation de 0,2 % de matière organique ne se traduira que par une augmentation de la RU de 5 mm.

Le maintien d'une bonne teneur en MO et d'un pH autour de 7 est indispensable pour avoir une bonne stabilité structurale du sol et une bonne pénétration de l'eau en évitant le ruissellement de surface.

Favoriser le bon fonctionnement du système racinaire

Le système racinaire joue un rôle essentiel dans l'alimentation en eau des plantes. L'état sanitaire des racines est important, et il existe souvent des maladies ou des ravageurs qui détruisent le système racinaire. Par exemple le piétin échaudage, maladie cryptogamique du blé (*Gaeumannomyces graminis tritici*), détruit les racines, créant un stress hydrique conduisant à un échaudage des épis.

Les racines de nombreuses plantes sont associées à des champignons symbiotiques (mycorhizes), qui leur permettent d'explorer un volume de sol beaucoup plus important que ne le ferait leur seul système racinaire. La présence de ces champignons augmente la capacité des plantes à extraire l'eau du sol.

La génétique pour améliorer la tolérance des plantes à la sécheresse

Les travaux de sélection visent à augmenter la tolérance des plantes à la sécheresse. Cependant, les gains de rendement obtenus actuellement sur ces critères ne sont que de quelques quintaux, soit l'équivalent, en grandes cultures, d'un gain de rendement obtenu par une augmentation de la RU de 20 mm à l'aide d'eau d'irrigation.

La recherche d'espèces ou de variétés ayant des précocités mieux adaptées aux nouveaux cycles des pluies associés au changement climatique est prometteuse. La recherche d'aptitudes nouvelles et originales de certaines plantes pourrait permettre de profiter des opportunités liées au changement climatique.

L'irrigation

L'irrigation : une technique agronomique indispensable à la production agricole

Environ 40 % de la production alimentaire mondiale dépend actuellement de l'irrigation, avec environ 324 millions d'hectares irrigués (2012) et une progression annuelle de 3 % au cours des dernières décennies. L'irrigation est donc bien indispensable à la production agricole.

En France, la surface équipée pour l'irrigation est de l'ordre de 2 millions d'hectares, soit 8,5 % de la SAU. En raison du changement climatique, les sécheresses sont de plus en plus fréquentes : une étude des longues séries climatologiques des précipitations, sur la seconde moitié du XX^e siècle, montre une tendance significative à l'augmentation des sécheresses estivales. Cette tendance devrait s'aggraver d'ici la fin du XXI^e siècle. Notre pays, qui dispose de ressources en eau considérées comme confortables, voit une consommation nette de l'agriculture de 45 % de l'eau douce, chiffre faible par rapport à d'autres parties du monde (la moyenne mondiale est de 70 %). Cependant, la demande liée à l'agriculture se concentre en période estivale, et peut monter à 80-90 % dans certaines régions, suscitant des conflits d'usage. (cf. fiche [10.06.005 : L'irrigation agricole en France](#))

L'irrigation est particulièrement importante et stratégique pour les productions à haute valeur ajoutée, comme les cultures maraîchères et horticoles en plein champ et l'arboriculture sous climat sec ou irrégulier. Les rendements et la qualité de ces produits dépendent directement de l'irrigation.

Nécessité d'un bilan hydrique pour piloter l'irrigation

Pour piloter au plus juste l'irrigation, les bilans hydriques sont nécessaires afin de calculer constamment le niveau d'eau disponible dans le sol, en regard des besoins des plantes. Le principe du calcul est relativement simple, mais nécessite de connaître l'évapotranspiration, qui est le processus de transfert d'une quantité d'eau de la plante et du sol vers l'atmosphère. Si une partie des précipitations déposée sur la surface des plantes est directement évaporée, la transpiration des plantes au niveau des feuilles constitue l'essentiel du transfert d'eau vers l'atmosphère. Pour des conditions météorologiques données, elle dépend du stade de développement de la plante et de la couverture du sol par des végétaux. Pour la partie du sol sans végétation, l'évaporation est difficile à estimer.

L'*évapotranspiration potentielle* (ETP, exprimée en millimètres d'eau) est le maximum d'eau qui peut s'évaporer à partir du sol, de la surface des plantes et de leur transpiration. L'ETP est calculée avec une disponibilité en eau non limitante, et une couverture intégrale et homogène du sol par les plantes. Elle dépend de la température, du rayonnement, du vent et de l'humidité de l'air.

L'*évapotranspiration réelle* (ETR) est une fraction de l'ETP : $ETR = k \times ETP$; k vaut 1 quand le couvert est en situation hydrique favorable, et devient inférieur à 1 lorsque le manque d'eau dans la zone racinaire contraint le végétal à réduire sa transpiration en fermant les stomates de ses feuilles, cas fréquent en été. Les besoins en eau des plantes dépendent du stade de développement, et augmentent jusqu'à un maximum (période critique), généralement au moment de la floraison. Toutefois, un déficit hydrique à certaines périodes peut

être supporté sans effet notable sur le rendement final, par exemple pendant le tallage pour le blé. Sous le climat tempéré de la France métropolitaine, l'ETR atteint 0, 5 à 1,5 mm par jour en hiver, 2 à 3,5 mm par jour au printemps, et 4 à 7 mm par jour en été (juillet-août). Les valeurs les plus élevées (7 mm par jour) sont observées dans les zones méditerranéennes.

Depuis les années 1960, l'ETP augmente, par décennie, au rythme de 20 mm en France du Nord et de 40 mm en Poitou-Charentes.

Le calcul du bilan hydrique

Le déficit hydrique est une situation dans laquelle les plantes subissent un stress hydrique. Si la somme de la pluviométrie et du stock d'eau disponible dans le sol est moins élevée que l'ETP, le déficit hydrique peut être compensé par l'irrigation. Le calcul du déficit hydrique peut être réalisé sur des bases théoriques, en tenant compte des caractéristiques du sol et des variables climatiques. Il peut aussi s'appuyer sur des mesures de l'humidité du sol à l'aide de sondes (tensiomètres) mises en place à différentes profondeurs (par exemple 30 cm, 60 cm, 90 cm), qui donnent une information sur la quantité d'eau présente. Ces mesures sont faciles à mettre en œuvre, et de nombreux logiciels les utilisent pour donner des conseils d'irrigation. En raison de la variabilité spatiale de la pluie, il est important de disposer d'un pluviomètre à proximité des sondes.

Bien que ces modèles de calcul du déficit hydrique soient fiables², ils sont assez peu utilisés. En effet, les agriculteurs sont confrontés à des sols hétérogènes dont la réserve d'eau utile est variable, et à un climat souvent difficile à prévoir au-delà de 15 jours, ce qui complique l'organisation du travail. Ainsi, les agriculteurs ont tendance à garder la même stratégie, élaborée au début de la campagne de la culture, même quand les conditions climatiques devraient justifier une adaptation.

Irriguer en valorisant au maximum l'eau (de pluie ou d'irrigation)

Pour valoriser l'eau de pluie ou d'irrigation, plusieurs solutions sont envisageables. Elles sont classées ci-dessous de la plus efficace à la moins efficace.

Éviter la concurrence des adventices

Le désherbage permet de limiter l'évapotranspiration. Pour les cultures semées avec de grands écartements (maïs, betterave), un désherbage aide à limiter les besoins en eau.

Modifier l'assolement pour moins dépendre de l'eau d'irrigation

Cette solution peut avoir deux variantes, combinables pour optimiser son système de production :

- choisir des plantes moins gourmandes en eau, tout en gardant l'irrigation (par exemple cultiver un sorgho à la place d'un maïs) ;
- choisir des plantes moins gourmandes en irrigation, car adaptées aux périodes de pluies de la région (par exemple remplacer une orge de printemps par une orge d'hiver, un maïs par un blé, un pois de printemps par un pois d'hiver, des abricotiers par des pêchers).

Améliorer l'efficacité de l'irrigation (choix du matériel)

L'efficacité de l'irrigation varie suivant les équipements de 55 à 95 % de l'eau fournie. Le goutte à goutte est de loin le plus efficace, mais il n'est pas adapté aux cultures annuelles. Pour celles-ci, les pivots ou les rampes frontales permettent une meilleure répartition de l'eau que les enrouleurs, mais les enrouleurs sont plus souples d'emploi, car ils permettent d'irriguer des surfaces plus petites et des zones vallonnées.

Philippe VIAUX, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

- L'eau est un bien commun relativement rare et cher : il faut chercher à l'utiliser avec parcimonie.
- Un système racinaire en bonne santé permet une meilleure utilisation de la réserve utile en eau du sol.
- Favoriser les mycorhizes du sol contribue à améliorer la résistance des plantes au stress hydrique.
- Il est important d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation.
- Le désherbage permet de limiter l'évapotranspiration.

Pour en savoir plus :

- Philippe VIAUX : *Dix clés pour une fertilité durable des sols agricole*, 230 pages, Éditions France Agricole, 2023.
- B. LACROIX, J.-E. BERGEZ & L. CHAMPOLIVIER : Des outils de simulation pour optimiser la conduite de l'irrigation, *Perspectives Agricoles*, n°391, p38-40, 2012.

² Lacroix et al. 2012