

# Chapitre 3 :

## Les besoins en eau des cultures.

## Chapitre 3 :

# Les besoins en eau des cultures.

### Introduction

Les besoins en eau des cultures sont, en général, estimés à partir de la connaissance de la demande en évaporation et des caractéristiques de la culture ou, plus récemment, à partir de mesures directes de l'état de l'eau dans le sol ou du stress physiologique des plantes.

### 1. Pourquoi les plantes ont-elles besoin d'irrigation?

L'eau est indispensable aux plantes à bien des égards:

- a) Une plante est composée d'eau à près de 70 %;
- b) L'eau est d'abord nécessaire pour assouplir la graine et son enveloppe et faciliter ainsi l'apparition de la racine, puis la levée de la plantule au-dessus du sol;
- c) L'eau agit comme solvant et dissout et transmet à travers les racines des plantes des éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphate et le potassium, indispensables à une bonne croissance;
- d) L'eau agit comme solvant dans les réactions biochimiques qui se produisent dans les plantes, notamment la fixation du carbone et la photosynthèse;
- e) Le carbone, l'azote, l'hydrogène et l'oxygène nécessaires à la croissance des plantes proviennent de l'eau et de l'air atmosphérique et constituent la majeure partie du corps de la plante;
- f) Environ 95 % de l'eau absorbée par les plantes est transpirée par les feuilles et les tiges, un processus qui contribue également à refroidir les plantes par temps chaud;
- g) Sans eau, les plantes flétrissent et finissent par mourir.

Les forces d'adsorption et de tension superficielle retiennent l'humidité du sol. Au-delà de la capacité de rétention de ces deux forces, tout apport supplémentaire d'eau s'infiltre à travers les pores du sol sous l'influence de la force gravitationnelle. Ce processus est connu sous le nom de percolation.

Une mesure de la force avec laquelle l'eau est retenue dans le sol (qui est aussi la force nécessaire pour extraire l'eau du sol) est appelée tension de l'eau du sol. La quantité d'humidité présente dans le sol est dénommée teneur en eau du sol. La teneur en eau du sol pour laquelle les plantes ne peuvent plus extraire d'eau du sol pour répondre à leurs besoins d'évapotranspiration est appelée point de flétrissement. Lorsque l'humidité du sol atteint ce niveau, les plantes flétrissent et meurent, à moins d'un apport d'eau dans la zone racinaire. La quantité d'eau disponible dans le sol entre la teneur en eau à la capacité au champ et le point de flétrissement est appelée capacité de rétention utile du sol.

Le but de l'irrigation des cultures est de garantir, en tout temps, un approvisionnement suffisant en eau dans la zone racinaire, dans l'intervalle compris entre la capacité au champ et le point de flétrissement.

L'humidité du sol varie en fonction des pluies, de l'irrigation, de l'évapotranspiration, du ruissellement, de l'infiltration et de la percolation profonde. Lorsque tous les interstices du sol sont complètement remplis d'eau, on dit que le sol a atteint sa capacité de saturation. Dans cet état, l'eau sera évacuée de la zone racinaire du sol sous l'influence de la gravité jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint. Le sol est alors à la capacité au champ. Cette étape est généralement atteinte entre un à trois jours après l'irrigation ou la pluie. Une irrigation efficace ramène la zone

racinaire à la capacité au champ. L'eau appliquée au-delà de ce niveau est considérée comme un gaspillage, à moins que cela ne soit fait délibérément dans un objectif de lessivage.

## 2. Besoins en eau des cultures

Le besoin en eau des cultures est défini comme la hauteur d'eau nécessaire pour compenser la perte d'eau par évapotranspiration pour une plante saine poussant dans de grands champs sans aucune restriction liée au sol, à la teneur en eau du sol ou à la fertilité du sol, de sorte qu'elle puisse atteindre son plein potentiel de production dans les conditions données de croissance (FAO, 1995).

Ce besoin en eau varie selon les cultures et l'emplacement; il dépend des espèces cultivées, du climat local et du sol. Il est estimé pour une période de temps déterminée, par exemple une semaine, un mois ou une période de végétation. La demande correspondant à l'évapotranspiration comprend l'évaporation de la surface du sol adjacent, l'évaporation de l'eau interceptée et la transpiration par les stomates de l'épiderme à la surface de la plante (écorce et feuilles). En outre, l'eau est également nécessaire pour les activités métaboliques associées à la croissance des plantes. L'eau totale nécessaire à une bonne croissance des cultures est appelée consommation totale. Cependant, la quantité d'eau nécessaire à l'activité métabolique est très faible (< 1 %) par rapport à la demande pour l'évapotranspiration, de sorte que les expressions de consommation totale et d'évapotranspiration des cultures sont utilisées indifféremment.

Les besoins en eau d'une culture sont souvent en partie satisfaits par les précipitations locales et l'humidité du sol ainsi que par la remontée capillaire des eaux souterraines là où la nappe phréatique est proche de la zone racinaire. Seule une fraction des pluies locales, appelée pluie efficace, est utilisée par la culture pour sa croissance. Il faut faire attention à l'utilisation de l'expression «pluie efficace», dont le sens varie suivant le domaine abordé. Pour un ingénieur spécialiste des ressources en eau, la pluie efficace est la pluie qui atteint le réservoir de stockage sous forme de ruissellement, tandis que pour les hydrogéologues, c'est la partie de la pluie qui contribue à la recharge des eaux souterraines. Pour un agronome ou un agriculteur, cependant, c'est la fraction de la pluie qui contribue à répondre au besoin d'évapotranspiration de la culture.

En matière de besoins en eau des cultures, la pluie efficace est définie comme la partie de la pluie qui contribue directement ou indirectement à la production végétale à l'endroit où elle tombe, mais sans utilisation de moyens mécaniques. La pluie restante s'évapore dans l'atmosphère, ruisselle à la surface du sol ou est absorbée par le sol ou s'infiltre à travers la zone racinaire. La quantité de pluie efficace dépend de divers facteurs comme les espèces végétales, les conditions d'humidité du sol dans la zone racinaire, le climat et la répartition temporelle des pluies.

## 3. Notions sur les débits

Le **débit** est une grandeur qui mesure la quantité de matière (liquide ou solide), exprimée en volume ou en masse, traversant une section définie pendant l'unité de temps.

Le **débit** est une grandeur fondamentale de la mécanique des fluides et de l'hydrologie. Il convient de bien distinguer l'échelle de temps selon laquelle le débit est mesuré et estimé (débit **instantané**, débit **moyen journalier**, **mensuel**, **annuel**, **pluriannuel**) de l'unité de temps utilisée pour l'exprimer (le plus souvent la seconde comme dans  $l/s$  ou  $m^3/s$ ).

Un débit d'eau s'exprime généralement en volume rapporté à une unité de temps. Des **débits massiques** s'appliquent plutôt à des matériaux en suspension, voire en solution, ou charriés. On parlera dans ces cas de débit solide.

En hydrologie et hydrogéologie, le mot débit entre dans un grand nombre d'expressions qui désignent soit des concepts descripteurs (débit d'une rivière, d'une source, d'une nappe souterraine ; débit de pointe, débit d'étiage ; débit réel, débit solide, débit de charriage) ou analytiques (débit de base, débit caractéristique, débit unitaire, débit spécifique), soit des

artefacts ou des techniques (essai de débit, palier de débit, débit critique - de pompage dans un puits - ; débit de jaillissement, de production).

Appliqué à un ouvrage de captage (prise d'eau, puits, forage) le mot débit a le sens de capacité, d'aptitude à fournir, à produire. En particulier, dans le cas de captage d'eau souterraine, " débit d'un puits " est le débit potentiel maximal qui peut être obtenu.

Le débit peut faire l'objet d'une mesure directe par différentes méthodes, soit être calculé à partir de mesures de vitesse.

Le débit (moyen) journalier, mensuel, annuel... est la moyenne arithmétique de tous les débits par seconde de la période considérée. Le débit annuel devra être obligatoirement suivi de l'année considérée.

Le débit (moyen) interannuel est la moyenne arithmétique des débits (moyens) annuels calculée sur une période de temps au moins égale à 30 années consécutives.

Le débit (moyen) pluriannuel est la moyenne arithmétique des débits (moyens) annuels calculée sur une période de temps quelconque (en général la série complète des débits annuels).

#### 4. La dose d'irrigation de réserve

Les doses d'irrigation sont appliquées pour reconstituer l'humidité du sol lorsque la teneur en eau de la zone racinaire tombe à un niveau tel qu'elle commence à avoir une incidence négative sur le rendement des cultures. Les agronomes ou les spécialistes des cultures cherchent à maximiser la production des divers champs cultivés pour un approvisionnement en eau donnée, en utilisant les connaissances scientifiques (fondées sur un raisonnement empirique) relatives à la réponse des cultures à l'eau disponible dans le sol. Les principaux facteurs qui déterminent le programme d'irrigation sont, dans ce cas, le climat, le sol ainsi que le type de culture et son stade de développement. De nombreuses études agronomiques rapportées dans la littérature décrivent les programmes d'irrigation pour une grande variété de systèmes de culture et de plantes cultivées (WMO, 1994).

Ces études se concentrent généralement sur la détermination de la dose et de la fréquence de l'irrigation en fonction des besoins en eau des cultures durant les différentes phases de leur développement, des modes d'extraction de l'humidité du sol au niveau de la zone racinaire et des régimes hydriques optimaux du sol à maintenir dans la zone racinaire aux différents stades de développement, entre autres facteurs (WMO, 1994).

#### 5. La dose d'irrigation sommaire

La dose d'irrigation sommaire correspond à la quantité d'eau nécessaire à la satisfaction des besoins en eau de la culture. Ces besoins sont variables en fonction du système d'irrigation en place sur la parcelle. La dose d'irrigation sommaire peut être exprimée en millimètre d'eau, en m<sup>3</sup>/hectare ou bien encore en litres/arbre :

Les besoins en eau des cultures sont évalués à partir de la différence entre la consommation en eau de la culture et les disponibilités en eau sur une période établie (exemple : méthode du bilan hydrique)

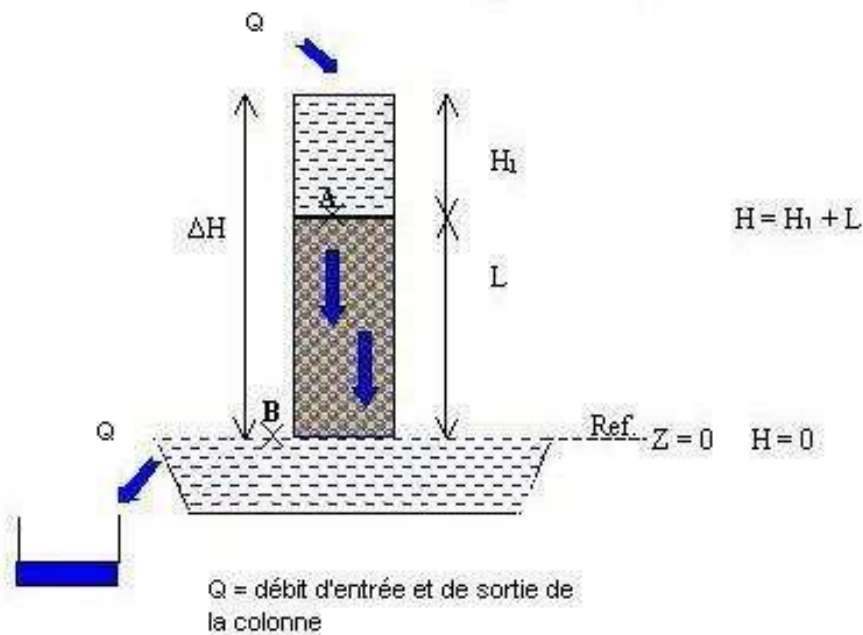
***Besoins en eau = consommation en eau - disponibilités en eau***

La consommation en eau de la culture correspond globalement à son évapotranspiration. Celle-ci est directement liée aux conditions climatiques: rayonnement solaire, température, humidité de l'air, vent...etc.

#### 6. Conductivité hydraulique ou perméabilité

La conductivité hydraulique d'un système poreux représente la facilité de circulation de l'eau dans ce système. C'est le physicien Darcy qui a proposé le premier la définition de ce paramètre que l'on désigne habituellement par la lettre *K*. Selon Darcy, *K* a la dimension d'une

vitesse : c'est bien la vitesse de circulation de l'eau dans un système poreux sous un gradient de charge hydraulique égal à 1 (Figure III.1).



**Figure III.1.** Illustration de la loi de Darcy

Dans l'expérience de Darcy (Fig. III.1), une colonne de sol est saturée. Lorsqu'on atteint un régime permanent les niveaux à l'entrée et à la sortie ne bougent plus et le débit sortant est égal au débit entrant : c'est  $Q$  : le débit qui traverse la colonne de sol. Ce débit est bien sûr fonction de la section de la colonne ( $S$ ), de la variation de charge hydraulique ( $\Delta H$ ) sur la longueur de la colonne ( $L$ ) et bien sûr de la perméabilité du matériau traversé par le débit  $Q$ .

$$Q/S = K \cdot (\Delta H / L)$$

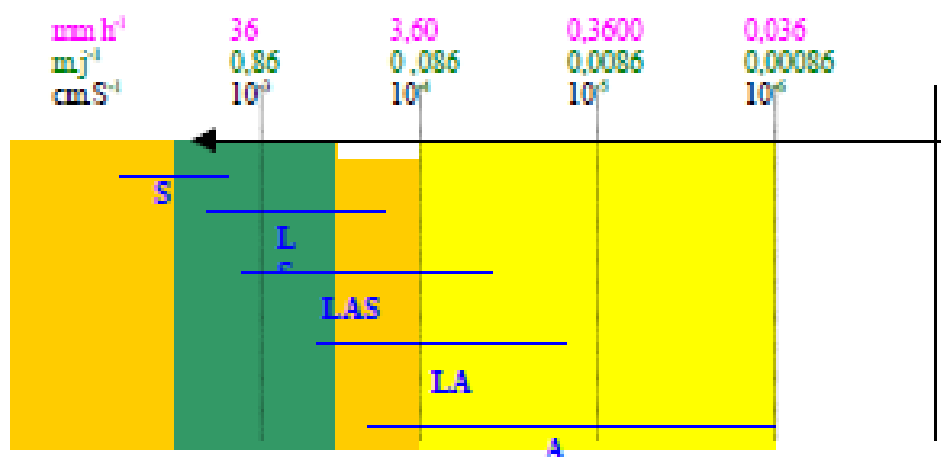
$$K \text{ (m/s)} = (Q/S) (L / \Delta H)$$

Lorsque  $\Delta H / L$  tend vers un, c'est-à-dire que  $H_1$  tend vers zéro,  $K$  devient équivalent au débit divisé par la section de la colonne. Plus généralement, selon la loi de Darcy, la vitesse de circulation de l'eau dans un système poreux le long d'un axe  $X$  ( $q_x$ ) est fonction du gradient de charge le long de cet axe  $\partial H / \partial x$ , et de la perméabilité du matériau traversé ( $K$ ). Dans cette équation, le signe moins indique que l'eau circule dans le sens des potentiels décroissants.

$$q_x = K \cdot (\partial H / \partial x)$$

Dans le système international, l'unité utilisée pour décrire les vitesses est le m/s, or comme nous l'avons déjà signalé, les circulations de l'eau dans les sols sont très lentes et les perméabilités des sols sont plutôt de l'ordre du mm/h ou mm/j. Leurs valeurs dépendent essentiellement de la texture des sols : plus on descend dans les textures fines, plus la perméabilité diminue. C'est ce qui est récapitulé sur la figure III.2.

La perméabilité des sols intervient dans la gestion des sols irrigués puisque l'eau est apportée au sol à partir d'un point d'apport (l'arroseur) et diffuse dans la porosité du sol jusqu'aux racines du végétal cultivé. Il est donc fortement recommandé de tenir compte de cette valeur de  $K$  pour les arrosages et prendre des précautions tout particulièrement lorsque ces perméabilités sont très fortes (textures sableuses) ou très faibles (textures très argileuses) (Figure III.2).



K (m/s)	Aptitude a l'arrosage
$K < 10^{-6}$	Terres imperméables à ne pas arroser
$10^{-6} < K < 5.10^{-5}$	Terres assez imperméables à arroser avec précaution
$5.10^{-6} < K < 5.10^{-5}$	Terres perméables apte à l'arrosage
$K > 5.10^{-5}$	Terres trop perméables, risques de pertes, utiliser l'aspersion

Figure III.2. Perméabilité et texture : des éléments clés dans la gestion de l'irrigation.  
(S : sable, L : limon, A : argile)

## 6.1. Application a l'irrigation

Tous les paramètres définis jusqu'ici permettent de mieux comprendre la circulation de l'eau dans les sols, qu'ils soient cultivés ou non. L'agriculture doit souvent s'adapter à des cas de manques d'eau ou d'excès d'eau. Pour y faire face, elle fait appel à des techniques qui sont l'irrigation et/ou le drainage agricole en cas d'excès d'eau.

## 7. Notions sur l'infiltration

Horton (1953) introduisit la notion d'infiltration dans le cycle hydrologique. Il a défini la capacité d'infiltration :  $f_m$ , comme étant le taux maximum d'adsorption d'eau que possède un sol dans des circonstances particulières. Évidemment, le taux actuel d'infiltration,  $f$ , d'un sol égal  $f_m$  lorsque l'intensité de la pluie :  $i$ , ou le taux de fonte des neiges égale ou dépasse la grandeur de  $f_m$ . De plus,  $f = i$  lorsque  $i < f_m$ . On utilise aussi le terme taux d'infiltration pour référer au taux d'entrée de l'eau dans la couche superficielle du sol.

### 7.1. Mécanisme de l'infiltration

L'eau pénètre la surface du sol par l'action combinée des forces gravitationnelles et capillaires. Les deux forces agissent dans la direction verticale et provoquent la percolation vers le bas, tandis que les forces capillaires agissent aussi pour attirer l'eau latéralement des gros pores (canaux d'alimentations) vers les pores capillaires qui sont de dimension beaucoup plus petite, mais probablement en plus grand nombre. Tout au long du processus, les espaces capillaires se remplissent.

En général, le taux d'infiltration dépend de plusieurs facteurs, soit l'intensité et la nature de la précipitation, la condition de la surface du sol, la densité, le type et l'état de la végétation, la température et la composition chimique de l'eau, les propriétés physiques du sol (porosité, dimension des grains et des pores, teneur en eau, etc...). (<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre5/chapitre5.html>)

## 8. Les débits spécifiques (hydromodules)

Est un flux d'irrigation équivalent par seconde par Hectare ou hydromodule d'irrigation de l/s/ha. Comme débit par unité de surface, appelé hydromodule si la zone = hectare, donc l/sec/ha.

Le zonage de l'hydromodule implique la division d'un territoire en unités taxonomiques en vue d'une utilisation élevée des terres et des ressources en eau et en établissant des régimes d'irrigation différenciés et scientifiquement fondés qui garantissent un rendement stable des cultures ([http://www.cawater-info.net/bk/4-2-1-1-3-1\\_e.htm](http://www.cawater-info.net/bk/4-2-1-1-3-1_e.htm)).

## 9. Calcul du bilan hydrique (méthode graphique)

On établit à l'avance un graphique représentant le niveau d'évapotranspiration que l'on veut imposer à la culture (figure III.4).

On porte les jours en abscisses et, en ordonnées, les valeurs cumulées de l'ETM ou de l'ETR optimal en fonction du temps. On obtient ainsi une droite ou une courbe (A).

On choisit la dose d'irrigation « d » en fonction des caractéristiques du sol et de l'enracinement de la plante ; on trace alors la droite ou la courbe (B) obtenue en déplaçant (A) vers le bas, de la distance « d ».

L'état de la réserve du sol sera représenté par un point situé entre (A) et (B) : lorsque ce point se trouve sur la courbe (A), le sol est à la capacité de rétention; lorsqu'il se trouve sur la courbe (B), la réserve facilement utilisable est épuisée, et l'on doit déclencher l'irrigation.

Le bilan est effectué en déplaçant le point représentatif de la réserve du sol vers le haut à chaque pluie ou irrigation, et en le déplaçant chaque jour d'une unité vers la droite.

*Exemple* : Culture de tomates en pleine végétation au mois d'avril :

Besoins journaliers 7 mm/jour

Dose pratique maximale d'irrigation 25 mm.

15 avril	16 avril	17 avril	18 avril	19 avril	20 avril
le sol est à saturation	pluie : 0	pluie : 8 mm	pluie : 0	pluie : 0	pluie : 0

Le déficit dépasse alors 25 mm. On donne alors un arrosage de 25 mm.

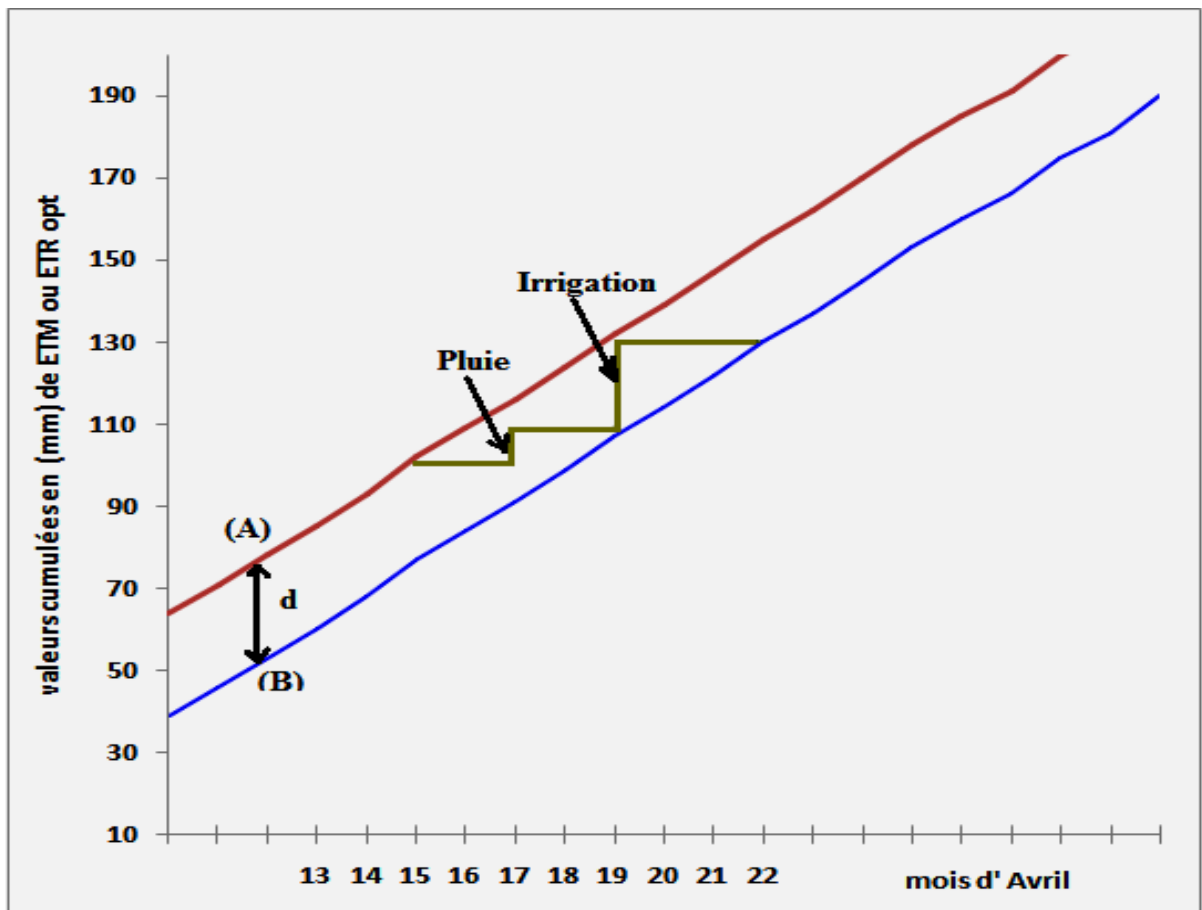
Cette méthode est suffisante pour la conduite des arrosages au jour le jour par l'irrigant.

On peut également, pour la conduite des irrigations à la parcelle, effectuer le bilan hydrique sur des fiches préparées spécialement pour chaque culture. Le pas de temps décadaire (ou hebdomadaire) est alors préférable.

Les valeurs décadaires (ou hebdomadaires) des termes du bilan hydrique sont mesurées ou estimées, et portées sur chaque fiche ; on peut donc suivre, période par période, les variations de la réserve en eau du sol :

$$AR = P + I \pm S \pm D - ETR$$

On décide en général d'irriguer lorsque la réserve du sol atteint l'humidité critique  $H_c$  (RFU=0). Une méthode analogue pour les cultures en sec existe également.



**Figure III.4.** Graphique du bilan hydrique.  
Exemple : Culture de tomate en pleine végétation au mois d'avril.

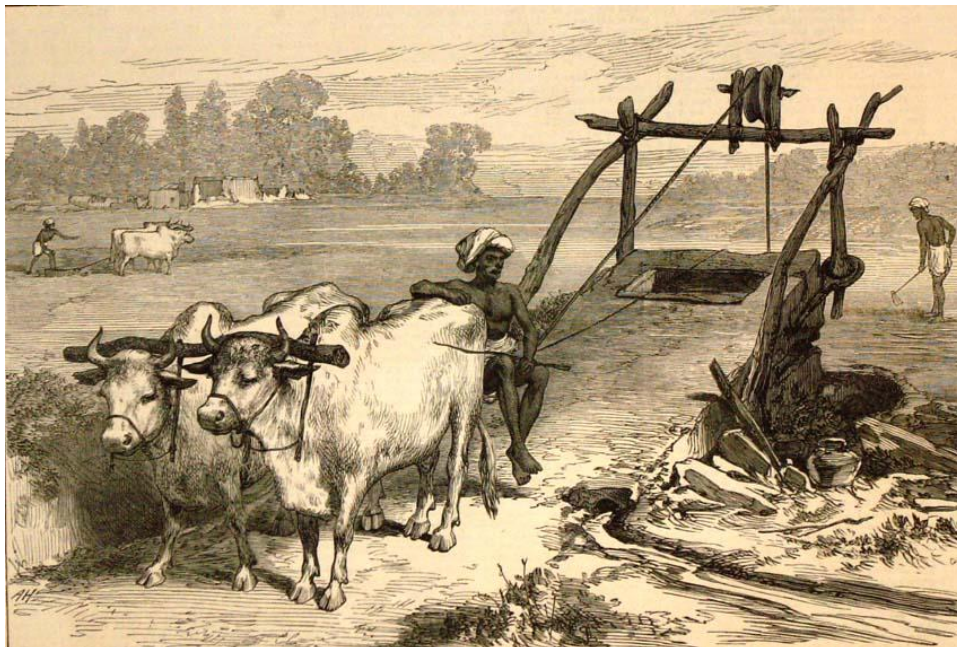


Figure hors texte : Irrigation et agriculture du 19e siècle en Inde.