**Chapitre 2 : La nutrition hydrique**

# Importance de l’eau pour la plante

**Rôle de l’eau : la turgescence cellulaire**

* Permet le **déroulement du métabolisme**
* Contribue au **port des végétaux**
* Commande certains **mouvements d’organes**
* **Véhicule** les substances nutritives, hormones et déchets du métabolisme

**Voir poly**

**Besoins en eau très important :**

A poids égal, **une plante consomme en 24h, 10 fois la quantité d’eau bue par un animal.  
Explication** : **90% de l’eau prélevée** dans le sol sert à la **transpiration**

**Variation de la teneur en eau des végétaux :**

Elles sont de **3 types** :

* « L’**hydrophilie** » des **cellules** (**=** capacité des cellules à absorber l’eau dont elles disposent 🡪 exemple des graines) peut avoir des conséquences commerciales pour tout ce qui est technologie des semences.  
  Graines de laitue : à 35% d’humidité atmosphérique 🡪 teneur en eau = 4 à 6% / à 75% d’humidité atmosphérique 🡪 teneur en eau = 14 à 26%
* Le **diamètre des vaisseaux conducteurs** (qui sont moins perméables à l’eau mais qui ont une certaine élasticité) **peut varier et permettre de stocker de l’eau** (exemple des arbres).  
  Tronc de Tremble : en période hivernale 🡪 teneur en eau = 125% par rapport à la matière sèche / en période de végétation 🡪 teneur en eau = 75% par rapport à la matière sèche
* Le **volume des vacuoles** qui ont une capacité d’élasticité 🡪 extensibilité des parois 🡺 notion de **déficit létal**

**Déficit létal :**

* **Valeur critique du déficit hydrique** au-delà de laquelle la vie n’est plus possible
* **Valeur** **remarquablement élevée** **chez les végétaux** (supportent plasmolyse cellulaire):
  + **30%** pour le haricot
  + **40%** pour le maïs
  + **70%** pour la luzerne
  + Plantes reviviscentes (Bryophytes, Lichens) 🡺 **minimum biologique 10%**

# L’absorption de l’eau par la plante

## **Les sources d’eau pour la plante**

### L’eau du sol

C’est la **source principale**. La quantité d’eau qu’un sol peut retenir est **variable** selon le type de sol. Il y a **différentes forces** **de rétention de l’eau.**

**Les forces de rétention de l’eau dans le sol :**

* **La gravité** = l’eau va descendre par l’attraction terrestre
* **Les forces osmotiques :** liées à la pression osmotique à l’intérieur d’un sol dans lequel il y a des solutés, des minéraux sous forme ionique et qui vont exercer une **force d’attraction** vis-à-vis de l’eau. **Forces osmotiques** **+ élevées** sur les sols salés (+ riches en éléments minéraux) et lorsque le sol est asséché.
* **Les forces d’imbibition :** dues aux **attractions électrostatiques** exercées entre **les charges (-) des colloïdes et les pôles (+) de l’eau**. Elles sont **très importantes** dès que le sol est **riche en argile ou en humus**, ou lorsque le sol s’assèche et que la densité des charges augmente.
* **Les forces de capillarité** : dues aux **phénomènes de tension superficielle** et sont **généralement très faibles**

Les forces d’imbibition et de capillarité sont les **forces matricielles**. Les forces de capillarité, osmotiques et d'imbibition sont des **forces de rétention**

**Le potentiel hydrique du sol (Ψ):**

* Le **sol mis au contact de l’eau l’attire**. On appelle **succion** l’attraction exercée par le sol ; elle est considérée comme une **pression**
* Egale mais **de signe opposé à l’énergie** qu’il faut lui appliquer **pour en libérer 1g d’eau**  
  🡺 **Energie récupérable** à partir du mouvement d’eau  
  🡺 **Energie libre de l’eau**
* Il est **toujours négatif**.
* **+ il est bas et + la liaison est forte et + le sol exerce une force d’attraction importante**
* Mouvement d’eau **spontané d’un potentiel hydrique élevé vers un potentiel hydrique bas**  
  🡺 il faut **fournir de l'énergie** **en sens inverse**
* **Opposé de la succion S** (= **déficit de pression de diffusion** **DPD**) : **Ψ = -S = -DPD**

**Ψ = π + P + ζ+ p 🡺 Ψ = P + p -π - ζ**

**π** : **Potentiel osmotique de la solution**. Il dépend de la concentration en substances dissoutes dans l’eau. **Solutés 🡪 diminution énergie libre de l’eau = terme négatif**

**P :** **Potentiel de pression**. Il dépend de la pression hydrostatique exercée sur l’eau (pression du milieu diminuée de la pression atmosphérique). **Pression 🡪 terme positif ; tension = terme négatif**

**ζ : Potentiel matriciel**. Souvent négligeable, terme **négatif**  
**p** : **potentiel gravitationnel** : **positif**, souvent négligeable

**Ψ = Ψo + Ψp + Ψm + Ψg**

**Ψ = Ψo + Ψp   
🡺 Ψo = potention osmotique vacuolaire = P.O. absolue  
🡺 Ψp = potentiel de pression = pression turgescente**

**Voir poly**

* Autre notation souvent utilisée : le pF  
  **pF = log|Ψ|  
  F** = « free energy »

### L’eau atmosphérique

Elle peut aussi être une **source d’approvisionnement pour les plantes** sauf que cela dépend des conditions climatiques dans lesquelles la plante se trouve.   
En **climats tempérés** 🡺 **trop faible** **pour présenter un intérêt** pour la plante  
🡺 En **climats tropicaux**, l’alimentation par l’eau atmosphérique est **intéressante**. Les végétaux la récupèrent **sous sa forme gazeuse** en ouvrant leurs stomates.

Des végétaux **ont uniquement** **l’eau atmosphérique comme nutrition hydrique** (exemple des **orchidées** qui ont des racines aériennes pour récupérer l’eau sous forme vapeur + minéraux 🡪 **velamen** = ₵ poreuses mortes qui devront récupérer l’eau sous formes gazeuse et liquide)

* **Teneur en vapeur d’eau saturante** : **quantité maximale** de vapeur d’eau que l’air peut contenir **par unité de volume** 🡺 **augmente** **avec la température**
* **Humidité relative** : rapport (**en %**) = la teneur en eau de l’air existante par rapport à la teneur en eau saturante à la même température.

## **Les organes de l’absorption**

Ce sont les **feuilles qui absorbent l’eau** sous forme vapeur, par les stomates.  
Pour l’eau du sol, c’est le **système racinaire qui l’absorbe** = **poils absorbants**

**L’expérience de Rosène** montre que ce sont bien les poils absorbants qui absorbent l’eau du sol

Les poils absorbants sont **extrêmement nombreux**  
**Objectif** : **augmenter la surface d’échanges avec le sol pour prélever un maximum d’eau.**

## **Les mécanismes de l’absorption**

L’absorption dépend de la succion nette S : **S = Si – Se**Avec :

* **Si** = **succion exercée sur l’eau par la plante**
* **Se** = **succion exercée sur l’eau par le sol**

Une **succion nette positive** implique un **potentiel hydrique de la plante inférieur à celui du sol**

La plante sera capable **d’exercer un potentiel hydrique** **+ fort** **que celui du sol** à **trois conditions** :

* **Hypertonie (= appel d'eau) des cellules absorbantes** 🡪 mécanisme de régulation pour rétablir l’hypertonie = **épictèse**
* **Succion exercée par les parties aériennes** 🡪 appel d’eau transmis tout le long de la tige
* **Activité physiologique de la racine** 🡪 absorption impossible si **anoxie** (=manque d’oxygène). Il y a une situation d’anoxie, par exemple quand il y a un excès d’eau

Les **deux mécanismes** permettant l’entrée de l’eau dans la plante sont **l’osmose et la succion** **exercée par la plante > exercée par le sol + feuilles = appel d’eau du à la transpiration**

# Le transit de l’eau dans la plante

## **Transit dans la racine**

Cette circulation est horizontale = **transit**. Elle peut se faire **suivant trois trajets** :

* **Circulation apoplasmique** :🡺 **dans les espaces libres**, **la + facile** pour la circulation de l'eau. Chez les dicotylédones, elle est problématique au niveau de l’endoderme (paroi squelettique avec des imprégnations de lignine et de casparine) où les cellules sont **beaucoup** **+ imperméables = ralentissement**.
* **Circulation symplasmique** 🡺 circulation à **travers le symplasme** (= continuité cytoplasmique entre les cytoplasmes de différentes cellules) par le biais des plasmodesmes.
* **Circulation de vacuole à vacuole** **(= voie transcellulaire)**🡺 se fait par le biais de protéines considérées comme des canaux = **aquaporines** (transport passif)

L'eau **transporte** **plusieurs** **substances**, dont principalement des **éléments minéraux** qui empruntent la **préférentiellement circulation apoplasmique**

**Voir poly p5**

**L’eau circule des potentiels** **les + élevés** **vers les potentiels** **les + bas**.🡺Le **potentiel hydrique** **doit donc diminuer au fur et à mesure**  
**+ on s ‘enfonce** **dans le parenchyme cortical**, **+ le potentiel hydrique diminue**. Après le parenchyme cortical, dans l’endoderme, le potentiel hydrique **remonte** (de 1/1,5bar) car le **potentiel hydrique de l’endoderme** **est très bas**. L’eau ne devrait pas continuer à circuler, sauf qu’il **s’exerce une pression importante** **à l’intérieur des cellules**. L’eau arrive donc sous pression et est poussée vers l’intérieur, ce qui lui permet de franchir la barrière de l’endoderme.

## **La circulation des sèves (circulation verticale)**

### Un système double circulation

* **Sève brute = sève ascendante**
* **Système descendant** permet de transporter la sève depuis les feuilles jusqu’à la racine
* Les **systèmes de circulation** empruntent chacun des **voies différentes**

### La sève brute et son transport

#### Composition de la sève brute

🡺 essentiellement de **l’eau et des éléments minéraux**. La sève brute **monte du système racinaire** et **est + concentrée** **en été qu’en hiver**. Son **pH tourne autour de 5.5-6** et + dilué que la **sève élaborée**.

* **Mois de Novembre** = entrée de **période végétative**
* **Mois de Mai** = reprise de la **saison de végétation**

Les **sucres sont** **+ nombreux en période hivernale qu’en période de végétation**

Glucides mis en réserve pendant la période de végétation précédente.

#### La circulation de la sève brute

**Trois forces** permettant **à la sève brute de monter**:

* **Capillarité**
* **Pression racinaire**
* **Aspiration** **foliaire**

###### **Capillarité**

* Due à la **cohésion des molécules d’eau** entre-elles
* Montée **inversement proportionnelle** au diamètre du tube
* Ne **peut pas monter** **+ haut que 1,5 m** dans les + petites trachéides.
* Les molécules d’eau **adhèrent entre elles** (cohésion par les liaisons hydrogène)
* Si on « tire » sur une molécule, les autres suivent.

###### **Pression racinaire**

**Transport (actif)** de minéraux dans la racine :

* **Augmente la concentration dans le cylindre central** (la concentration à l'intérieur du cylindre central). L’eau pénètre alors dans le cylindre central par osmose
* L’eau se déplace vers le cylindre central et pénètre dans le xylème (=bois) par **osmose** ; l’eau arrive sous pression : **pression racinaire = poussée radiculaire**

###### **Aspiration foliaire = transpiration**

Les **vaisseaux conducteurs**, à l’intérieur des feuilles, sont recouvertes d’une pellicule d’eau ; l’interface air/eau forme donc un **ménisque**.

Stomates ouverts 🡺 **pellicule d’eau s’évapore**

L’eau s’évaporant, la pellicule d’eau se rétracte, « tire » sur l’eau provenant du xylème. Il se crée sous le ménisque des **forces de tension superficielle** qui attirent toute la colonne d’eau (comme dans un capillaire).

Il se crée donc une **tension** **dans le xylème**

Dans une plante, l’eau est alternativement **soit sous tension** (le jour et pendant la période de végétation) **soit sous pression** (la nuit et lors de la période de repos hivernale = végétative)

**C’est donc l’énergie solaire qui crée la force permettant de faire monter la sève brute à plusieurs dizaines de mètre d’altitude**

### La sève élaborée (descendante) et le transport des assimilats photosynthétiques

#### Composition de la sève élaborée

🡺 essentiellement composée **d’eau et de glucides**. Proportion en **glucides** **très importante**.  
Chez une plante annuelle, il n’y a **pas de réserve de saccharose**. La sève élaborée est environ **200 fois + riche en solutés** que la sève brute et a un **pH de 7.5-8**

#### La circulation de la sève élaborée

🡺 **dans le phloème (= liber)** et se fait **d’un organe source à un organe cible ou puits** :

* **Organes sources** : produit des glucides
* **Organes puits** : utilise ou met en réserve les glucides (fruit ou racine par exemple)

**Remarque** : Un tubercule peut être un organe source ou puits selon la saison.

###### **Le chargement du phloème**

**Glucides produits** **à l’intérieur** **du chloroplaste**.   
Pour être mis en circulation, la **1ère étape** est de **quitter les chloroplastes** (dont la membrane est très peu perméable). Ils sont pris en charge par des **transporteurs** qui leur permettent d’être transportés à travers la membrane **+ facile de faire transiter** **des molécules** **de petite taille**.  
Les glucides ne **quittent pas les chloroplastes** sous forme de **sucre en C6** mais chaque sucre est **scindé** **en deux sous-unités** (**C3 = trioses**).

Le métabolisme des glucides ne peut se faire que si les glucides sont **sous forme phosphate.**

Ils arrivent sous forme **triose-phosphate** dans le cytoplasme des cellules du parenchyme foliaire, et transitent de cellules en cellules **sous forme C6**

Soit les saccharoses circulent d’un cytoplasme à l’autre par la voie du **symplasme** ou au niveau des membranes cellulaires = **apoplasme**

**Représentation d’une coupe longitudinale dans le phloème**

Les tubes criblés ont généralement dans leur voisinage immédiat ce qu’on appelle des **cellules de transfert (= cellules compagne)**  
La **structure du phloème** 🡺 tubes criblés avec **une ou deux cellules compagnes adjacentes**.

Les tubes criblés ont la particularité d’être des **vaisseaux conducteurs vivants** **dépourvus de noyaux**

C’est le **métabolisme le + actif chez les végétaux** car il y a des **rendements** qui **dépassent les 90%**

**Pas de pompes** au niveau des tubes criblés car ils sont **anucléés**

**Chargement apoplasmique du phloème**

Les **pompes à protons** permettent de faire sortir d’une cellule les protons en excès. **L’apoplasme** s’acidifie, et une **force protomotrice** permet de **rétablir l’équilibre** et les protons rentrent à nouveau à l’intérieur de la cellule et entraînent le saccharose (= cotransport)

Le passage d’une cellule de transfert à un tube criblé se fait par **poussée/pression mécanique** (lié au fait que la pression osmotique à l’intérieur des cellules de transfert est particulièrement élevée)   
🡺 les saccharoses passent dans les tubes criblés du phloème (symplasme/apoplasme).

###### **La translocation des glucides**

🡺 que si on prend en compte les **mouvements de la sève élaborée** et **ceux de la sève brute** (les deux systèmes ne sont pas indépendants l’uns de l’autres).

**Hypothèse de la circulation des sèves selon la théorie de Munch et Crafts**

La **sève brute** est **beaucoup moins concentrée** (**200 fois moins concentrée**) **que la sève élaborée**   
Ainsi, il y a des **mouvements d’eau par osmose** 🡺 l'eau passe depuis la sève brute jusqu’à l’intérieur du phloème **pour diluer la sève élaborée**

Le **mouvement descendant** de la sève élaborée a pour **point de départ la pression osmotique**  
La **sève élaborée** **du haut vers le bas** de la plante **s’appauvrie en saccharose**, **sa P.O. diminue**

La **sève brute**, **c’est le contraire**, elle est **+ concentrée lorsqu’elle est en bas de la plante**

Un **mouvement circulaire** est formé et est **lié aux différences de concentration** entre les deux sèves et entre le système foliaire et racinaire.

# L’émission d’eau par la plante

## **La guttation**

**Libération d’eau** **sous forme liquide** se fait lorsque la plante **absorbe beaucoup + d’eau qu’elle ne peut en libérer** **par transpiration** 🡺 eau perle  
Mécanisme important dans les forêts humides car le **milieu est saturé** **en humidité**  
La libération d’eau au moment de la guttation se fait par des **hydathodes**

🡺 permet de **réguler la** **pression interne** dans les cellules

## **La transpiration**

### Généralités

La transpiration des végétaux : valeurs moyennes

* **Erable** isolé, de **14m** de hauts

Il possède environ 177000 feuilles soit pour leurs 2 faces une surface de 700m²

En juillet en fin d’après-midi, **transpiration foliaire = 3,3 g/dm²/h** soit pour l’arbre entier : **220l/h**

S’il y a **beaucoup de stomates en face supérieure 🡺 accélère** **la transpiration de la plante** (c’est pour cela qu’ils sont situés en face inférieure).

Chez les **monocotylédones**, rarement couche de cutine épaisse en face supérieure.

On peut mesurer les variations atmosphériques liées à l’enrichissement de l’atmosphère en vapeur d’eau. **L’atmosphère a une humidité relative** **+ importante**

Quand une **plante transpire**, on constate qu’au niveau de la feuille, **l’évaporation de l’eau** se traduit **par un abaissement de la température**

Pour transpirer, la plante a **besoin d’énergie**

**Coupe schématique d’un lysimètre**

Système qui **récupère l’eau** qui percole dans le dispositif. Si on fait **la différence entre** la quantité d’eau que l’on apporte par **irrigation** et celle que l’on récupère par **percolation**, on obtient la quantité d’eau utilisée par la plante et le système.

### Les variations de la transpiration

#### Effets des facteurs structuraux

* **Nombre et position** des stomates
* **Surface** de l’appareil foliaire
* **Nature et structure des tissus périphériques**: cuticule, suber, parenchyme palissadique.

#### Effets des facteurs externes

* **Etat du sol :**
* **Abaissement** de **l’humidité**
* **Abaissement** de la **température**
* **Etat de l'air :  
  - Vent et agitation de l’air**

**- Sécheresse de l’air**: **seuil de tolérance** = **déficit de 10 à 15%**

**- Température de l’air**: **seuil de tolérance**: **25 à 30°C**

* **Lumière** :
* Par temps clair si soleil au Zénith.

**Rayonnement solaire = 0,10 W/cm² = 1kW/m²** dont :

* **4%** dans **l’UV**
* **54%** dans le **visible**
* **42%** dans **l’IR**

**En moyenne, 63%** de cette énergie est **absorbée dans la feuille** **dont 45%** **sert à vaporiser l’eau transpirée**

**Les 63%** **absorbés** sont utilisés ainsi :

* **Photosynthèse** = **1%**
* **Transpiration** = **45%**
* **Pertes thermiques** = **17%** (échauffement de la feuille)

**Effets de la lumière sur la transpiration :**

* **Ouverture** des stomates
* **Radiations bleues**

### La régulation stomatique

#### Mécanisme d’ouverture des stomates

**Ti** = **turgescence interne** de la **cellule** de garde

**Te** = **Turgescence externe** des cellules du **parenchyme**

* Quand **Ti < Te** 🡺 pression contre les cellules de garde 🡺 **stomate fermé**
* Quand **Ti>Te** 🡺 **stomate ouvert**

#### Théories explicatives

**Voir schéma polycopié**

### L’équilibre hydrique des végétaux

Une plante doit à tout moment **réguler sa teneur en eau**, **son état d’hydratation** **important** sous peine d’être régulièrement en état de **stress hydrique**

Sur une journée pour réguler leur teneur en eau 🡺 le **mécanisme d’ouverture/fermeture des stomates**

**Courbe ABCD dernière page**

**Applications agronomiques :**● **Meilleure maitrise** dd **l'irrigation**  
🡺 notion de RFU : Réserve en eau Facilement Utilisable

● **Meilleure maitrise** de **l'apport d'engrais**

● **Amélioration** de la **productivité**  
🡺 sélection pour une meilleure distribution des assimilats vers les épis

● **Optimisation** des **traitements phytosanitaires**   
🡺 recherche d'une bonne systémie