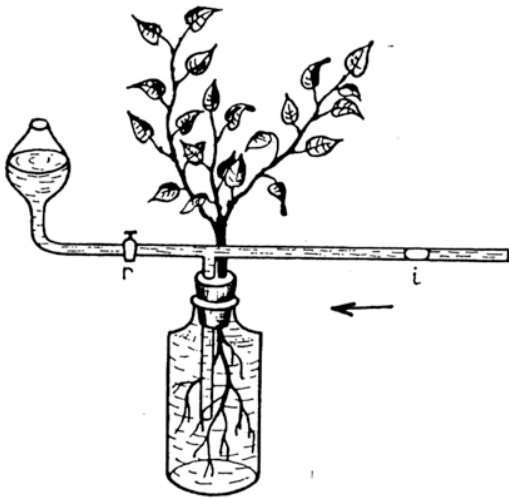


LES MÉCANISMES DE LA MIGRATION VERTICALE DE LA SÈVE BRUTE

1. La plante perd de l'eau par transpiration foliaire



Mise en évidence et mesure par le potomètre
 Si on place du papier cobalt bleu (bleu quand il est sec) sur la surface des feuilles, on constate que de petits points roses apparaissent. Il s'agit de la position des stomates au niveau desquels de l'eau est perdue par transpiration.
 Le déplacement du ménisque dans la capillaire indique que de l'eau est prélevée dans le récipient. La transpiration est donc couplée avec l'absorption racinaire de l'eau.
 Le trajet de la sève brute commence donc dans les racines, se poursuit vers l'appareil aérien et s'achève dans les feuilles qui restituent 95% de l'eau à l'atmosphère.

Comment cette transpiration se convertit-elle en force d'attraction qui fit circuler l'eau dans la plante ?

2. La montée sous tension : modèle de la tension-cohésion

Dans ce modèle, c'est la transpiration au niveau stomates des feuilles placées à la lumière qui permet de créer le gradient de potentiel hydrique nécessaire à la montée de sève brute.
 L'air contenu dans le parenchyme lacuneux est saturé en vapeur d'eau alors que l'air extérieur est plus sec. La vapeur d'eau diffuse donc vers l'extérieur par les stomates.

Cette vapeur d'eau perdue est alors remplacée par la vaporisation de la mince pellicule d'eau qui tapisse les lacunes du mésophylle. L'eau perdue est remplacée par de l'eau provenant de l'intérieur de la cellule. Cette eau diffuse au travers de la membrane plasmique mais pas les solutés dont la concentration augmente dans la cellule. Son potentiel osmotique diminue et son potentiel hydrique aussi. Un gradient de potentiel hydrique s'établit donc entre la cellule et ses voisines, plus saturées en eau. Celle-ci reçoit à son tour de l'eau d'autres cellules voisines jusqu'à que cette série de réactions arrive à une nervure et exerce une « suction » ou tension sur l'eau du xylème.

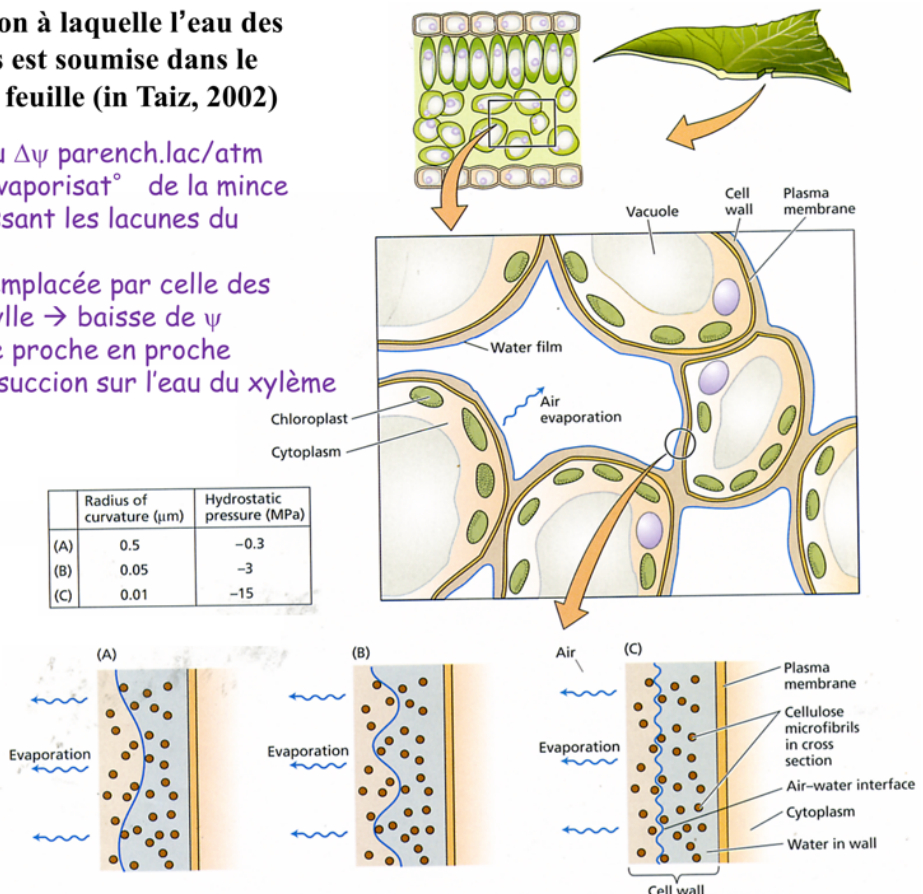
Origine de la tension à laquelle l'eau des parois cellulaires est soumise dans le mésophylle d'une feuille (in Taiz, 2002)

1. Perte d'eau suite au $\Delta\psi$ parench.lac/atm
2. Remplacement par vaporisat° de la mince pellicule d'eau tapissant les lacunes du mésophylle.
3. L'eau perdue est remplacée par celle des cellules du mésophylle → baisse de ψ
4. Création d'un $\Delta\psi$ de proche en proche jusqu'au xylème → suction sur l'eau du xylème

5. Tract° de la sève facilitée par la cohes° des molécules d'eau

6. Plus l'eau s'évapore, plus rayons des ménisques petit → tens° plus forte sur la colonne d'eau (loi de Jurin: $T = -2\gamma/r$)

	Radius of curvature (μm)	Hydrostatic pressure (MPa)
(A)	0.5	-0.3
(B)	0.05	-3
(C)	0.01	-15

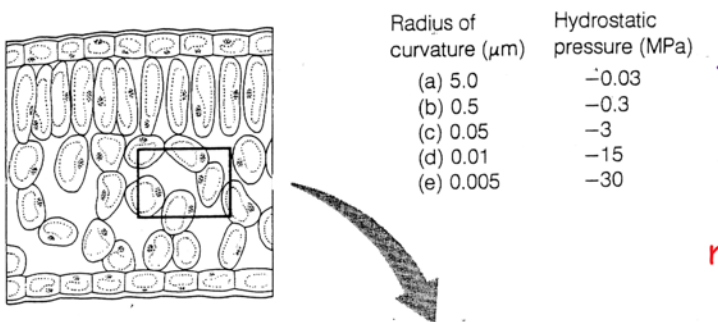


La traction de la sève est facilitée par la cohésion des molécules d'eau entre elles par des liaisons H (cf Biochimie de l'eau). Il existe donc une continuité hydraulique à travers toute la plante, depuis l'eau entourant les particules du sol jusqu'aux parois des cellules foliaires. Il y a ainsi traction de toute la colonne d'eau depuis les racines. D'autre part, à mesure que l'eau s'évapore, la pellicule restante se retire dans la paroi hydrophile et il en résulte des ménisques de plus en plus incurvés. Il en résulte une pression négative dans le mésophylle qui crée une tension permettant de soustraire l'eau du xylème et de la conduire à travers les parenchymes. Cette force capillaire exerce une force aspirante selon la loi **de Jurin**

$$F = - 2T/r$$

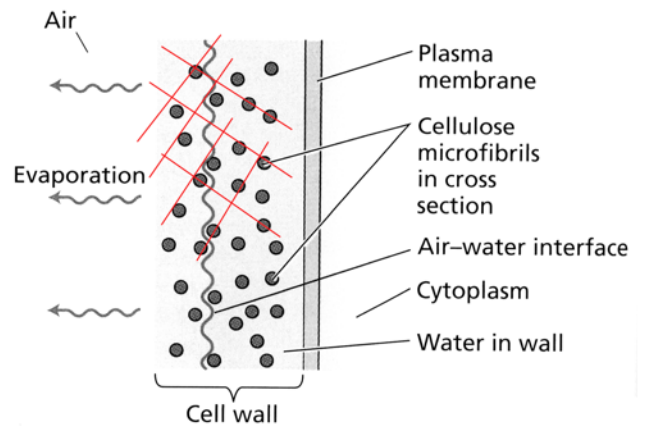
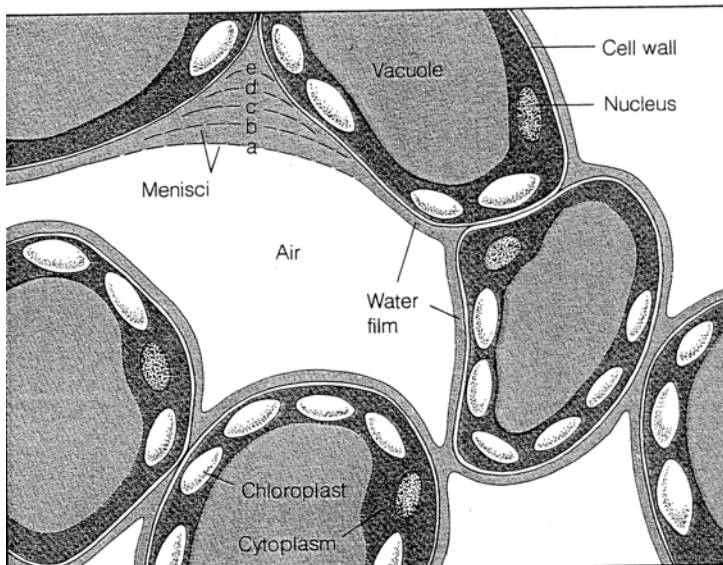
T = tension superficielle de l'eau = $7,3 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$.
 r = rayon du ménisque dans le mésophylle

En théorie, il faut un ménisque $r = 0,12 \mu\text{m}$ pour soutenir une colonne d'eau de plus de 120 m. Or, la taille du ménisque dans la paroi est de l'ordre de $2 \text{ à } 4 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$. Cette valeur correspond à la maille du réseau des microfibrilles pectocellulosiques sur lesquelles les ménisques s'appuient.



Théorie: ménisque de rayon $r = 0,12 \mu\text{m}$ soutient une colonne d'eau $> 120 \text{ m}$
Mais
Taille de la maille du réseau de microfibrilles de cellulose: $2 \text{ à } 4 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ soit 60 à 30 fois moins

Transpiration foliaire largement suffisante



3. La contribution des vaisseaux

Le flux de sève est un mécanisme hydraulique qui obéit à la loi de Poiseuille. La sève étant riche en eau, on se ramène à un mouvement d'eau. La vitesse est donnée par:

$$J_w = L_w \Delta\phi \text{ avec } L_w = \frac{\pi r^4}{8\eta L}$$

r = rayon du vaisseau
 η = viscosité en poises
 L_w = conductivité hydraulique
 L : longueur du vaisseau

Notez l'analogie avec la loi d'Ohm $U = RI$ ou $I = U/R$ avec $I = J_w, U = \Delta\phi$ et $L_w = 1/R$

La conductivité d'un vaisseau de rayon $2R$ est 16 fois supérieure à la conductivité d'un vaisseau de rayon R ce qui implique que **97% de la sève brute est transportée par les gros vaisseaux.**

Enfin, la paroi latérale des vaisseaux est constituée de lignine, polymère dur et hydrophobe qui contribue à la résistance mécanique mais qui favorise aussi le glissement de l'eau le long des parois. Les **forces de friction** sont ainsi diminuées. Comme il n'y a pas de cloisons transversales, ces vaisseaux sont de véritables "pipelines" à sève.

Remarque : La transpiration foliaire étant très faible pendant la nuit car $H\%$ augmente et T° diminue mais forte pendant la journée, il en résulte des variations de pression de la sève. Ceci a été mesuré par des manomètres branchés le long d'un tronc. De plus, des dendrographes qui permettent de mesurer la variation de diamètre des troncs montrent que ce diamètre diminue le jour et augmente la nuit.

Ce mécanisme repose sur l'existence d'un continuum entre sol, plante et atmosphère. Lorsque la cohésion entre molécules d'eau est interrompue, il y a **embolie**. La **conductance hydraulique** diminue et la circulation cesse.

Les vaisseaux les plus larges sont aussi les plus longs donc plus fragiles car il n'y a pas de paroi transversale. Sous l'effet d'une blessure, du gel, d'une piqûre d'insecte ou de l'infection par un parasite, une embolie peut se produire.

4. Le rôle des stomates dans la transpiration foliaire

Le terminus du courant de transpiration est la veine mineure de la feuille: 1 ou 2 vaisseaux de xylème, 2 ou 3 de phloème, se termine en cul de sac. La veine mineure constitue aussi le point de départ de la sève élaborée c-a-d le chargement des assimilats provenant du mésophylle (cf plus loin).

Quand l'eau sort du xylème, elle passe par l'apoplasme et se vaporise dans les nombreuses lacunes. Ainsi, 95% de l'eau de la sève brute est vaporisée dans la chambre sous-stomatique. Les cellules du mésophylle ne se déshydratent pas car la paroi interne de la chambre sous stomatique tapissée par un revêtement cireux.

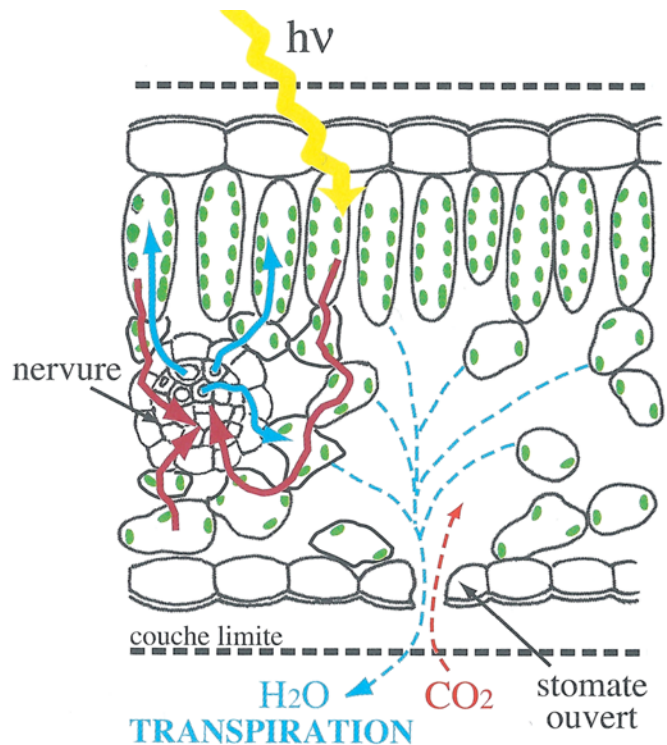
Le rôle des stomates foliaires

Veine mineure : 1 ou 2 vx de xylème, 2 ou 3 de phloème, se termine en cul de sac.

Terminus du courant de transpiration + Point de départ de la sève élaborée

95% de l'eau de la SB vaporisée dans la chambre sous-stomatique.

Cellules du mésophylle ne se déshydratent pas totalement car la paroi de la chambre sous stomatique est tapissée par un revêtement cireux.



La feuille est un carrefour de la circulation de sève. Le xylème des nervures apporte l'eau et les nutriments aux cellules foliaires (flèches bleues). Les cellules photosynthétiques exportent du saccharose dans la sève élaborée (flèches rouge foncé). La transpiration s'effectue selon un gradient de potentiel hydrique. Ce dernier est de l'ordre de -95 MPa dans l'air et -0,8 MPa dans les espaces intercellulaires.