

Université Moulay Ismail
Faculté des sciences
Département de biologie
Filière : sciences de la vie
Licence d'études fondamentales
Meknès

Semestre : 4

Module : physiologie végétale

Partie : nutrition hydrominérale

Pr Abderrahman OUIJJA


Chapitre 1.

RELATIONS HYDRIQUES



1. GENERALITES

1.1. Introduction



La vie, la survie et le fonctionnement normal de tout être vivant – à savoir sa croissance et son développement – exigent la présence d'eau.

Toutes les réactions du métabolisme de l'être vivant se déroulent en milieu aqueux.



L'importance de l'eau pour les plantes se reflète dans leur composition chimique.

Pondéralement, l'eau est le constituant le plus abondant des tissus physiologiquement très actifs.

Pour une espèce végétale, le contenu en eau dépend du tissu, du type cellulaire ainsi que des conditions physiologiques et environnementales.

Exemples (valeurs moyennes par rapport à la matière fraîche) :

Matériel végétal	Teneur en eau (%)
racines d'orge (apex)	93
feuilles de chou	86
feuilles de tomate	84
tiges de tournesol (7 semaines)	87,5
fruits charnus (tomate)	94
bois de pin	55
grains de blé	15
graines d'arachide	5


Signification des valeurs numériques ?

Dans les zones non lignifiées des racines ou dans la partie feuillée d'un végétal terrestre, la teneur moyenne en eau représente souvent plus de 70% du poids de la matière fraîche

(c'est-à-dire dans 100 g de matériel végétal frais, on a :


* 70 g d'eau et

* 30 g de matière sèche [formée de composés minéraux + substances organiques]).



Comme chez tous les êtres vivants, l'unité fonctionnelle de base des végétaux est la cellule (selon la théorie cellulaire).

Une cellule eucaryote est constituée de protoplasme (*solution aqueuse de substances chimiques minérales et organiques [= hyaloplasme ou cytosol] + organites cellulaires*) entouré d'une membrane plasmique.



Le protoplasme (cytosol + organites cellulaires) et la membrane plasmique jouent un rôle important dans la vie de la cellule.

Selon leur comportement hydrophile ou hydrophobe, les composés chimiques entrant dans la composition du protoplasme et de la membrane plasmique interagissent différemment vis-à-vis de l'eau.



Une substance hydrophile

présente une certaine affinité
pour les molécules d'eau
(substance « qui aime l'eau »).

Une substance hydrophobe

« fuit l'eau ».

Comment peut-on estimer ou quantifier l'hydrophilie d'une substance chimique ?

L'hydrophilie peut s'apprécier par :

- le nombre de molécules d'eau retenues par les ions ou les molécules.
- par l'énergie de liaison des molécules d'eau avec les ions ou les molécules.

a) Pour les composés minéraux ionisés (ions) :

L'hydrophilie est d'autant plus grande que la charge de l'ion est plus importante (donc son énergie de liaison est grande) et son rayon ionique plus petit.

Ex : Ca et du Na (ayant le même rayon ionique) ; $E_{\text{Ca}^{2+}} = 4 E_{\text{Na}^+}$ (fig. 1).

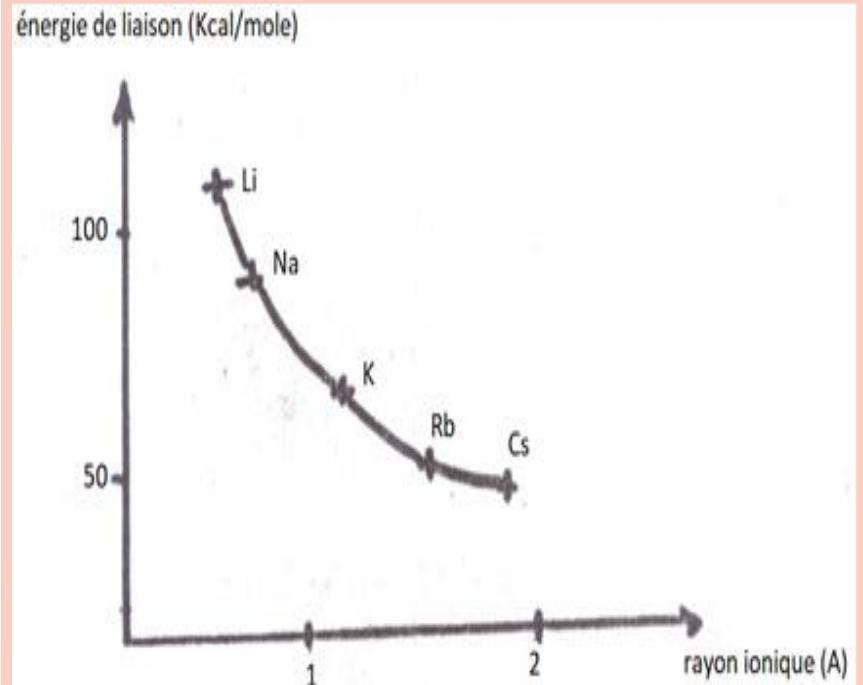


Figure 1. Influence du rayon ionique sur l'énergie de liaison des ions aux molécules d'eau.

b) Pour les substances organiques :

Deux groupes sont distingués :

(i) les substances organiques possédant des groupes fonctionnels hydrophiles :

-COOH ; -NH₂ ; -NH ; -CO-

Ex. : glucides, acides aminés, protéines.

(ii) les substances organiques possédant des groupes fonctionnels hydrophobes :

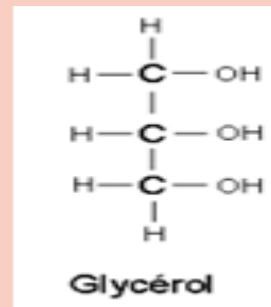
-CH₃ ; -CH₂- ; -CH=CH- ; -C₂H₅ ; etc.

Ex. : acides gras (acide oléique, etc.), lipides simples (tels les glycérides), cérides (telles la cutine, la subérine).

- Formule chimique des acides gras :

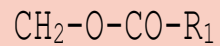


- Formule chimique du glycerol :

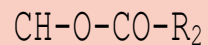


Glycérol

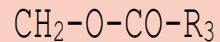
- Formule chimique générale des triglycérides :



|



|



Quelques caractéristiques physico-chimiques de la molécule d'eau :

L'eau est une molécule polaire, ce qui en fait un bon solvant. Cette propriété est le résultat d'une différence d'électronégativité entre les différents atomes de la molécule d'eau (H_2O).

L'électronégativité peut être définie comme la capacité d'un élément chimique à attirer les électrons d'un autre élément chimique.

Ainsi, puisque l'électronégativité de l'oxygène (O) est plus haute que celle de l'hydrogène (H), l'eau présente un dipôle permanent.

Cette polarité lui permet de réaliser des **liaisons hydrogène** intermoléculaires entre l'eau et d'autres molécules polaires (cas 1 et 2) ou entre molécules d'eau voisines (cas 3) (fig. 3).

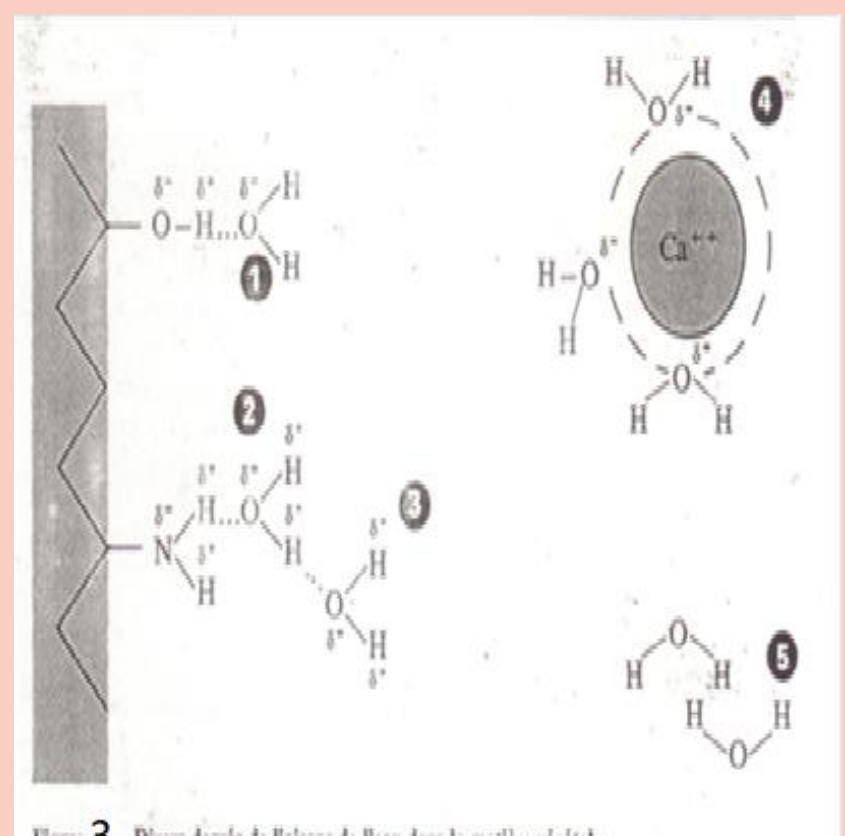


Figure 3. Divers degrés de liaisons de l'eau dans la matière végétale.

1. Liaison hydrogène entre une molécule d'eau et un radical hydroxyle.
2. Liaison hydrogène entre une molécule d'eau et un groupement amine.
3. Liaison hydrogène entre deux molécules d'eau.
4. Liaisons électrostatiques entre un cation et plusieurs molécules d'eau (eau de solvation).
5. Molécules d'eau libres, circulantes.

Solvatation :

En général, la plupart des ions et des molécules dissoutes retiennent un certain nombre de molécules d'eau (fig. 3, cas 4).

on parle dans ce cas d'hydratation ou de solvatation des ions et des molécules.

Quelles molécules biologiques sont concernées par la solvatisation ?

La solvatation concerne des molécules biologiquement importantes comme les protéines, les acides nucléiques ou les glucides.

(ex. 6 molécules d'eau sont mobilisées par molécule de saccharose).



1.2. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau peut être déterminée selon deux représentations :

(i) par rapport au poids de la matière fraîche (P) :

$$\theta_f = (E / P) \times 100 \quad (1)$$

$$\theta_f = (E / E + p) \times 100 \quad (3)$$

(ii) par rapport au poids sec (p) :


Le poids sec est déterminé après dessiccation du matériel végétal à l'étuve à température contrôlée (60 °C à 110 °C quelques heures).

$$\theta_s = (E / p) \times 100 \quad (2)$$

E = quantité d'eau

E = poids frais – poids sec

E = P – p



La représentation par rapport au poids frais est plus expressive car elle donne directement la quantité d'eau dans le végétal.

La représentation par rapport au poids sec permet de tenir compte des mouvements d'eau (donc elle est plus significative).

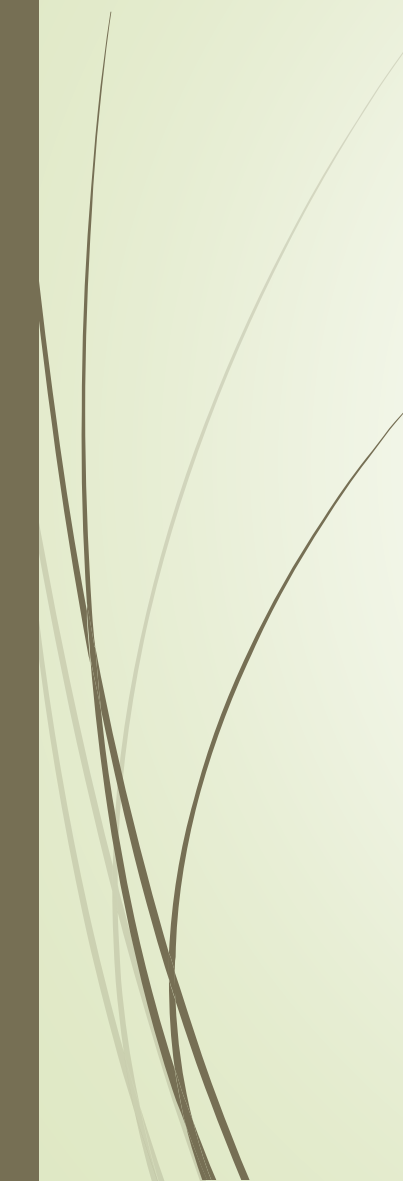
Ainsi, en physiologie la proportion d'eau contenue dans un matériel végétal (plante entière, organe isolé, tissus, etc.) s'exprime en général par rapport au poids sec.



1.3. Localisation de l'eau dans la cellule



Où se trouve l'eau au niveau cellulaire ?



Dans une cellule végétale, l'eau est répartie dans 3 compartiments :

- (i) la vacuole,
- (ii) la paroi squelettique,
- (iii) le cytoplasme.

1.3.1. La vacuole :

La vacuole peut occuper de 80 à 90 % du volume total d'une cellule différenciée.

Le suc vacuolaire peut contenir :

- de 50 à 80 % de l'eau cellulaire totale,
- divers solutés (sels minéraux ; acides organiques ; molécules organiques dissoutes [glucides, protéines, pigments, alcaloïdes] ; et déchets [tanins]).

1. 3. 1/ La vacuole :

Cette eau facilement circulante ou stagnante dans la vacuole constitue ce qu'on appelle « l'eau libre » d'imbibition générale.

Cette eau disponible de la plante joue un rôle dans la turgescence ou la plasmolyse des cellules.

1.3.2. La paroi squelettique :

Où l'eau cellulaire totale peut représenter jusqu'à 50 % et elle est retenue au niveau de la cellulose et des composés pectiques.

Cette eau retenue dans la cellule forme ce qu'on appelle « l'eau liée ».

Exemple : chaque résidu de glucose de la molécule de cellulose peut fixer 9 molécules d'eau (fig. 4).

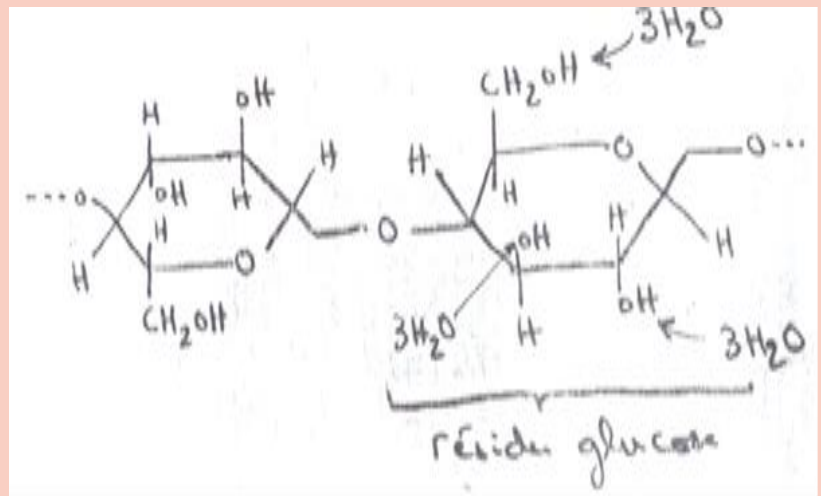
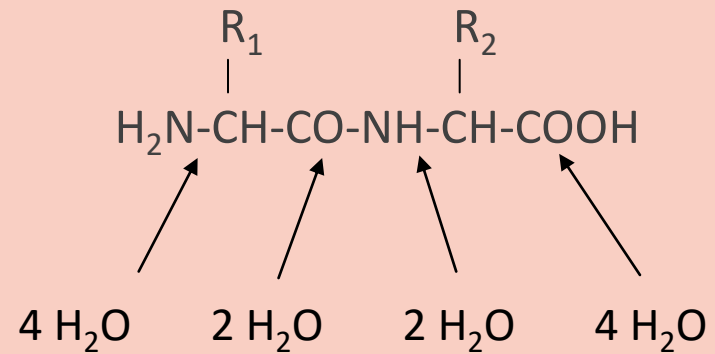


Figure 4. Fraction de la molécule de cellulose.

1.3.3. Le cytoplasme :

Il ne renferme que de 05 à 10 % de l'eau cellulaire totale.


Cette eau est retenue essentiellement au niveau des protéines de structure par les groupements hydrophiles.



1.3.3. Le cytoplasme :

Cette eau stabilise la structure tertiaire de certaines protéines, elle constitue ce qu'on appelle « l'eau de constitution ».

Cette eau est inaccessible aux plantes du fait qu'elle est fixée par des forces si énergiques que même la dessiccation naturelle ne peut la libérer.



1.4. Teneur en eau et activité physiologique

Eau intracellulaire / Eau extracellulaire

Eau intracellulaire :

En général, l'activité physiologique est maximale à l'état de saturation (teneur en eau interne maximale)

(exceptions : cotonnier et lierre).

Eau intracellulaire / Eau extracellulaire

Eau extracellulaire :

L'excès d'eau extérieure (celle de l'environnement ambiant) peut être très nuisible car :

- elle entraîne une asphyxie par manque d'oxygène et,

- elle favorise le développement des infections qui attaquent les racines.

Flétrissement réversible ou irréversible :

Flétrissement réversible

Type rencontré lorsque la teneur en eau interne diminue.

Dans ce cas l'activité physiologique des tissus baisse légèrement.

Flétrissement irréversible

Type rencontré lorsque le déficit hydrique de la plante **dépasse** une certaine valeur critique pour laquelle la moitié des cellules sont tuées en quelques heures.

Dans ce cas on parle de déficit hydrique létal (D_l).


Exemples de déficits hydriques létaux (D_l) :

Espèce	D_l (%)
Haricot	30
Maïs	40
Luzerne	70

Ainsi, la luzerne peut perdre environ les 2/3 de sa teneur en eau sans dommage irréversible.

Vie latente ou anhydrobiose :

Phénomène rencontré chez certaines plantes ou certains organes qui peuvent vivre avec des teneurs en eau très faibles (teneurs ne descendant pas en dessous d'un minimum biologique moyen de 10% à partir duquel l'arrêt d'activité devient irréversible).



Vie latente ou anhydrobiose

Cas des Mousses, des Lichens, de certaines Fougères, etc., des graines = organismes reviviscents.

Ces organismes semblent tout à fait morts, mais en milieu humide peuvent se réimbiber et reprendre une vie active.

Avantages de la vie latente :

(i) Moyen de résistance
contre la sécheresse.

(ii) Moyen de défense
contre le gel

(la formation de cristaux de glace qui peuvent détruire la structure cellulaire est très difficile à obtenir avec le peu d'eau qui reste dans la cellule): cas des graines et des spores.

Y-a-t-il une relation directe entre (1) faible teneur en eau et (2) (a) vie latente ou (b) résistance à la sécheresse ?

NON, CETTE RELATION N'EST PAS GENERALE.

Cas des plantes succulentes :

Plantes très riches en sucres (ex. Cactées).

Elles **résistent à la sécheresse** en augmentant leur teneur en eau interne grâce à leurs mucilages fortement hydrophiles.

(Mucilages = substances végétales qui gonflent au contact de l'eau).


Cas des tubercules, de certaines racines :

Tubercules de pomme de terre, racines de betterave (rouge ou sucrière).

Tout en étant en **état de vie latente**, ils renferment une forte proportion d'eau.




2/ L'EAU DANS LE SOL



Le sol est la partie superficielle, meuble, de la croûte terrestre altérée par :


- les agents atmosphériques (température [gel-dégel, dessiccations], pluie, vent, etc.)
- les organismes vivants qu'il abrite (faune [travail des vers de terre, etc.], flore [pénétration des racines], microorganismes).



Les plantes terrestres prélèvent leur eau principalement dans les réserves du sol, par conséquent **la disponibilité de l'eau dans le sol** joue un rôle très important dans la croissance et le développement des végétaux.



2.1. Rétention de l'eau dans le sol



Le sol est un écosystème extrêmement complexe. Il est constitué de :

- ❑ 3 phases physico-chimiques (phases solide, liquide et gazeuse).
- ❑ Une phase biologique.

(a) La phase solide :

Elle est constituée de particules de taille variable pouvant être :

➤ de nature minérale :

argiles, limons, sable (issus des débris de la roche mère) ;

➤ de nature organique :

humus (substance noirâtre produite par la décomposition de la matière organique) ;

➤ des complexes argilo-humiques :

macromolécules très hydrophiles constituées d'acides humiques liés aux argiles par l'intermédiaire des ions Ca^{2+} .


(b) La phase liquide :

Elle est composée par la solution du sol (solution saline constituée d'eau et de solutés).

L'eau de la phase liquide provient principalement des précipitations (pluie, neige, rosée et brouillard) et/ou de l'eau d'irrigation (puits, barrages, etc.).

Selon les relations de l'eau avec la phase solide du sol, on peut distinguer :

- L'eau d'imbibition : qui gonfle les particules solides du sol et en particulier l'humus et l'argile. Ce mélange hétérogène (à 2 phases séparées) de particules très hydrophiles de diamètres variables (de nature minérale [argiles, hydrates de Fe ou d'Al] ou organique [humus]) et d'un liquide (eau) constitue un colloïde.
- L'eau adsorbée : retenue à la surface des fragments solides de toute nature par des attractions électrostatiques exercées entre les charges négatives des colloïdes et le pôle positif de l'eau.

- 
- L'eau de capillarité : retenue par des forces de tension superficielle intervenant dans les interstices (capillaires) fins du sol.
 - L'eau libre : circule dans le sol où elle s'enfonce sous l'action de la pesanteur (la gravité, g).

Comment déterminer la proportion d'eau présente dans un sol ?

La proportion d'eau contenue dans un sol est appelée taux d'humidité (H), elle s'exprime en général en pourcentage (%) du poids du sol sec.

Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$H = (E / p) \times 100 = (P - p / p) \times 100$$

P = poids du sol frais

p = poids du sol sec (à 105 °C)

E = poids d'eau

(c) La phase gazeuse :


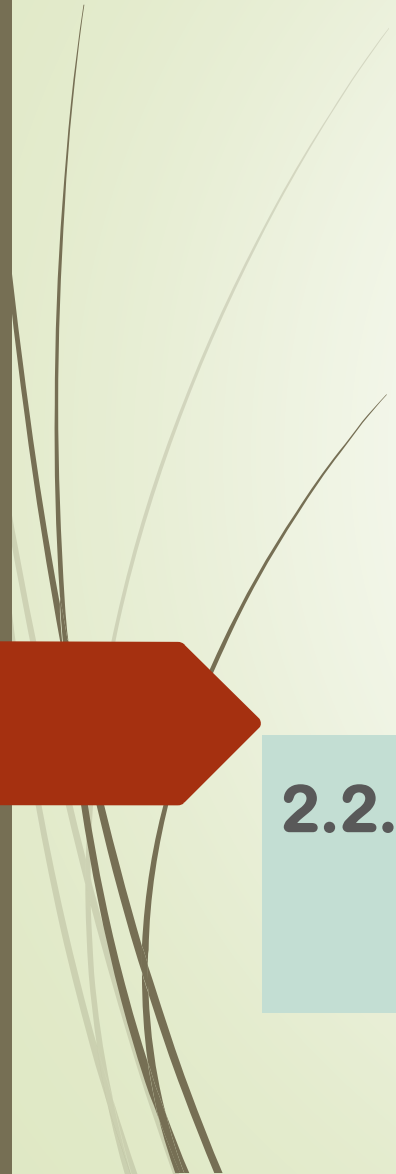
Elle est constituée :

- des gaz de l'air (azote, oxygène, gaz carbonique, autres gaz),
- par de la vapeur d'eau (qui existe dans les interstices du sol). Le rôle de cette vapeur d'eau est de protéger les racines contre la dessiccation.

(d) La phase biologique

Elle est constituée :

- de la microflore bactérienne et fongique,
- des végétaux (racines), et
- de divers animaux (insectes, vers de terre, etc.).



2.2. Capacité au champ, humidité équivalente, point de flétrissement permanent

2.2.1. La capacité au champ :

C'est la quantité maximale d'eau retenue par un sol préalablement saturé d'eau (par des pluies ou un arrosage intensif) après 48 heures d'égouttement (ou d'écoulement) de son eau par gravitation et de son évaporation (fig. 5).

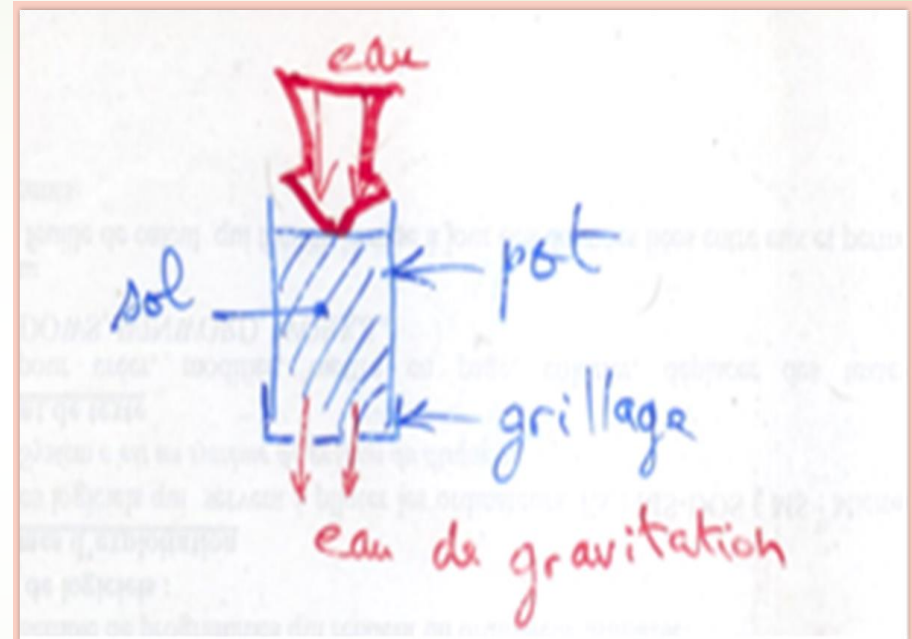


Figure 5. Schéma d'un dispositif simple de conditionnement du sol pour la mesure de la capacité au champ d'un sol.

2.2.2. L'humidité équivalente (HE) :

C'est l'humidité retenue dans un sol après une centrifugation de 500 g pendant 30 min.

Elle s'exprime en pourcentage du poids du sol séché à 105 °C.

Humidité équivalente (HE) de divers sols (valeurs moyennes) :

- sables : $5 \% < HE < 10 \%$
- sols limoneux ou limono-argileux : $15 \% < HE < 30 \%$
- sols argileux : $30\% < HE < 40\%$.

2.2.3. Le point de flétrissement permanent (PFP) :

C'est l'humidité du sol en dessous de laquelle la plante se flétrit irréversiblement (donc meurt) du fait que les forces de rétention de l'eau dans le sol sont trop grandes pour que les plantes puissent les vaincre et arracher l'eau du sol.

2.2.3. Le point de flétrissement permanent (PFP) :

En général, mises à part les plantes spécialement adaptées à la sécheresse, la valeur du PFP dépend très peu des plantes et beaucoup des sols (tableau 1).

En général :

- sable : $1 \% < \text{PFP} < 3 \%$
- argile : $10 \% < \text{PFP} < 30 \%$
- tourbes : $\text{PFP} = 50 \%$.


Tableau 1. Point de flétrissement permanent (en % de la matière sèche) (Briggs et Schantz, 1912).

Type de sol		Sable fin	Limon ordinaire	Limon argileux
Humidité équivalente (HE, %)		5,5	18,9	27,4
PFP (%)	Blé	3,1	9,9	15,5
	Tomate	3,3	11,7	15,3
	Pois	3,3	12,4	16,6

Le fait que le PFP soit sensiblement le même pour la plupart des plantes **sur le même sol** signifie que celles-ci présentent la même limite à leur pouvoir de prélèvement de l'eau dans un même sol.

Tableau 1. Point de flétrissement permanent (en % de la matière sèche) (Briggs et Schantz, 1912).

Type de sol		Sable fin	Limon ordinaire	Limon argileux
Humidité équivalente (HE, %)		5,5	18,9	27,4
PFP (%)	Blé	3,1	9,9	15,5
	Tomate	3,3	11,7	15,3
	Pois	3,3	12,4	16,6



La différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent (PFP) mesure la quantité d'eau disponible pour la plante ou réserve utilisable du sol.

Tenir en compte que dans la plupart des sols, la capacité au champ est de même ordre de grandeur que l'humidité équivalente (HE).


Tableau 1. Point de flétrissement permanent (en % de la matière sèche) (Briggs et Schantz, 1912).

Exemple :

La tomate sur sol limon argileux aura à sa disposition :

$27,4\% - 15,3\% = 12\%$ d'eau (120 g d'eau / kg de ce sol sec).

Type de sol		Sable fin	Limon ordinaire	Limon argileux
Humidité équivalente (HE, %)		5,5	18,9	<u>27,4</u>
PFP (%)	Blé	3,1	9,9	15,5
	<u>Tomate</u>	3,3	11,7	<u>15,3</u>
	Pois	3,3	12,4	16,6




Cependant toute cette eau disponible n'est pas uniformément utilisable.

Dans un sol qui s'assèche, les plantes commenceront à manifester des signes de stress hydrique bien avant que le point de flétrissement permanent ne soit atteint.



3/ L'ABSORPTION DE L'EAU



Chez les plantes supérieures, l'eau est absorbée par :


- les racines

- les parties aériennes.





3.1. Absorption par les racines



Au niveau des racines, l'absorption de l'eau s'effectue :

- (i) par les poils absorbants (zone pilifère),
- (ii) par les mycorhizes,
- (iii) au niveau de la zone subéreuse.

(i) Poils absorbants

L'absorption de l'eau au niveau de la racine s'effectue essentiellement par les poils absorbants (mise en évidence, fig. 6).

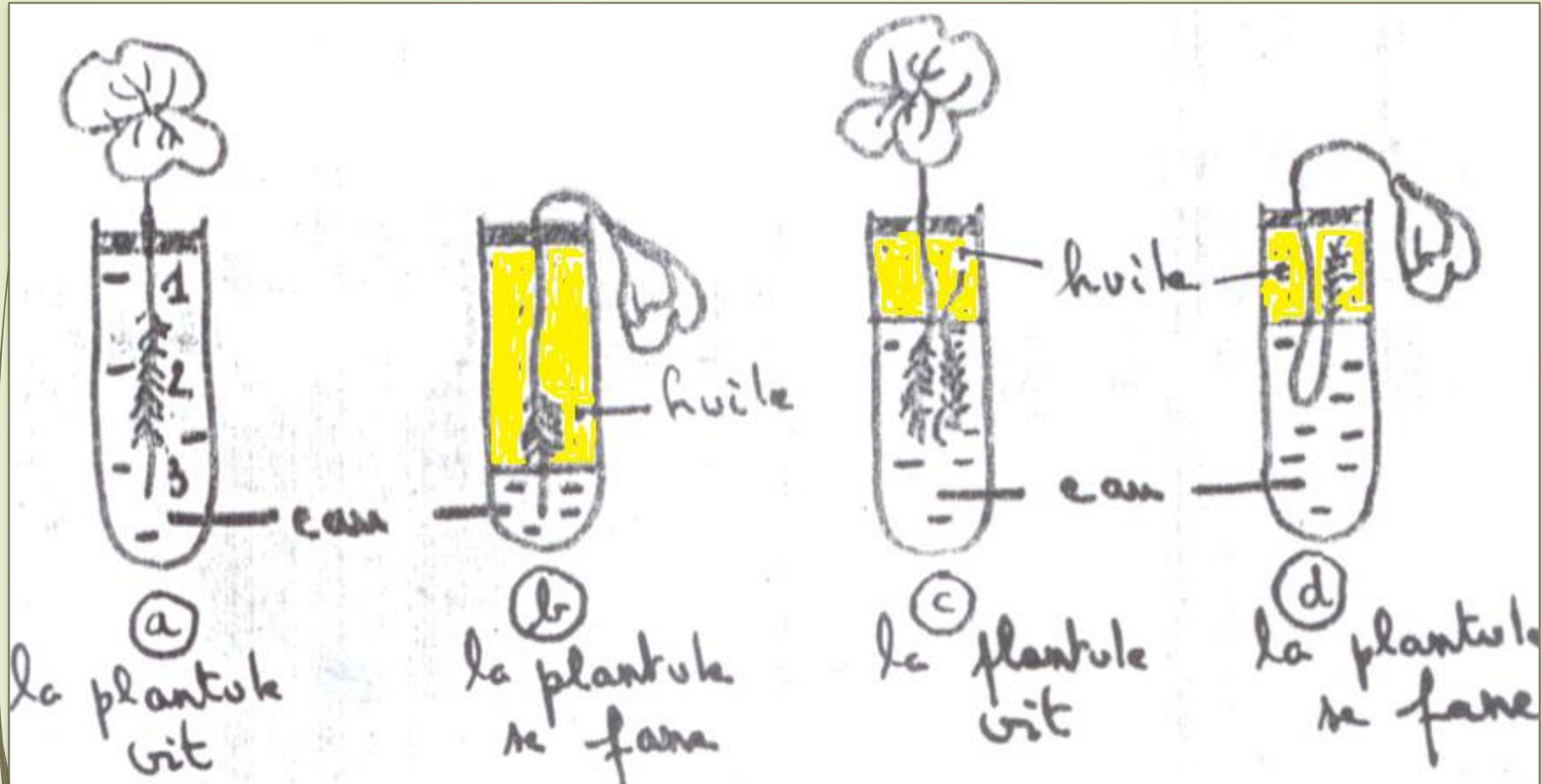


Fig. 6. Mise en évidence de l'absorption de l'eau par les racines de plantules de Radis (1. Zone subéreuse; 2. poils absorbants; 3. zone méristématique).

Conclusion :

Seule l'immersion des poils absorbants dans l'eau est capable de maintenir une turgescence permanente des feuilles (port dressé de la plantule) (cas a et c, fig. 6).

Quelques caractéristiques des poils absorbants et conséquences physiologiques sur l'absorption de l'eau :

Critère	Remarques
Parois	minces et très perméables à l'eau.
Taille (<u>selon les espèces et les conditions de l'environnement</u>).	$0,1 \text{ mm} \leq \text{longueur} \leq 10 \text{ mm}$, Diamètre* moyen = $10 \mu\text{m}$.
Racines des <u>plantes herbacées développent plus de poils absorbants que celles des plantes ligneuses</u> (en général).	- Seigle (Graminée, plante herbacée) de 4 mois : 2500 poils absorbants / cm^2 , - <i>Pinus sylvestris</i> (conifère, plante ligneuse) : 217 poils absorbants / cm^2 .

* Faible diamètre des poils absorbants leur donne la capacité de :

- pénétrer les espaces capillaires entre les particules du sol;
- prospecter un volume de sol important



augmentation de la surface d'absorption de la racine.

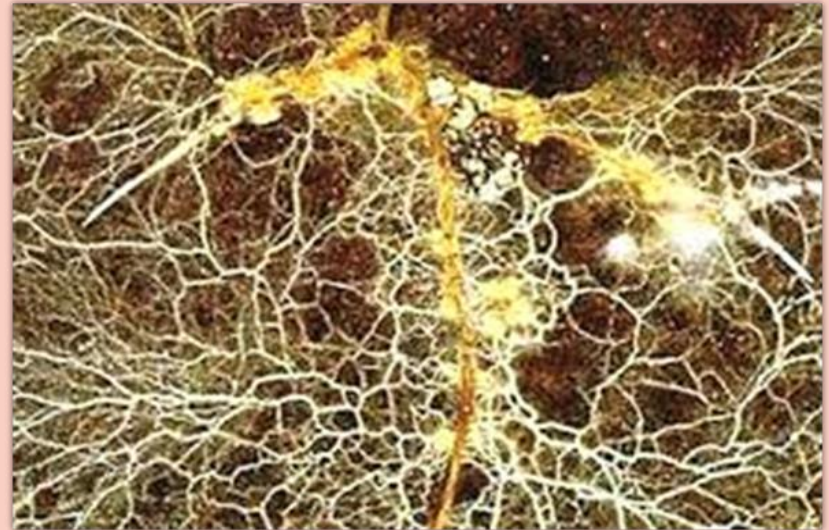
(ii) Mycorhizes

Associations symbiotiques entre racine et champignon.

Les champignons mycorhiziens s'associent avec plus de 86 % des plantes terrestres (ligneuses et herbacées).

(ii) Mycorhizes

Chez la plupart des arbres (gymnospermes et angiospermes), les racines sont complètement dépourvues ou ont peu de poils absorbants et entièrement recouvertes par les mycéliums de champignons symbiotiques.

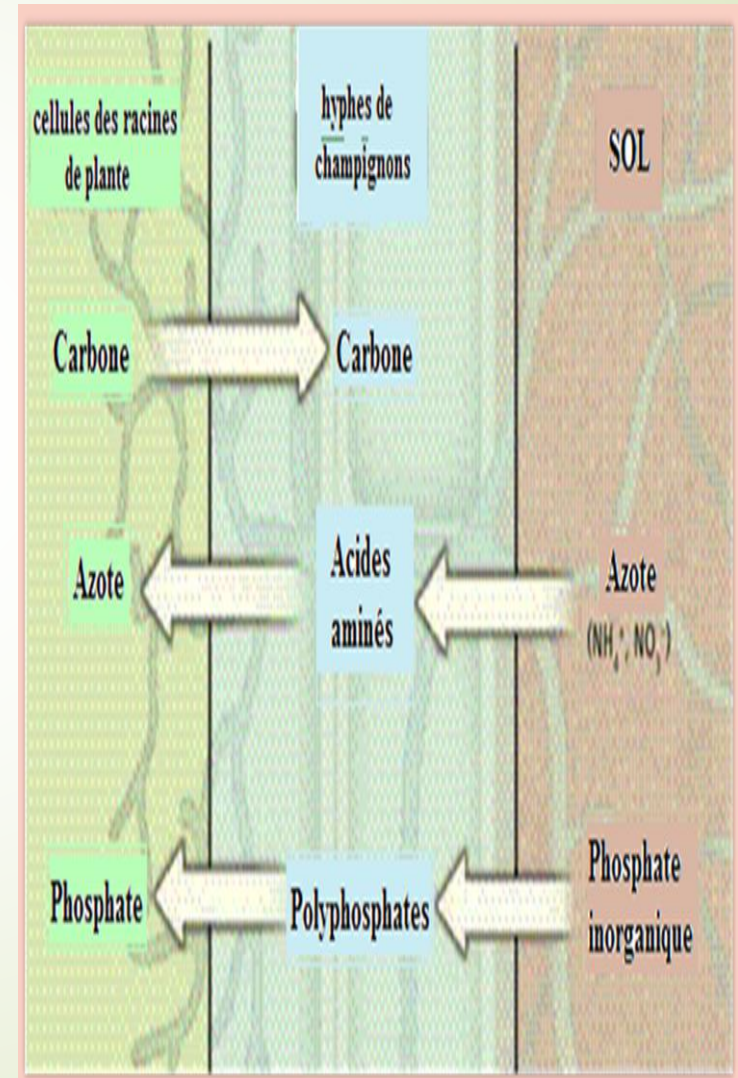


Vue microscopique du système racinaire mycorhizé d'une conifère (gymnosperme).

Qu'est ce qu'une association symbiotique ?

La mycorhize est une association symbiotique c'est-à-dire une association biologique à intérêt réciproque :

- (i) la plante assurant au champignon la nutrition carbonée via la photosynthèse,
- (ii) le champignon assurant l'alimentation hydrominérale (eau et sels minéraux [phosphates]) de la plante.



(iii) Zone subéreuse

L'absorption d'eau est :

- moins au niveau des zones subéreuses des racines,
- se produit néanmoins au niveau des fissures (ce qui peut être important pour les grands arbres).



3.2. Absorption par les parties aériennes



L'absorption de l'eau par les parties aériennes s'effectue :

(i) par les feuilles,

(ii) par les racines adventives.




(i) Feuilles :


Les feuilles sont capables d'absorber l'eau.

Démonstration :

Lorsqu'on plonge dans l'eau les parties aériennes d'une plante (cotonnier, tomate) montrant un début de flétrissement, ces plantes reprennent un aspect normal.



Le rôle des feuilles dans l'absorption de l'eau devient très important dans les régions arides (où les pluies sont très rares) parce qu'elles assurent un apport d'eau indispensable à la végétation à partir des condensations nocturnes (rosées).



L'absorption de l'eau par les feuilles se fait à travers la cuticule.

Cette absorption est :

- d'autant plus importante que les cuticules sont minces et discontinues (cas chez le haricot, $D_1 = 30\%$);
- moins importante lorsque la cuticule est très épaisse.

(ii) Racines adventives :

Chez de nombreuses Monocotylédones (ex. Orchidées), l'absorption se fait par des racines aériennes appelées par conséquent adventives.

Caractéristiques des racines adventives :

- sont dépourvues de poils absorbants;
- présentent à leur surface un tissu particulier différencié que l'on appelle voile ou velamen (fig. 7).

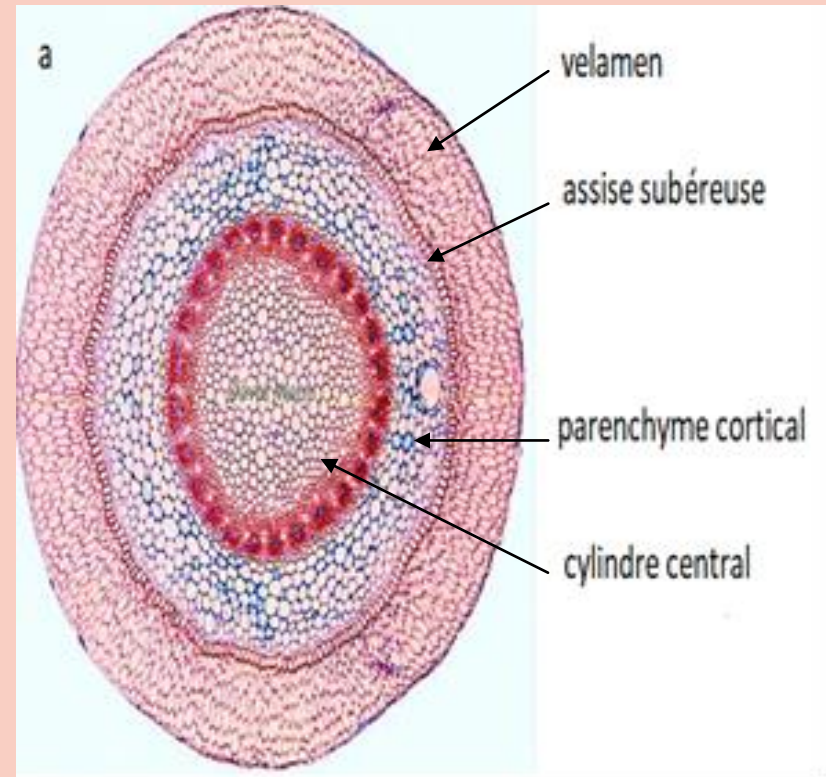


Fig. 7_a. Coupe transversale d'une racine aérienne de *Vanda tricolor* (Orchidée) colorée au carmin-vert d'iode.

Le **velamen** est constitué de plusieurs assises de **cellules mortes** pourvues d'épaississements pecto-cellulosiques.

Ces cellules retiennent l'eau des précipitations ainsi que la rosée par **imbibition** des composés pecto-cellulosiques.

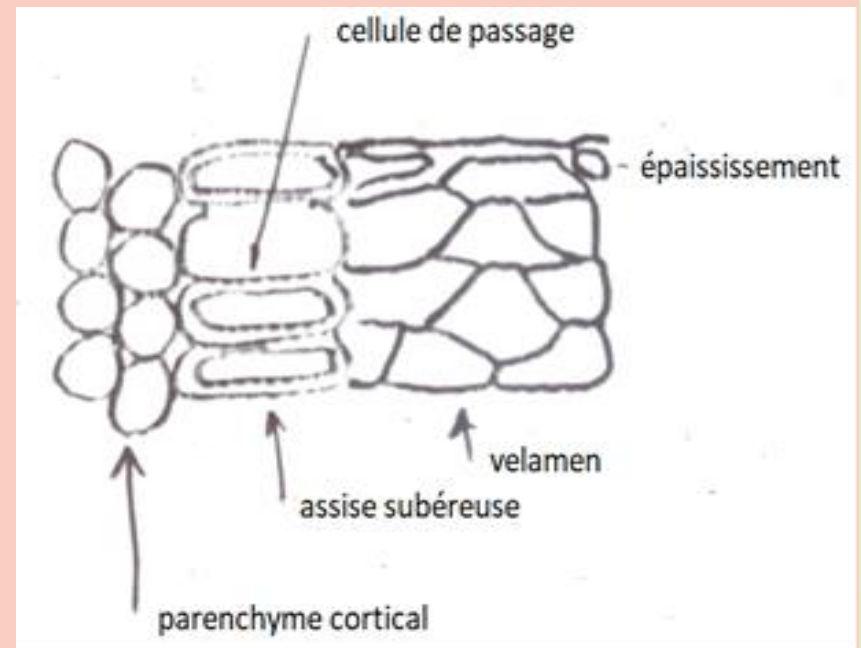


Fig. 7_b - Schéma d'une coupe **transversale** d'une racine aérienne de *Vanda tricolor* (Orchidée).



3.3. Facteurs affectant l'absorption



L'absorption de l'eau par les plantes terrestres est influencée par :

- (i) la température du sol;
- (ii) l'aération du sol;
- (iii) la succion des systèmes absorbants;
- (iv) l'appel foliaire.

3.3.1. Température du sol :

Quand le sol supporte une culture végétale, sa température est rarement assez élevée en général pour limiter d'une façon importante l'absorption de l'eau.

3.3.1. Température du sol :

Ce sont surtout les basses températures qui inhibent le métabolisme cellulaire, augmentent la viscosité de l'eau et diminuent la perméabilité des couches cytoplasmiques cellulaires ce qui réduit puis arrête l'absorption de l'eau par les racines.

3.3.2. Aération du sol :

CAS GENERAL :

Une aération insuffisante
du sol gène
considérablement
l'absorption de l'eau par
les racines.

Quand a lieu la mauvaise aération du sol ?

- (i) Niveau de la nappe phréatique s'élève jusqu'à immerger complètement les racines d'une plante.
- (ii) L'eau stagne longtemps à la surface du sol (inondation).

Conséquences ?

Plante se flétrit et meurt suite à l'asphyxie des racines. (L'asphyxie des racines perturbe la respiration et les tissus fermentent et meurent).

3.3.2. Aération du sol :

CAS PARTICULIER :

Le RIZ (plante adaptée à l'inondation), dont les racines respirent mal, car :

- il existe des processus de fermentation qui fournissent l'énergie nécessaire à l'absorption de l'eau.
- Par ailleurs, les racines du riz reçoivent aussi l'oxygène au travers du chaume très conducteur des gaz.



L'absorption de l'eau par les plantes terrestres est influencée par :

- (i) la température du sol;
- (ii) l'aération du sol;
- (iii) la succion des systèmes absorbants.
- (iv) l'appel foliaire.

3.3.3. Succion des systèmes absorbants :

La succion est la force d'attraction ou tension exercée sur les molécules d'eau par la plante ou le sol.

La vitesse d'absorption de l'eau est fonction de la différence de succion entre la plante (racine) et le sol.

$$S_n = S_i - S_e$$

S_n = succion nette

S_i = « interne (plante)

S_e = « externe (sol)

a) Succion du sol (S_e) :

La succion du sol dépend essentiellement de :

- son degré de dessèchement et de
- sa teneur en particules hydrophiles (colloïdes).

(colloïdes : macromolécules solides de nature minérale [argiles, hydrates de Fe ou d'Al] ou organique [humus]).


Forces impliquées dans la succion du sol ?

La succion du sol est due pour l'essentiel :

(i) aux forces matricielles (forces capillaires développées au niveau des canalicules) et

(ii) aux forces d'imbibition liées à l'hydrophilie des colloïdes ;

Les forces osmotiques résultant de la présence de sels minéraux (solutés) dans la solution du sol sont, sauf exception (sols salés), négligeables.



La plante ne peut absorber l'eau que si la succion de ses racines est supérieure à celle du sol.

Pratiquement, mis à part les végétaux spécialement adaptés à des sols secs (xérophytes) ou salés (halophytes), la plante se flétrit quand la succion du sol dépasse 16 bars.

b) Succion de la plante (S_i) :

Dans la plante la succion (S_i) dépend de 2 forces opposées

(fig. 8) :

- la pression osmotique (π) et
- la pression de turgescence (ζ).

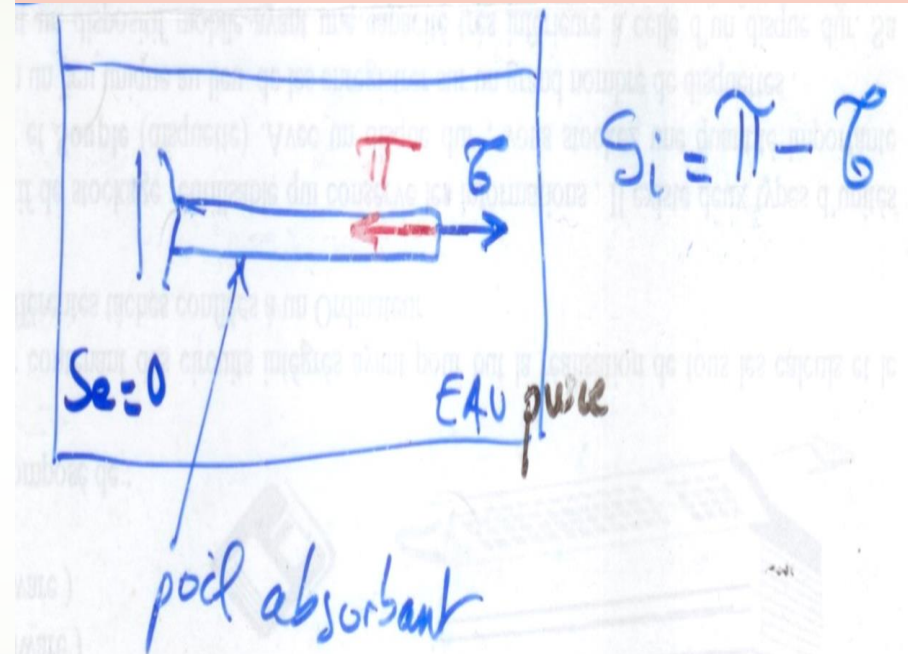


Fig. 8 - Schéma illustratif des deux forces (π et ζ) impliquées dans la succion d'un poil absorbant (S_i).

(i) La pression osmotique (π) :

Si deux solutions aqueuses (liquides) de concentrations différentes sont séparées par une membrane hémiperméable, l'eau migrera de la solution la moins concentrée vers la solution la plus concentrée en molécules de soluté selon un processus appelé osmose.

- La pression osmotique (π) :

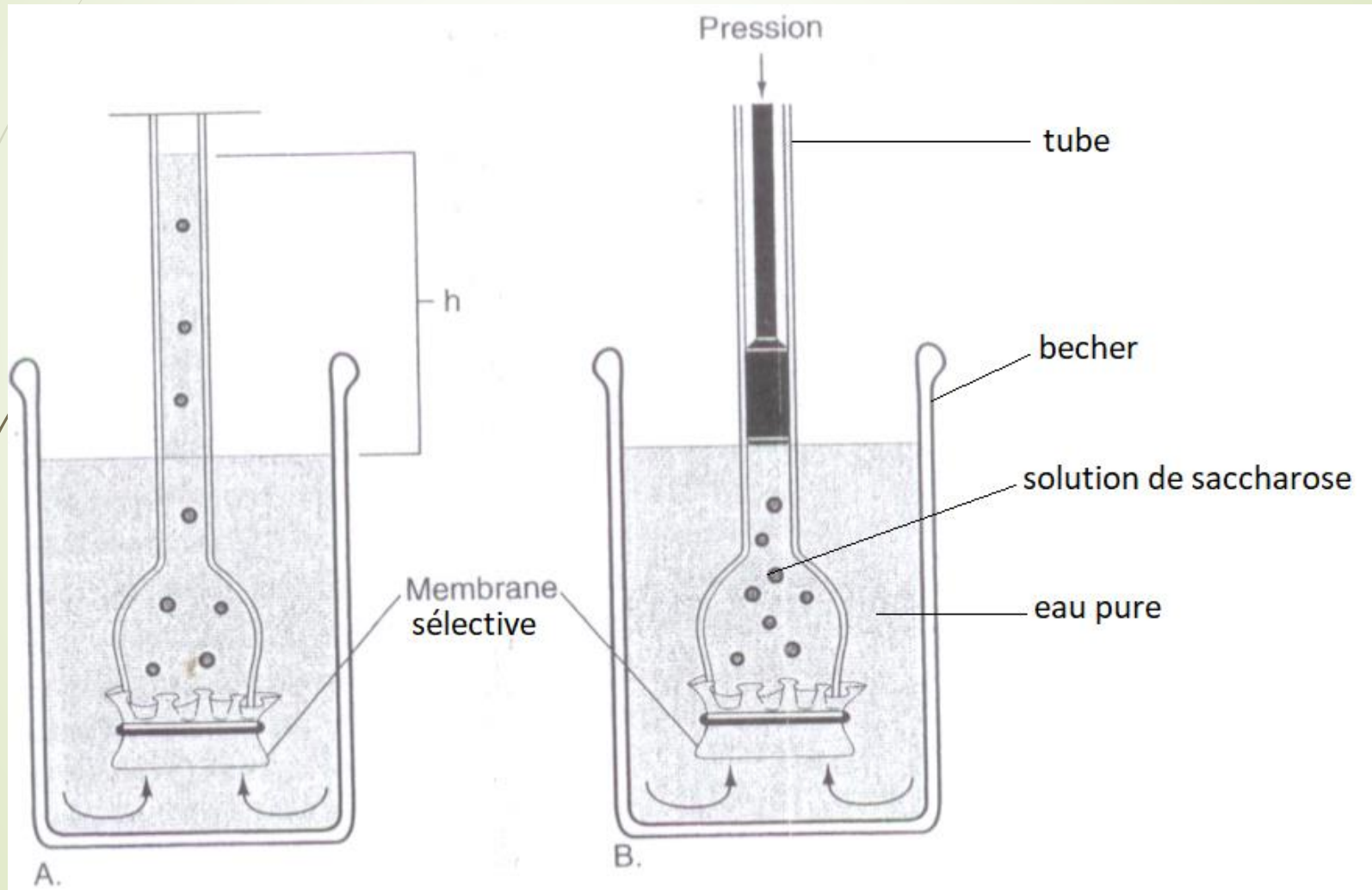
L'osmose correspond donc à un flux de solvant (l'eau) d'une solution diluée vers une solution concentrée.

Ce flux résulte simplement d'un effet de diffusion (mécanisme passif régi par la loi de Fick) qui a pour origine la différence de concentrations entre les 2 compartiments.

- La pression osmotique (π) :

L'existence du flux du solvant indique que le système n'est pas en équilibre (fig. 9).

Figure 9. Osmomètre (in Hoppkins, 2003). La diffusion de l'eau à travers la membrane hémiperméable a lieu suivant le gradient de concentration. La diffusion de l'eau s'opère jusqu'à ce que la force qui pousse l'eau dans le tube soit équilibrée par la pression hydrostatique (h) développée dans le tube (cas A) ou par une pression appliquée par un piston (cas B). Lorsque les 2 forces sont égales, le système a atteint son équilibre, il n'y aura plus de mouvement d'eau.



- La pression osmotique (π) :

Par définition :

La pression osmotique est la pression hydrostatique qu'il faudrait exercer sur une solution pour l'amener à un état d'équilibre (= **absence de flux net, égalisation des concentrations de part et d'autre de la membrane**) avec le solvant dont elle est séparée par une membrane à perméabilité sélective.

Perméabilité sélective des membranes biologiques :

La sélectivité est le cas de toutes les membranes cellulaires

(membrane plasmique, tonoplaste, membrane des organites).

Perméabilité sélective des membranes biologiques :

Une membrane à perméabilité sélective est une membrane qui freine inégalement le passage des différentes substances :

- Elle permet le libre passage de l'eau et de certaines petites molécules (urée, glycérol).

- Elle empêche des échanges des grosses molécules de solutés (glucose, saccharose, ions).

Forces impliquées dans la succion du poil absorbant ?

La succion du poil absorbant (S_i) se ramène pratiquement à celle de la vacuole (forces **osmotiques** dues aux ions minéraux et organiques [surtout malate]).

Les forces matricielles du cytosol (ou hyaloplasme = phase liquide, translucide où baignent les organites cellulaires) étant négligeables.


Calcul de la pression osmotique :

On calcule la pression osmotique du suc vacuolaire (solution diluée) de la cellule végétale par la formule de Van't Hoff :

$$\pi = (n/v) R T$$

$$\pi \text{ (atm)} = c R T$$

- R (constante des gaz parfaits) = 0,082.
- T (t° absolue, en °K) = 273 + t °C.
- n = nombre de moles du soluté.
- v = volume du solvant (solution contenant le soluté) (en litre).



La loi de Van't Hoff exprime le fait que la différence de pression exercée par une solution diluée contenant un certain nombre de moles de solutés dans un volume donné et celle exercée par un solvant pur, est la même que celle qu'exercerait un gaz parfait contenant le même nombre de moles dans le même volume.

(ii) La pression de turgescence (ζ) :

C'est une force mécanique exercée par le suc vacuolaire ou le contenu cellulaire (protoplasme) sur la paroi squelettique.

Cette pression contre la paroi rend la cellule turgescence.

(ii) La pression de turgescence (ζ) :


Lorsque la cellule végétale est plongée dans de l'eau pure (ou eau déminéralisée, ou distillée), la pression osmotique tend à faire pénétrer l'eau dans la cellule.

Il s'établit ainsi un courant d'eau de l'extérieur vers le milieu intérieur de la cellule. Ce mouvement cesse après un certain temps (quand on est à l'équilibre).

(ii) La pression de turgescence (ζ) :

Or le milieu intracellulaire est toujours hypertonique par rapport au milieu extérieur !!.

C'est donc qu'une pression égale en valeur absolue mais dirigée en sens inverse (c'est à dire tend à s'opposer à la pression osmotique) qui détermine la rentrée d'eau. Dans ce cas : $\pi - \zeta = 0 \rightarrow \pi = \zeta$ (on est en pleine turgescence).



Pour surmonter la résistance qu'oppose la turgescence à l'entrée de l'eau, il doit y avoir une hypertonie suffisante du poil absorbant par rapport à la solution du sol.

En définitive, c'est l'hypertonie du poil absorbant qui est généralement le facteur déterminant de l'absorption hydrique.

* Succion / potentiel hydrique ?

A la notion de succion on tend à substituer celle de potentiel hydrique, énergie libérée par le système quand il cède 1 gramme d'eau. Il est toujours négatif (il faut fournir de l'énergie pour libérer l'eau).

Plus la succion (S) est grande, plus le potentiel hydrique (Ψ) est bas.


Les deux notions sont équivalentes, mais la succion S est d'un emploi plus simple, le potentiel hydrique Ψ est d'un emploi thermodynamique plus commode.

3.3.4. Appel foliaire :

L'appel foliaire est dû essentiellement à la transpiration qui crée un appel d'eau transmis tout le long de la tige de cellule en cellule (grâce aux forces de cohésion des molécules d'eau dues aux liaisons hydrogène).



4/ MOUVEMENT DE L'EAU DANS LA PLANTE



Le mouvement de substances d'un endroit vers un autre est habituellement appelé transport.

Les mécanismes qui assurent ce transport peuvent être classés en transport actif ou passif selon que de l'énergie est dépensée ou non lors de l'opération (voir chapitre 2).

Le transport de l'eau est un phénomène passif.

Trois propriétés sont impliquées dans le mouvement de l'eau dans la plante :

a - La cohésion ou l'attraction mutuelle entre les molécules d'eau due à l'existence des liaisons hydrogène.

b - L'adsorption ou l'adhésion de l'eau sur les surfaces solides (parois cellulaires).

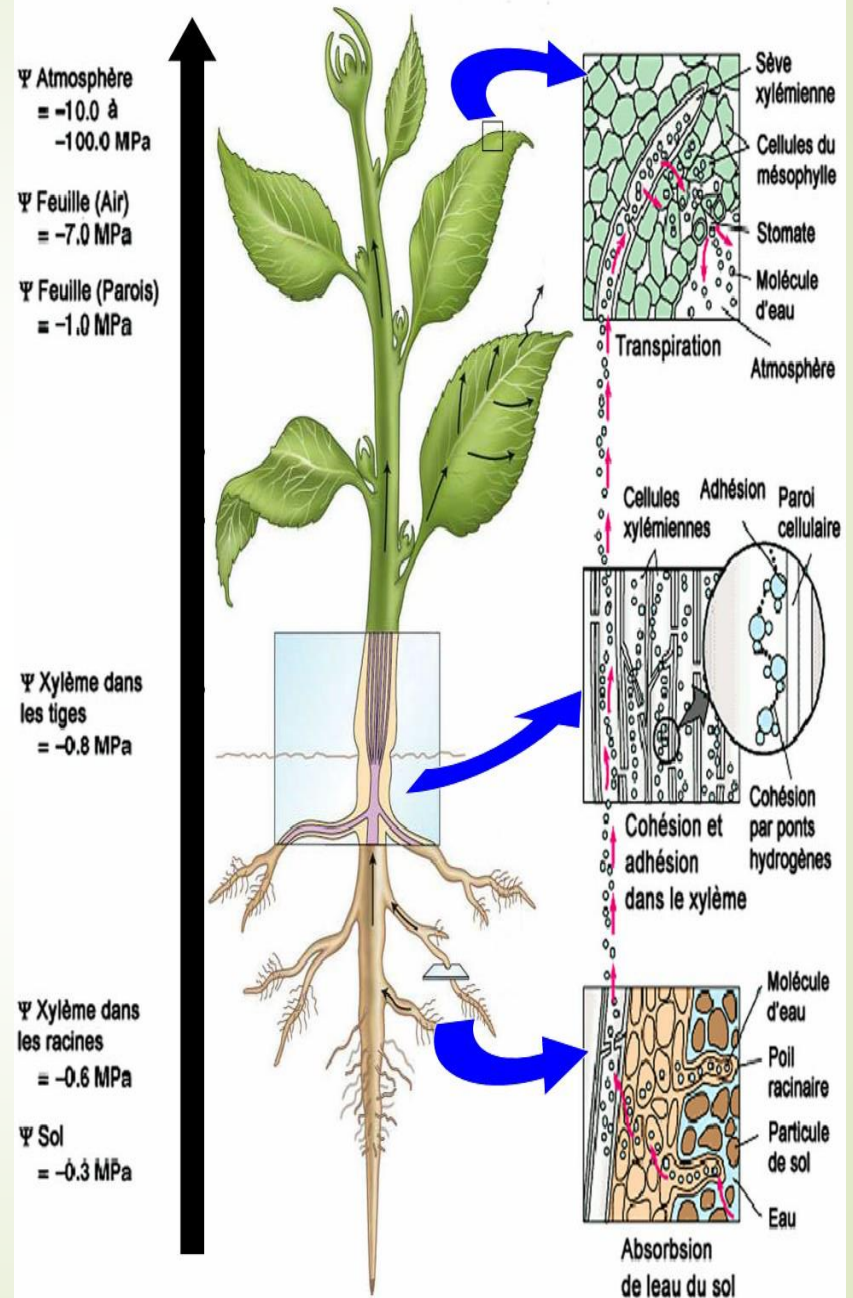
c - La tension superficielle de l'eau montant par capillarité dans les vaisseaux de faible diamètre du xylème (due au fait que les forces de cohésion entre molécules d'eau sont plus fortes que celles entre l'eau et l'air).



4.1. Dans la racine

Mouvement de l'eau dans la racine :

Le mouvement de l'eau se fait d'une façon horizontale et centripète à travers le parenchyme radiculaire.





Ce mouvement peut s'effectuer par 3 façons (fig. 10) :

a) par voie apoplasmique ou apoplastique;

b) par voie symplasmique ou symplastique;

c) par voie transcellulaire ou vacuolaire.

a) Voie apoplasmique ou apoplastique :

L'apoplasme ou l'apoplaste est constitué par le continuum méats, lacunes et parois squelettiques.

Le mouvement de l'eau par voie apoplasmique ou apoplastique s'opère par :

- (i) Diffusion en surface des parois squelettiques en suivant les méats et les lacunes.
- (ii) Imbibition des parois en formant un réseau continu.

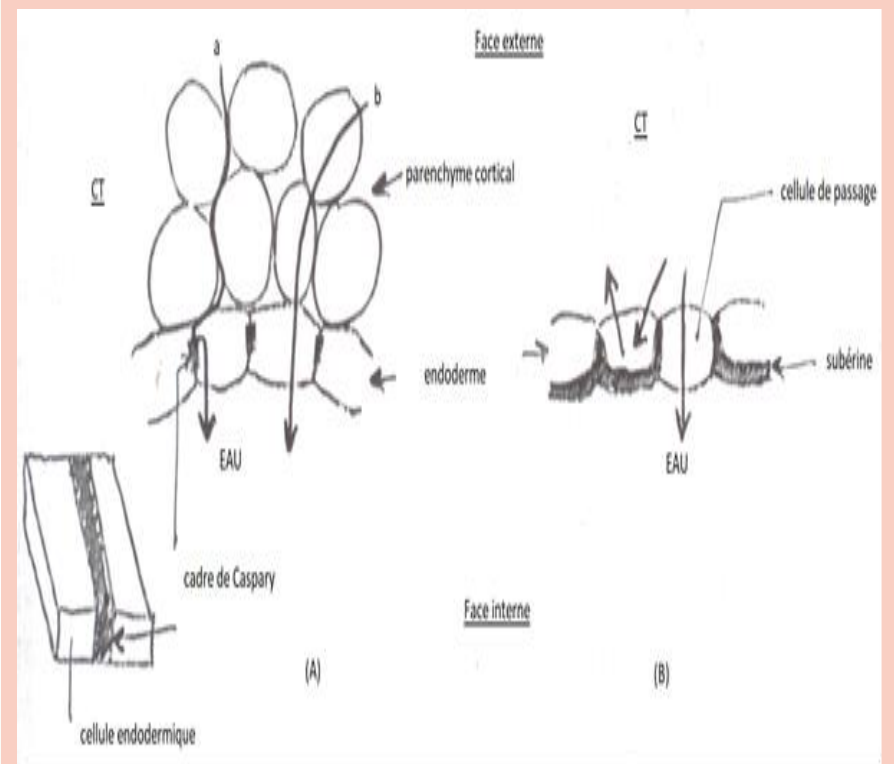


Fig. 10 – Coupe transversale (CT) schématisant la circulation de l'eau dans une racine de Dicotylédone ou de Gymnosperme (A) ou de Monocotylédone (B).

b) par voie symplasmique ou symplastique :

Le symplasma ou le symplaste désigne le continuum des cytoplasmes reliés grâce aux plasmodesmes.

Le mouvement de l'eau par voie symplasmique s'opère par un gradient de pression osmotique croissant de cellule en cellule jusqu'à l'endoderme.

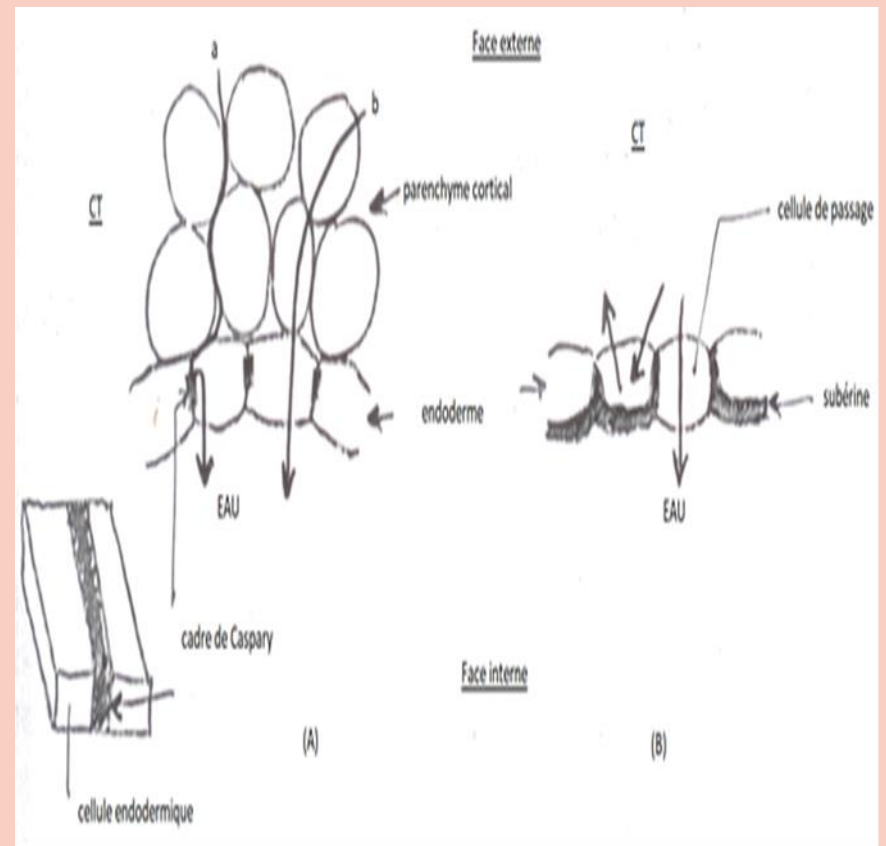
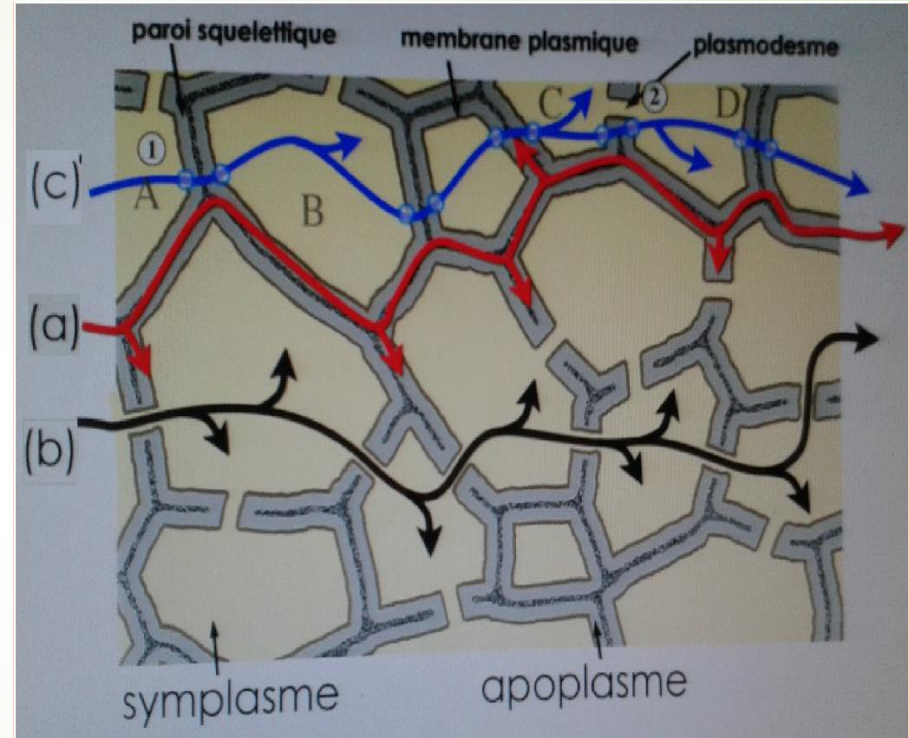


Fig. 10 – Coupe transversale (CT) schématisant la circulation de l'eau dans une racine de Dicotylédone ou de Gymnosperme (A) ou de Monocotylédone (B).

c) par voie vacuolaire ou transcellulaire :

De vacuole à vacuole, au travers des parois et des cytoplasmes suivant un gradient de pression osmotique croissant de cellule en cellule jusqu'à l'endoderme.



Circulation de l'eau dans le parenchyme d'une racine par voie vacuolaire (c).

Les plasmodesmes

Les plasmodesmes, qui permettent la continuité des cytoplasmes dans les voies symplasmique et vacuolaire, sont des perforations de la paroi squelettique.

Les petites molécules ($PM \leq 800 - 1000 \text{ Da}$) ainsi que les molécules de grande taille (protéines, virus) peuvent facilement y transiter.

Cheminement histologique de l'eau dans la racine lors de son mouvement horizontal et centripète ?

Sur la base de considérations physiologiques, ce cheminement peut être subdivisé en 2 parties :

(i) Passage de l'eau des poils absorbants jusqu'au parenchyme cortical.

(ii) Passage de l'eau au niveau de l'endoderme jusqu'aux vaisseaux.

(i) Passage de l'eau des poils absorbants jusqu'au parenchyme cortical:

Ce passage s'explique par le gradient de pression osmotique croissant de cellule en cellule au niveau de l'écorce (processus passif, pas besoin d'énergie) (fig. 11).

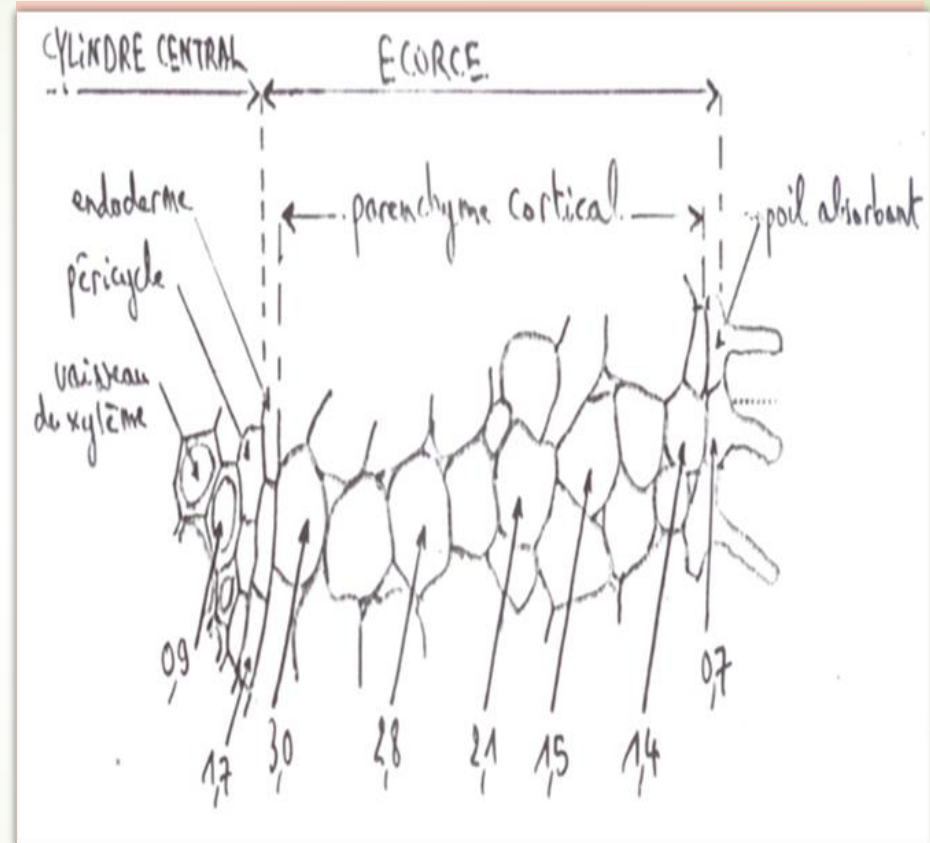


Fig. 11 – Gradient de pression osmotique (π) dans la racine de *Vicia faba* (fève).

(ii) Passage de l'eau au niveau de l'endoderme jusqu'aux vaisseaux :

L'eau et les solutés pénètrent obligatoirement à travers le cytoplasme du fait de l'existence de la barrière endodermique (cadre de Caspary [pour les Dicotylédones et les Gymnospermes] ou cadre en U [pour les Monocotylédones]) riche en subérine (substance hydrophobe) qui empêche toute circulation au niveau de la paroi (fig. 11).

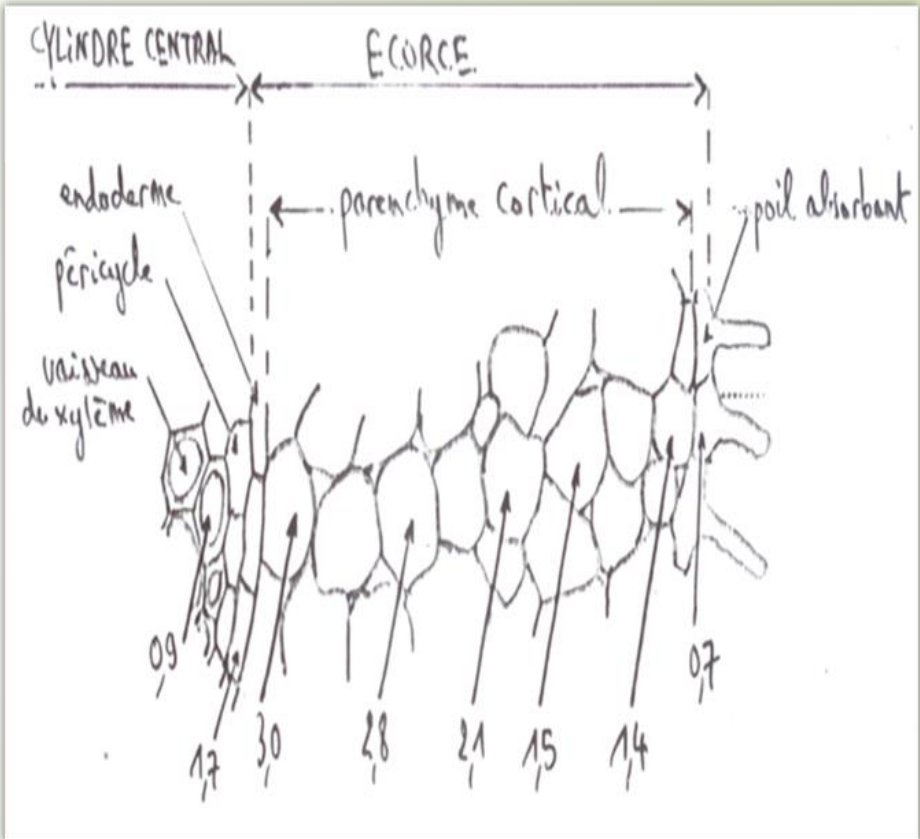


Fig. 11 – Gradient de pression osmotique (π) dans la racine de *Vicia fava* (fève).

(ii) Passage de l'eau au niveau de l'endoderme jusqu'aux vaisseaux (suite) :

La diminution de pression osmotique (π) au niveau de l'endoderme et du parenchyme vasculaire suppose l'intervention d'un phénomène permettant le transport de l'eau via le symplasma jusqu'aux vaisseaux.

Ce phénomène porte le nom de poussée racinaire (ou radriculaire).

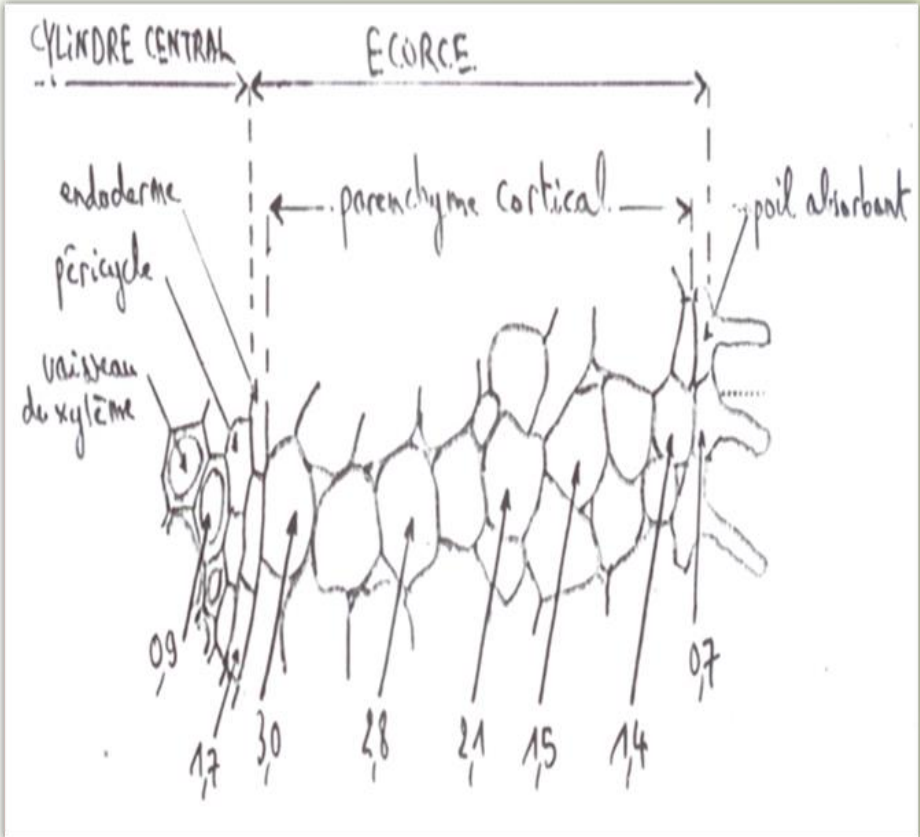


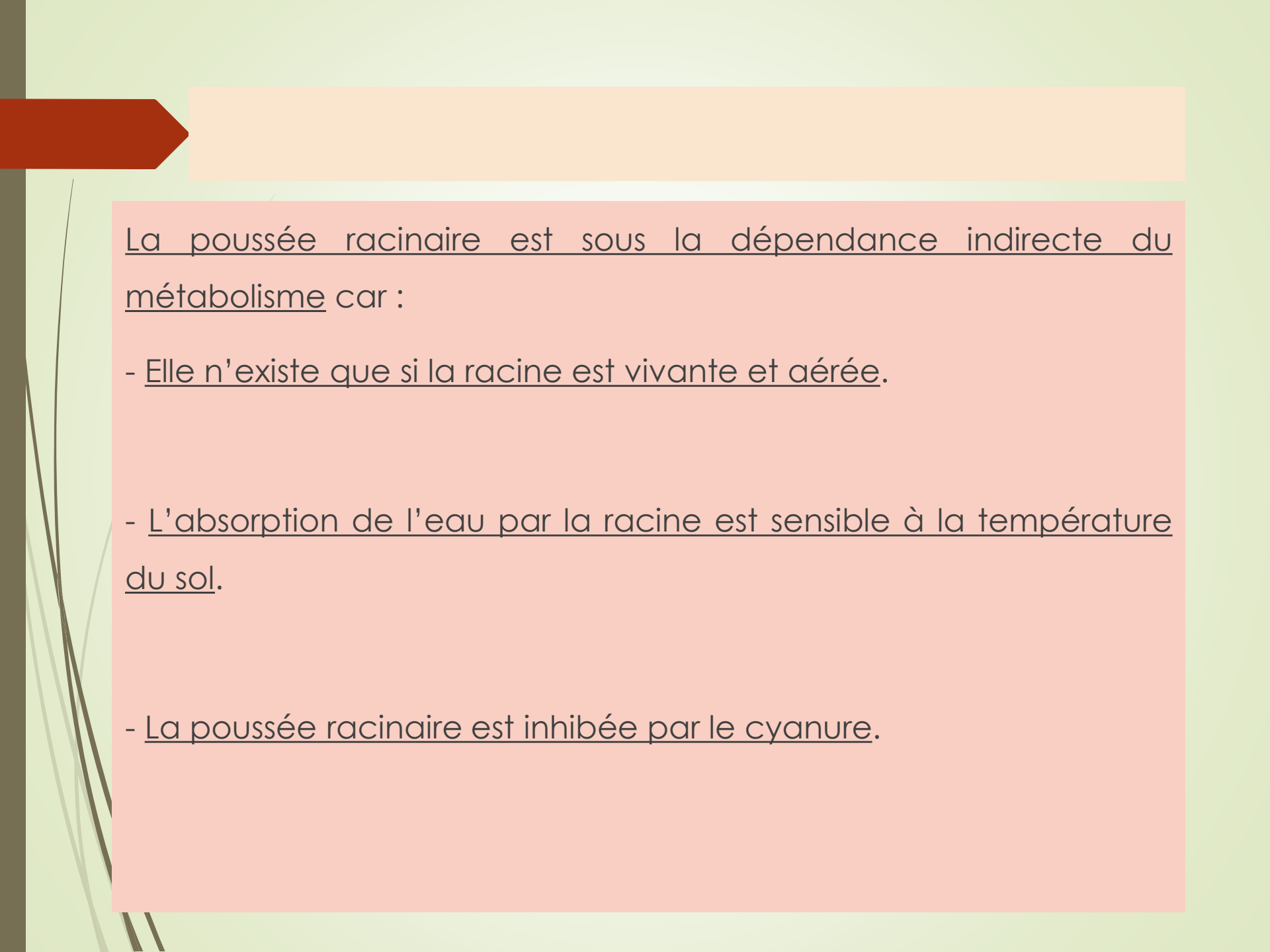
Fig. 11 – Gradient de pression osmotique (π) dans la racine de *Vicia fava* (fève).

Mécanisme impliqué dans la poussée racinaire ?

Le mécanisme impliqué dans la poussée racinaire est encore mal élucidé.

L'idée actuelle d'un **processus passif de nature osmotique** est de plus en plus retenu par le fait que la turgescence des cellules parenchymateuses corticales, plus élevée que celles des vaisseaux, accroît la capacité de l'eau à pénétrer par pression mécanique au niveau du cylindre central.





La poussée racinaire est sous la dépendance indirecte du métabolisme car :

- Elle n'existe que si la racine est vivante et aérée.
- L'absorption de l'eau par la racine est sensible à la température du sol.
- La poussée racinaire est inhibée par le cyanure.

Conclusions :

Les mécanismes impliqués dans le mouvement de l'eau d'un compartiment à un autre sont liés à des différences de pression osmotique.

Dans le cas de l'absorption de l'eau, l'activité physiologique de la plante intervient en maintenant la pression osmotique du poil absorbant suffisamment élevée :

(a) par **l'épictèse** (absorption supplémentaire d'ions ne pouvant se produire que par un apport d'énergie fournie par le métabolisme cellulaire) ou (b) par **la transpiration**.



Structures membranaires responsables de la régulation du transport de l'eau dans la plante ?

Au début des années 1990, des physiologistes végétalistes ont identifié chez les plantes des protéines membranaires appelées aquaporines ou canaux hydriques (de diamètre = 0,3 – 0,4 nm).

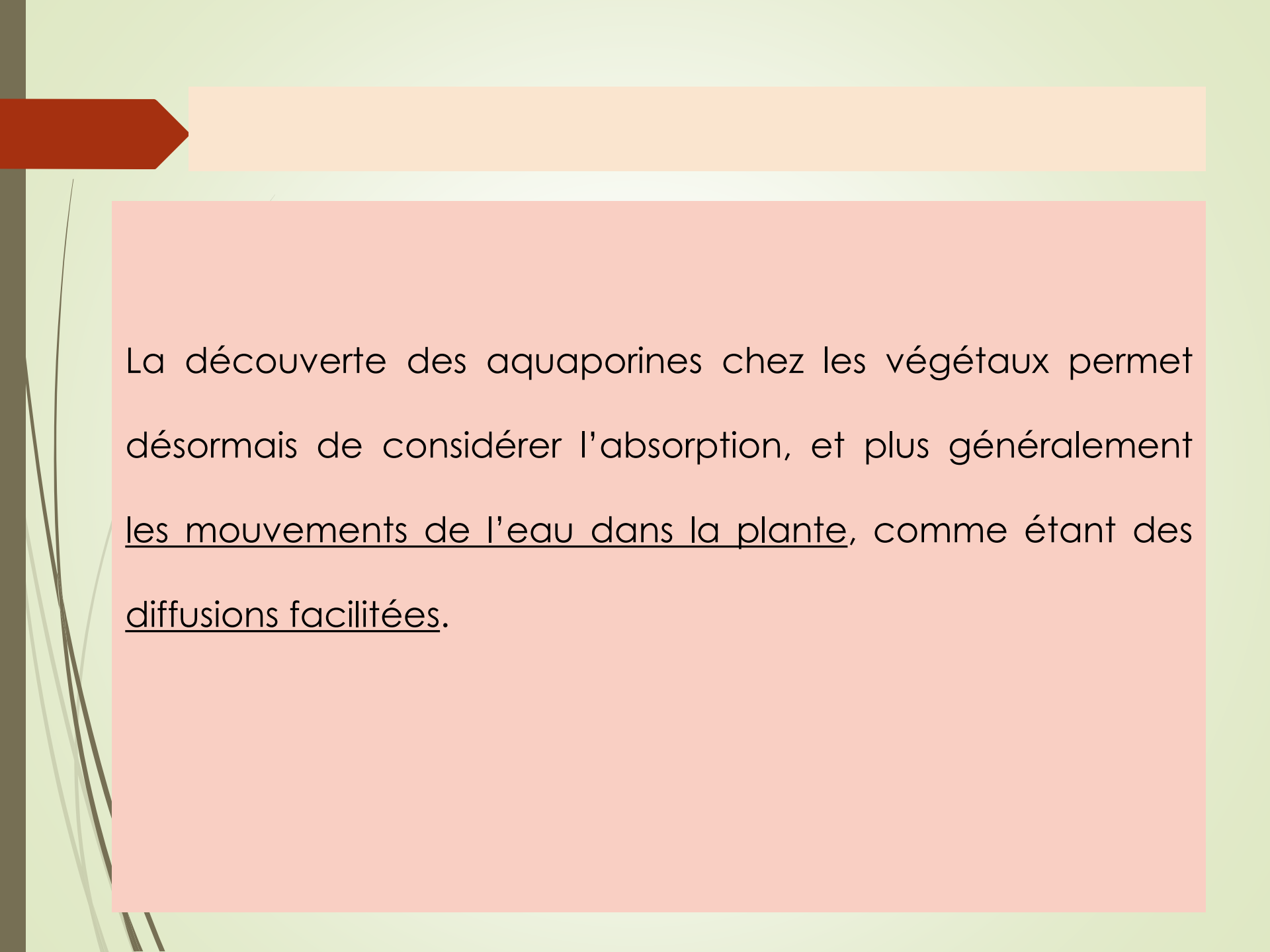
Structures membranaires responsables de la régulation du transport de l'eau dans la plante ?

Ces protéines membranaires intrinsèques participent à la régulation des échanges hydriques en facilitant, par leur activation ou par modification de leur distribution, les mouvements de l'eau (diamètre de la molécule d'eau = 0.28 nm).

Les aquaporines facilitent la diffusion spécifique de l'eau :

- dans les cellules (cas des mouvements cellulaires rapides tels la plasmolyse et la turgescence ; cas des mouvements d'ouverture et de fermeture des stomates) ou
- entre les cellules (transport d'eau de vacuole à vacuole) au travers les membranes biologiques (membrane plasmique, tonoplaste, réticulum endoplasmique, membrane pér bactéroïdienne du nodule racinaire de soja, etc.).

Remarque : les aquaporines s'opposent au passage d'ions minéraux ou de solutés organiques.



La découverte des aquaporines chez les végétaux permet désormais de considérer l'absorption, et plus généralement les mouvements de l'eau dans la plante, comme étant des diffusions facilitées.



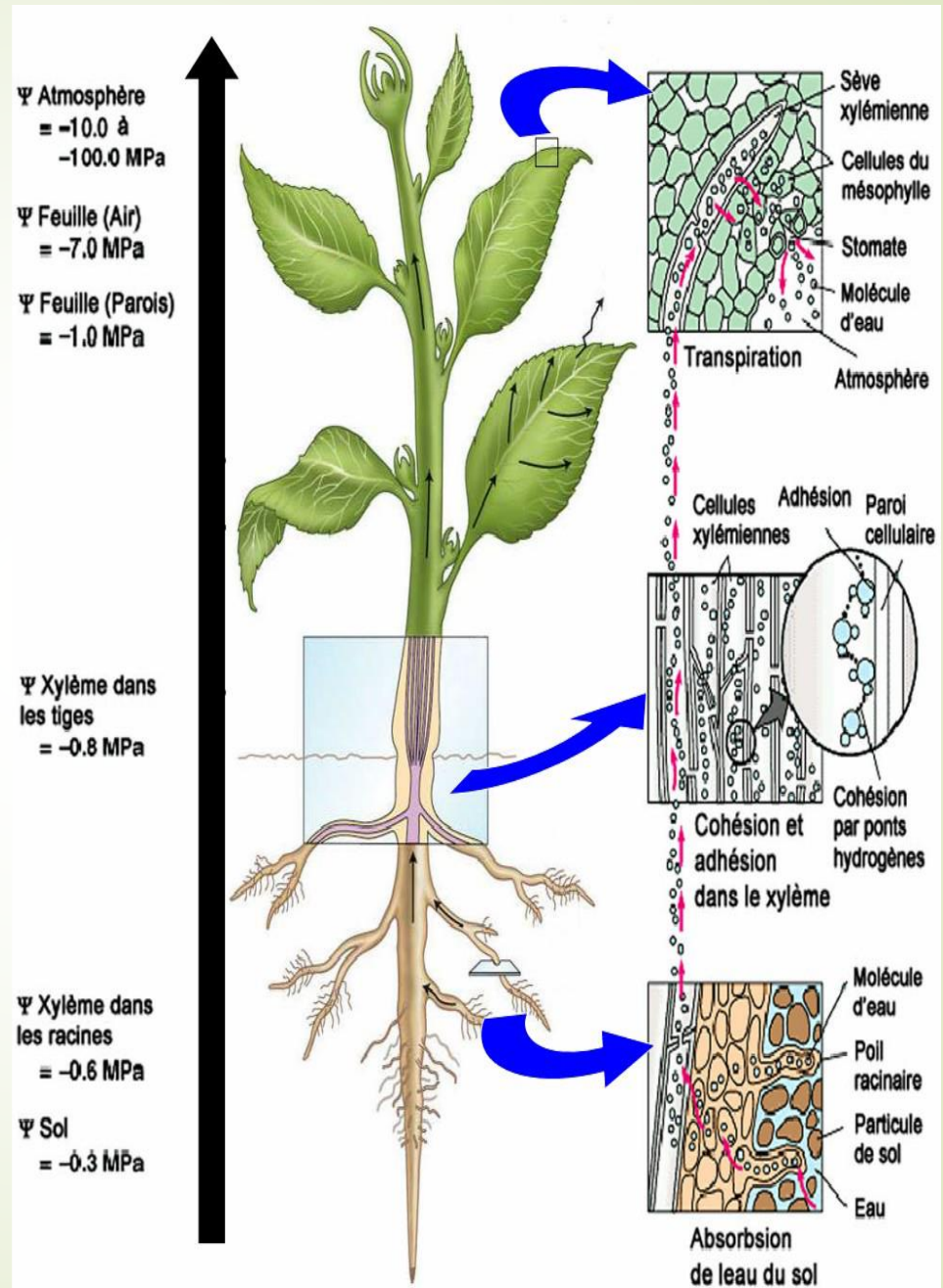
4.2. Dans la tige

Sève brute ?

A la fin de son cheminement horizontal dans le parenchyme radiculaire, (a) l'eau déversée dans les vaisseaux en même temps que (b) les sels minéraux (chapitre 2) auxquels s'ajoutent (c) quelques composés organiques (acides aminés résultant de la réduction des nitrates commencée dans la racine / chapitre 3) constitue la sève brute.

Mouvement de l'eau dans la tige :

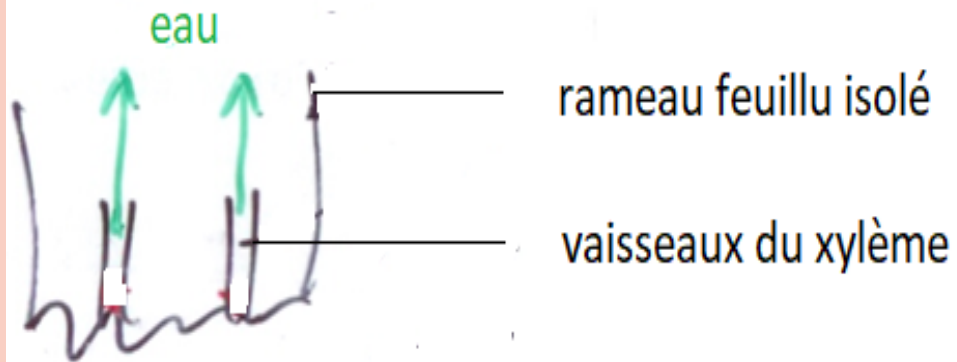
La migration de la sève brute vers les parties aériennes se fait ensuite verticalement par les vaisseaux du xylème (cellules mortes vidées de leur protoplasme).



4.2.1. Mise en évidence :

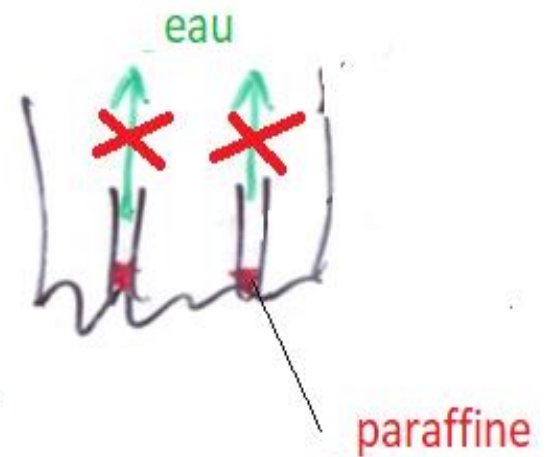
En trempant la base d'un rameau feuillu isolé dans de la paraffine fondue puis en grattant soigneusement la surface pour que seuls les vaisseaux restent obturés, on constate que le rameau mis dans l'eau se fane contrairement au rameau témoin (sans paraffine) qui ne montre pas de fanaison (fig. 12).

Pas de fanaison



Témoin

Fanaison



Traité

Fig. 12 - Mise en évidence schématique du rôle des vaisseaux du xylème dans la conduction verticale de l'eau dans la tige.

4.2.2. Mécanisme :

- Le principal moteur de la montée de la sève brute est la **t**ranspiration dont l'appel se transmet le long de la tige grâce à la cohésion des molécules d'eau. Lorsque c'est la transpiration qui prédomine, la sève brute est sous **t**ension.
- La **p**oussée racinaire joue également un rôle important dans cette ascension (montée) surtout lorsque la transpiration est faible (cas pendant la nuit et pour les arbres et les arbustes formant leurs fleurs avant leurs feuilles). Lorsque c'est la poussée racinaire qui l'emporte, la sève brute est sous **p**ression.

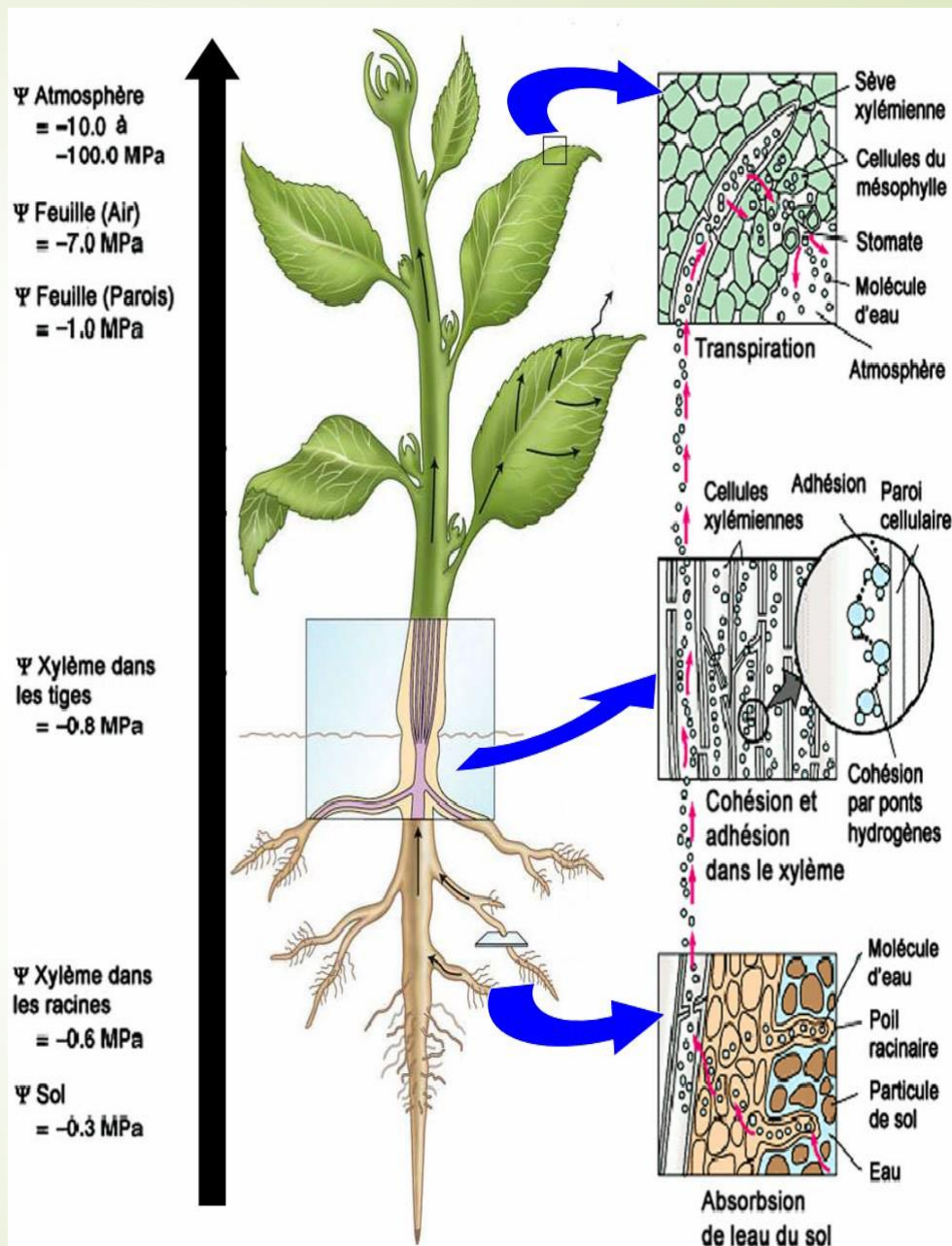


4.3. Transit horizontal dans les feuilles

Mouvement de l'eau dans la feuille :

Le déplacement centrifuge de la sève brute est assuré dans ce cas par un gradient de pression osmotique (π) croissant du parenchyme vasculaire vers les cellules les plus périphériques.

L'eau des parois **s'évapore** par la suite dans les **lacunes** et diffuse vers le milieu extérieur.



*Récapitulatif : Dans la succion des racines interviennent trois composantes principales :

1.: la pression osmotique des poils absorbants, contrebalancée en partie par la pression de turgescence ;

2.: la succion des tissus situés plus en avant sur le trajet de l'eau et plus particulièrement celle des tissus foliaires, eux-mêmes soumis à l'appel d'eau causé par la transpiration ;

3.: l'activité physiologique de la racine, qui se manifeste notamment par la poussée racinaire, laquelle injecte dans la tige de l'eau sous pression et par là même provoque un appel d'eau en deçà.



5/ EMISSION DE L'EAU DANS
L'ATMOSPHERE




Cette émission peut s'effectuer :

- à l'état liquide, dans ce cas on parle de guttation ou sudation.
- à l'état de vapeur et on parle de transpiration.



5.1. Guttation



C'est un rejet d'eau sous forme de gouttelettes liquides qui apparaissent soit à la périphérie des feuilles (Tomate, Lierre) ou à l'extrémité des feuilles (comme chez les Graminées).

Cette émission s'effectue généralement par les stomates aquifères (= hydathodes) situés à l'extrémité des dentelures du limbe (fig. 13)

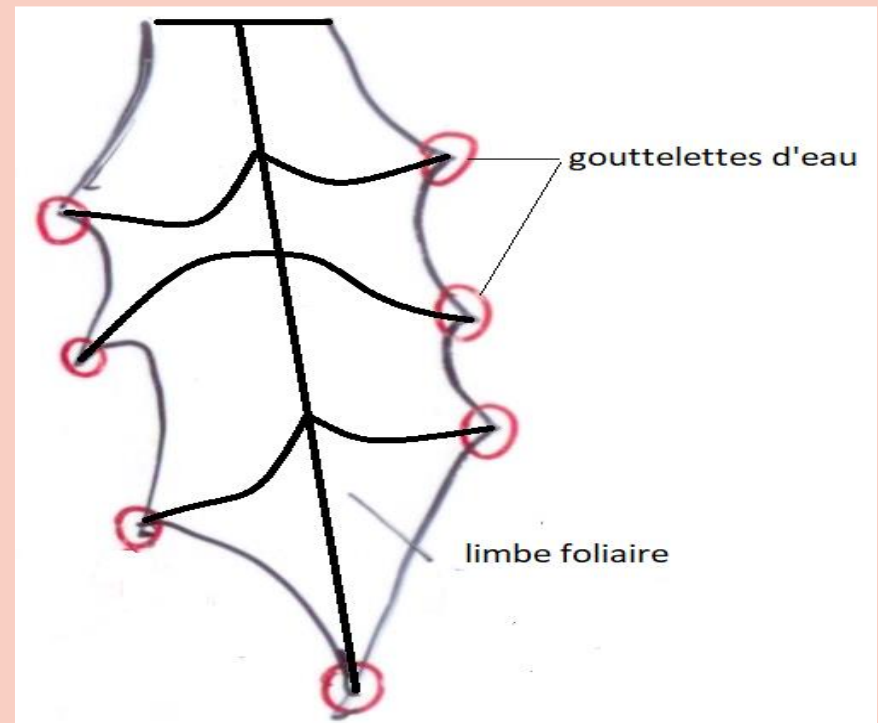



Fig. 13. Guttation à l'extrémité des dentelures d'un limbe foliaire.



La guttation survient lorsque la transpiration est réduite ou nulle et l'absorption racinaire intense.

Les quantités d'eau émises restent, cependant, très inférieures par rapport à celles évacuées par transpiration.



5.2. Transpiration

5.2.1. Mise en évidence :

Précaution :

il faut éviter que l'eau ne s'évapore du récipient de mesure (pot, etc.) ou par la surface du sol, en les enfermant par exemple dans un sac en plastique qui ne laisse traverser que la tige.

a. Mise en pot sans arrosage :

La plante se fane et son poids diminue.

Cette perte de poids est due à la transpiration de la partie aérienne.

b) Mise sous cloche en verre :

Apparition de gouttelettes d'eau sur la paroi de la cloche (donc transpiration de la plante) (fig. 14).

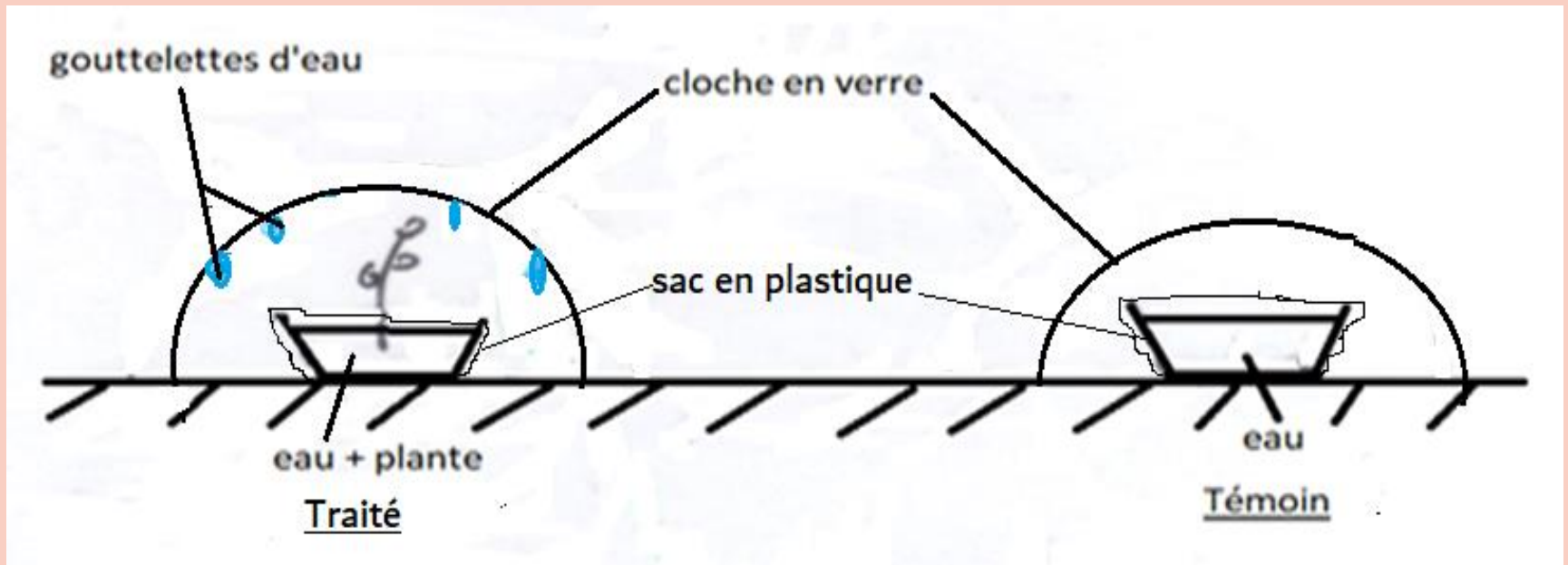


Fig. 14 - Mise en évidence schématique de la transpiration chez les végétaux terrestres par l'utilisation d'une cloche en verre ou d'un papier sensible.

c) Utilisation de papier sensible ou sympathique :

Ce type de papier change de couleur selon qu'il est sec ou humide. Ex. CoCl_2 (chlorure de cobalt) : desséché, il est bleu ; humide, il vire au rose (fig. 14).

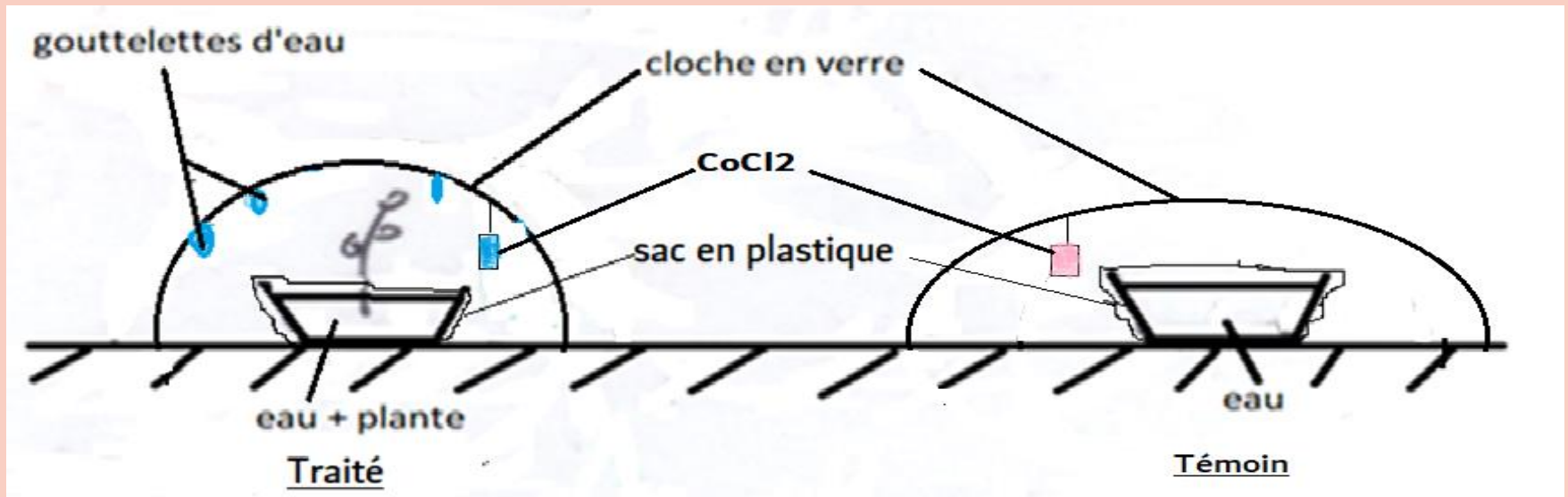


Fig. 14 - Mise en évidence schématique de la transpiration chez les végétaux terrestres par l'utilisation d'une cloche en verre ou d'un papier sensible.

5.2.2. Voies d'émission :

La transpiration se produit :

- (a) essentiellement au niveau des feuilles (plus de 90% de l'évaporation totale)

- (b) par les jeunes troncs, les pièces florales et les tiges subérifiées.

a) Au niveau des feuilles :

(i) Transpiration cuticulaire

Diffusion de la vapeur d'eau à travers la cuticule (pellicule lipidique couvrant l'épiderme).

Ce type représente 90 à 95% de la perte d'eau totale par les feuilles.

(ii) Transpiration stomatique

Diffusion de la vapeur d'eau à travers les stomates (fig. 15).

Ce type représente 05 à 10% de la perte d'eau totale par les feuilles.

Les stomates : vue
microscopique

Ils sont formés de deux
cellules de garde en
regard, réniformes, laissant
entre elles une ouverture,
l'ostiole.

*Les cellules de garde sont
fréquemment entourées
par des cellules
compagnes.

*Dans l'épiderme, seules les
cellules de garde sont
pourvues de chloroplastes.

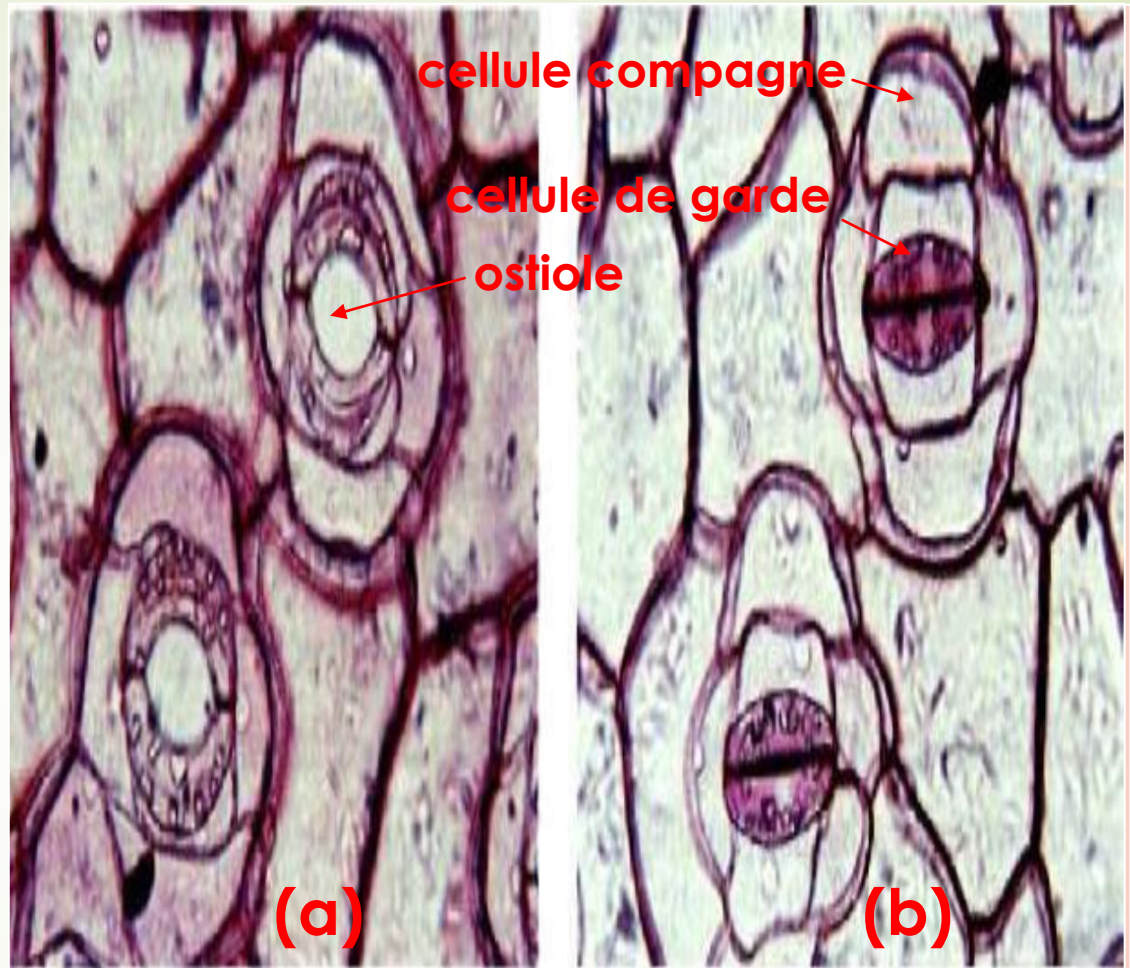


Fig. 15 - Epiderme foliaire observé au microscope optique montrant des stomates ouverts (a) et fermés (b).

Coupe transversale du limbe foliaire de dicotylédone (fig. 16) :

La paroi des cellules de garde qui délimitent l'ostiole est plus épaisse (du côté interne) que celles des cellules épidermiques voisines ; particularité morphologique jouant un rôle capital dans le mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates.

Sous les cellules de garde se trouve la chambre sous-stomatique (vaste lacune).

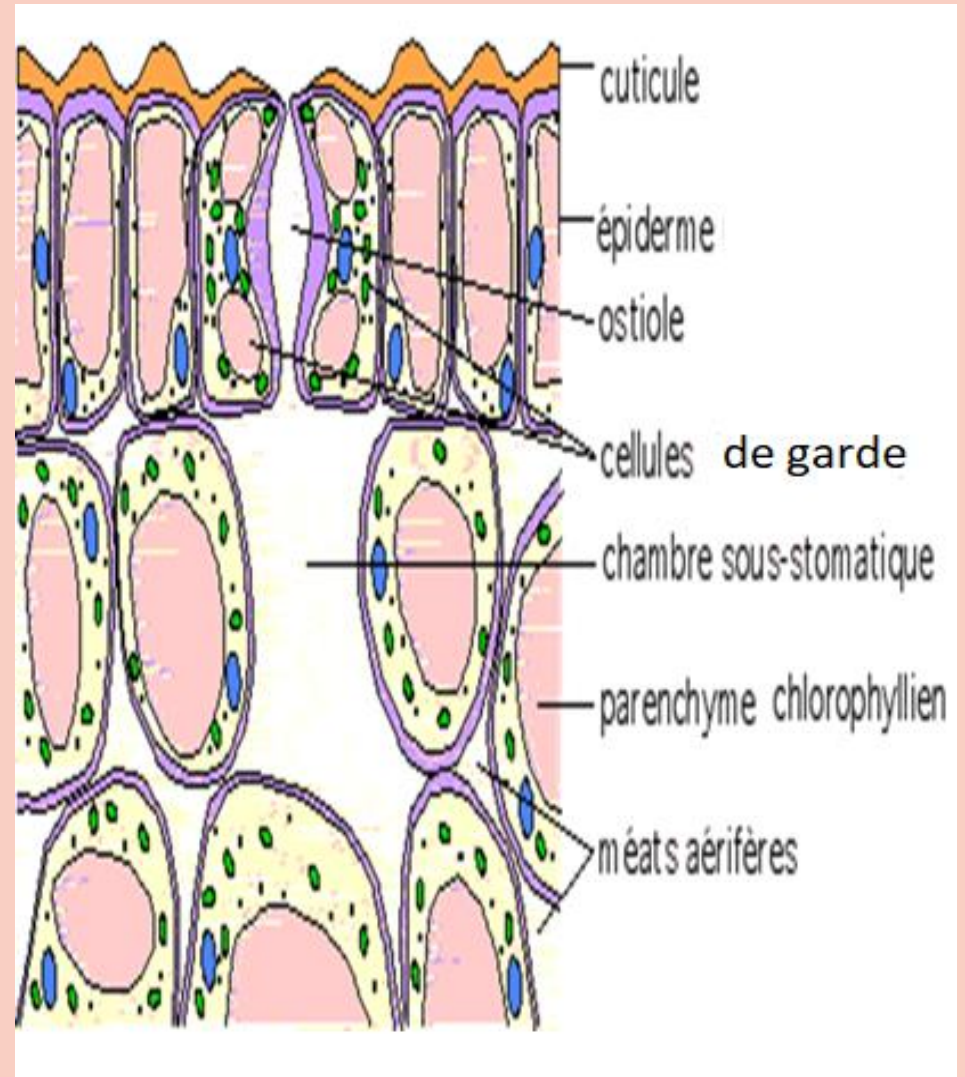


Fig. 16. Schéma d'une coupe transversale du limbe d'une feuille de dicotylédone.

Mise en évidence des transpirations cuticulaire et stomatique :

Par Gareau (fig. 17).

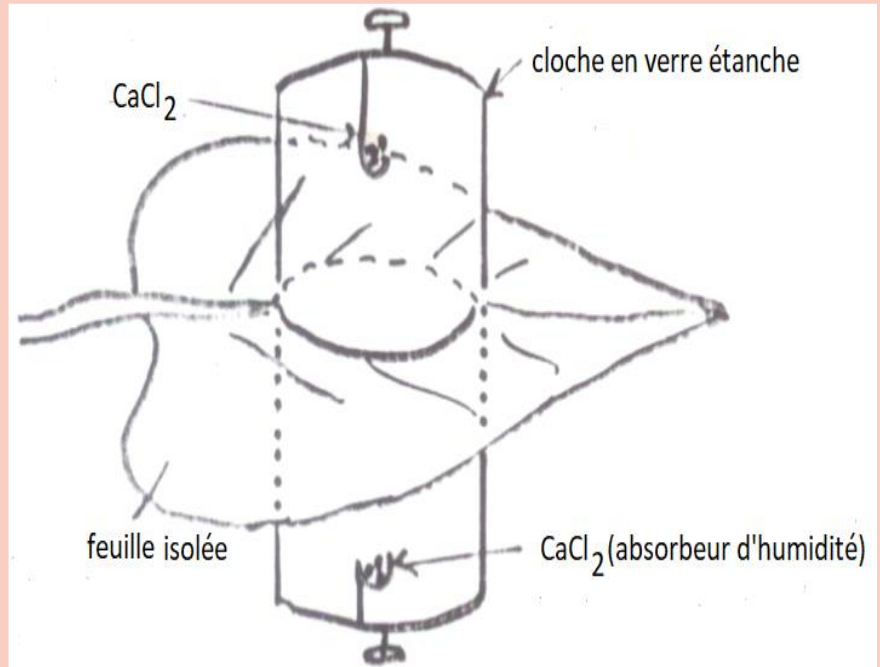


Fig. 17 – Montage schématique de l'expérience de Garreau (1849).

Tableau 1. Résultats de l'expérience de Garreau (champ microscopique : e 0,2 mm², surface transpirante : 40 cm²).

(i) La face inférieure des feuilles, plus riche en stomates, transpire plus que la face supérieure.

Espèce	Face foliaire	Nombre stomates/champ microscopique	Transpiration (mg/h/dm ²)
Dahlia	inférieure	30	600
	supérieure	20	500
Tilleul (cuticule mince)	inférieure	60	490
	supérieure	0	200
Lierre (cuticule épaisse)	inférieure	80	90
	supérieure	0	0

Tableau 1. Résultats de l'expérience de Garreau (champ microscopique : e 0,2 mm², surface transpirante : 40 cm²).

(ii) La proportionnalité n'est pas conservée, parfois, même en absence de stomates il y a transpiration (si la cuticule est mince : 1 à 2 μm comme chez le Tilleul).

Espèce	Face foliaire	Nombre stomates/champ microscopique	Transpiration (mg/h/dm ²)
Dahlia	inférieure	30	600
	supérieure	20	500
Tilleul (<u>cuticule mince</u>)	inférieure	60	490
	supérieure	0	200
Lierre (<u>cuticule épaisse</u>)	inférieure	80	90
	supérieure	0	0

Tableau 1. Résultats de l'expérience de Garreau (champ microscopique : e 0,2 mm², surface transpirante : 40 cm²).

(iii) Si la cuticule est épaisse, il n'y a pas transpiration en absence de stomates (face supérieure, 10 µm, cas du Lierre).

Espèce	Face foliaire	Nombre stomates/champ microscopique	Transpiration (mg/h/dm ²)
Dahlia	inférieure	30	600
	supérieure	20	500
Tilleul (cuticule mince)	inférieure	60	490
	supérieure	0	200
Lierre (cuticule épaisse)	inférieure	80	90
	supérieure	0	0

Distribution géographique des végétaux dans les écosystèmes terrestres naturels ?

Lorsque les stomates sont fermés, seule la transpiration cuticulaire subsiste.

La transpiration cuticulaire constitue donc un facteur important de la distribution géographique des végétaux dans les écosystèmes terrestres naturels : une valeur trop élevée de la transpiration rend certains végétaux inaptes à la vie dans des régions sèches.

Les végétaux qui croissent en plein soleil ou dans des habitats secs ont des feuilles possédant des cuticules épaisses ; alors que ceux qui poussent à l'ombre ou dans des habitats humides ont des cuticules minces.

Intensité de la transpiration stomatique :

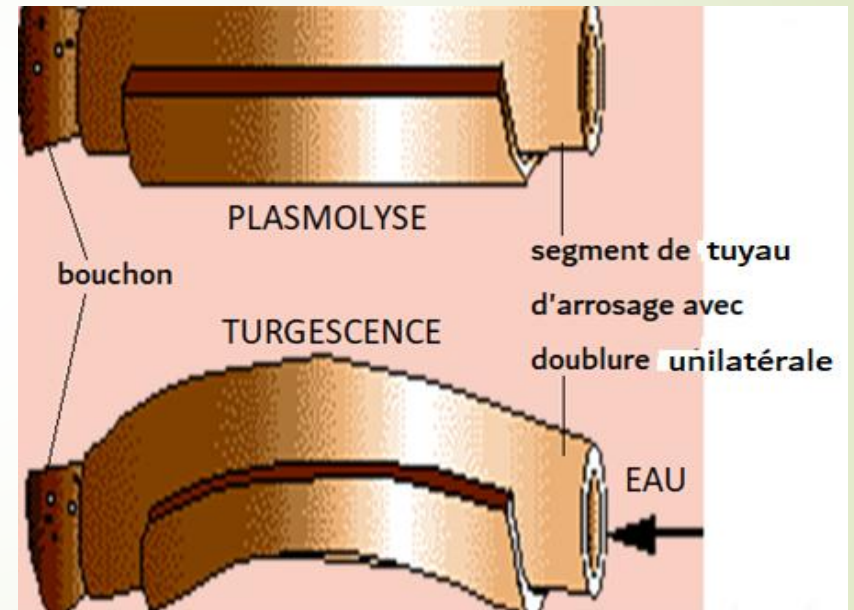
(i) est dépendante des conditions externes.

(ii) est gouvernée par les mécanismes qui assurent l'ouverture et la fermeture des stomates.

Mouvements d'ouverture et de fermeture des stomates :

Sont dus à des variations différentielles de turgescence des cellules de garde.

La paroi des cellules de garde, épaissie inégalement, provoque des contraintes mécaniques et permet l'écartement des 2 cellules de garde lorsqu'elles sont turgescents et leur rapprochement lorsqu'elles sont plasmolysées.



b) Au niveau des tiges suberifiées :

Transpiration lenticellaire

La diffusion de la vapeur d'eau vers l'extérieur se faisant à travers des lenticelles (fig. 18).

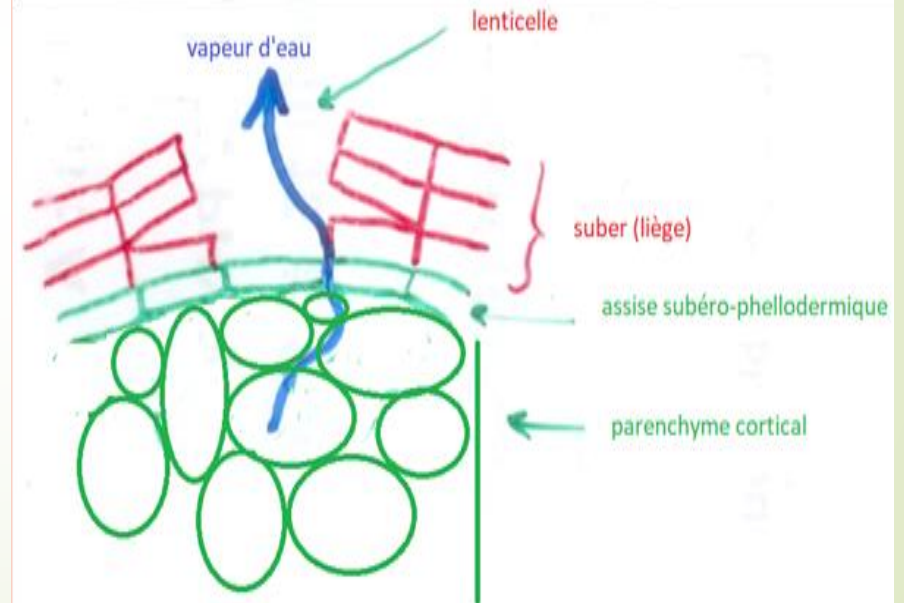


Fig. 18. Schéma d'une lenticelle au niveau d'une tige subérifiée.

Lenticelles ?

Les lenticelles sont des éclats de tissus ménagés dans le suber ou liège.

Ces éclatements correspondent localement à un manque de cohésion entre les cellules subérifiées ou tout simplement à une absence de subérification (fig. 18).

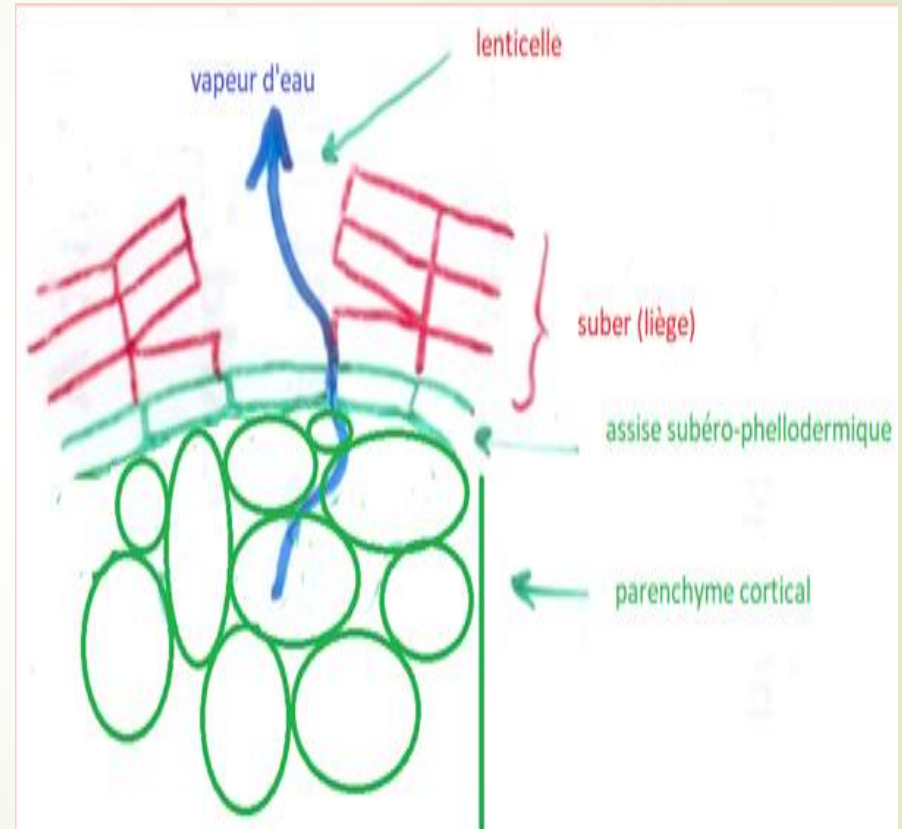


Fig. 18. Schéma d'une lenticelle au niveau d'une tige subérifiée.

5.2.3. Facteurs de variation de la transpiration :

La transpiration est un phénomène d'évaporation de l'eau se produisant à la surface de la matière vivante.

Elle est régulée par des moyens physiologiques et varie sous l'influence de 3 types de facteurs :

a) Facteurs structuraux :

Tenant à certaines particularités morphologiques de l'appareil aérien à savoir :

Réduction de la surface foliaire :

+ chez les arbres à feuilles caduques, la chute des feuilles supprime la transpiration.

+ chez les xérophytes chez lesquels les feuilles sont réduites en aiguilles ou en écailles, une réduction de la transpiration est notée.

Nature des tissus sous épidermiques :

- + la présence de lacunes dans le parenchyme foliaire la favorise;
- + les tissus palissadiques diminuent la transpiration;
- + La suberification ou la lignification des tissus périphériques chez les conifères diminuent la transpiration;
- + Les tissus riches en mucilage, pectine, ... transpirent moins.

Épaisseur de la cuticule :

Quand les stomates sont fermés, seule la transpiration cuticulaire subsiste.

Plus les cuticules sont **épaisses** plus l'intensité de la transpiration est **réduite** (ex: Lierre).

En général, pour les plantes des régions humides, les cuticules font entre 1 à 2 μm d'épaisseur, elles peuvent atteindre cependant 10 μm chez l'Olivier, le pin et les halophytes (végétaux tolérant le sel).

Densité des stomates :

Il y a toujours une corrélation hautement positive entre la densité des stomates et la l'intensité de transpiration (mais, il n'y a pas de proportionnalité).

b) Facteurs internes :

Facteurs qui traduisent l'état des cellules (pCO₂, pH, pression osmotique, etc.). Les cellules à pression osmotique élevée transpirent moins.

b) Facteurs externes :

Facteurs qui composent l'ambiance ou l'environnement externe des plantes, tels que :

Température du sol :

Quand la **température du sol diminue**, il y a réduction de l'absorption qui entraîne une augmentation du déficit hydrique de la plante. Il s'en suit une élévation de la succion des feuilles et surtout une fermeture des stomates d'où la **réduction de la transpiration**.

Agitation de l'air :

Le vent à faible vitesse renouvelle l'air chargé d'humidité au contact des tissus et favorise leur transpiration.

Cependant, un excès de vent fait fermer les stomates et diminue la transpiration.

Lumière :

En agissant sur l'ouverture des stomates, la lumière favorise la transpiration qui est presque nulle à l'obscurité.


5.2.4. Périodicité :

L'influence des facteurs externes sur la transpiration introduit une périodicité du phénomène aussi bien journalière que saisonnière :

les végétaux transpirent beaucoup plus le jour que la nuit
et la transpiration diminue pendant l'hiver et en plein été.

5.2.5. L'évapotranspiration :


Pour une couverture végétale (une culture par exemple), il est difficile de distinguer la part de l'émission de l'eau vers l'atmosphère (qui revient à la transpiration proprement dite) de celle qui est due à l'évaporation à partir de la surface du sol. Aussi les agronomes considèrent-ils le phénomène global désigné sous le nom d'évapotranspiration.



Dans les régions arides et semi arides, souffrant d'une pénurie d'eau due à la rareté des précipitations et d'une demande en eau par les végétaux sans cesse croissante, l'évapotranspiration constitue l'un des facteurs de perte des ressources en eau les plus importantes pour la végétation (plus de 80% de l'eau des précipitations annuelles retournent dans l'atmosphère par évaporation).



6/ RELATION ENTRE ABSORPTION
ET TRANSPIRATION (EQUILIBRE
HYDRIQUE)



On dit qu'il y a équilibre hydrique dans une plante du fait que pratiquement toute l'eau absorbée est transpirée.

Moins de 5% de l'eau absorbée par les végétaux est utilisée pour la croissance, une quantité moindre est utilisée pour les réactions biochimiques.



Cet équilibre n'est pas parfait à tout instant et il est maintenu :

- soit par fermeture des stomates lorsqu'un déficit hydrique apparaît par excès de la transpiration,

- soit par des phénomènes secondaires tels que la guttation lorsque l'absorption est excédentaire.



Dans certaines conditions particulières, l'équilibre hydrique peut être détruit.


Exemple : lors du repiquage des plantes, il est nécessaire de réduire la surface transpirante (dans ce cas le signe d'un stress hydrique est un rabattage des feuilles [fanaison, flétrissement] pour compenser les pertes pour les racines qui ont lieu suite à un mauvais contact entre la racine et le sol).



7/ STRESS HYDRIQUE, ADAPTATION A LA SECHERESSE



7.1. Stress hydrique




Le stress hydrique est une agression subie par une plante placée dans un environnement sec, salin ou froid. La réaction de la plante est caractérisée par une transpiration supérieure à l'absorption d'eau d'où sa fanaison (flétrissement).

Ce type de réaction est rencontré chez les végétaux non adaptés à ces environnements.



La cause essentielle du déficit hydrique dans un tissu est la sécheresse prolongée de l'environnement.

En effet, comme les **stomates** ne peuvent rester indéfiniment fermés à cause des besoins de la plante en oxygène pour la respiration et en gaz carbonique pour la photosynthèse, il s'en suit une perte importante d'eau par transpiration.



Les lésions des racines d'origine mécanique ou infectieuse, qui entraînent une réduction de l'absorption, peuvent provoquer une sécheresse dite physiologique qui présente les mêmes symptômes sur la plante qu'une vraie sécheresse climatique (flétrissement).



7.2. Adaptation à la sécheresse

La résistance à la sécheresse se manifeste par deux aspects :

7.2.1. Anhydrobiose :

Dans ce cas les variations de la teneur interne en eau suivent celles du milieu extérieur et il y a installation d'une **vie latente** après déshydratation (cas des plantes reviviscentes).

7.2.2. Xérophytisme :

Par des adaptations morphologiques (du système racinaire et/ou de l'appareil aérien) qu'on appelle **xéromorphoses**, les plantes limitent leurs pertes en eau et maintiennent une teneur en eau interne compatible avec une vie active (cas des xérophytes et des plantes succulentes)./.