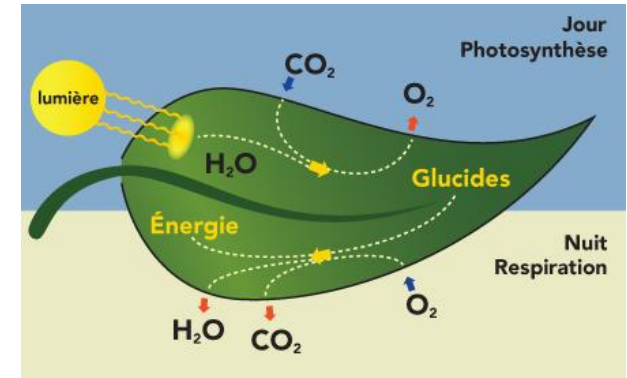
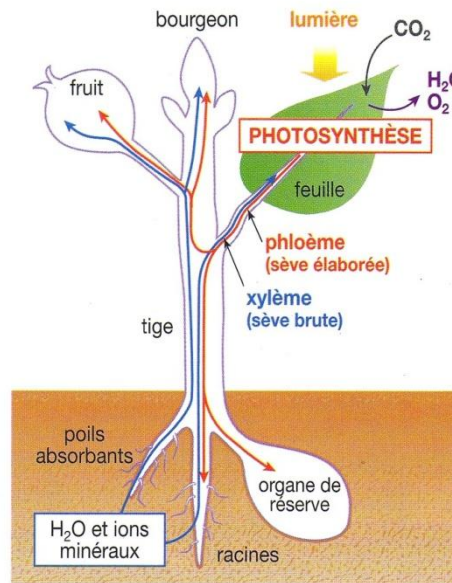


Physiologie Végétale



Faculté des Sciences Appliquées Université Ibn Zohr
Filière SV, Semestre 4

2019/2020



Objectifs du cours

Donner aux étudiants quelques notions de base du fonctionnement des organismes végétaux, à savoir la croissance, le développement et la nutrition minérale et hydrique.

Introduction générale

- La matière vivante des cellules végétales présente la même composition élémentaire et les mêmes catégories moléculaires que toute autre matière vivante ce qui traduit l'unité profonde de la biosphère qui est formée d'êtres vivants génétiquement apparentés dérivés les uns des autres au cours de l'évolution.
- Cette unité se caractérise également par :
 - L'identité des structures générales de toutes les cellules;
 - L'existence des mêmes mécanismes fondamentaux de transformation de l'énergie;
 - Les mêmes voies principales du métabolisme intermédiaire chez tous les êtres vivants.

Introduction générale

- Cependant, les plantes se distinguent du reste des êtres vivants par deux caractéristiques:
 - ✓ La cellule végétale typique est entourée d'une paroi rigide qui forme un véritable squelette péri cellulaire et vue sa composition très riche en glucide, ceci accentue la distinction des plantes du reste des êtres vivants.
 - ✓ La cellule végétale typique est en plus douée d'un pouvoir de biosynthèse très développé, ce qui la dote d'une capacité de survie en autotrophie complète

Introduction générale

- C'est-à-dire que dans un milieu purement minéral sans le moindre échange avec aucun autre être vivant ce qui signifie qu'une plante supérieure qui pousse dans l'air, sur un sol riche en nitrates, pourra utiliser les éléments suivants C, N, S, P, eau du milieu et pour les intégrer dans les molécules organiques les plus variées.
- L'énergie nécessaire à la réalisation de toutes ces biosynthèses sera tirée directement à partir du soleil: c'est un cas de parfaite autotrophie totale.
- Ceci n'est pas réalisable dans le règne animal qui est en fait considéré comme parasite des végétaux.

Introduction générale

Définition de la physiologie végétale

- Le mot physiologie tire son origine du mot grec **physis**, qui signifie nature et de **logos**, le discours. Littéralement, la physiologie végétale est donc le discours sur la nature des plantes.
- Du point de vue physiologique, les plantes sont d'abord considérés comme des machines biochimiques, qui puisent leur énergie et les molécules inorganiques simples dans leur environnement physique et qui utilisent cette énergie et ces molécules pour élaborer des structures chimiques complexes.
- Les processus qui permettent aux plantes de mener à bien ces activités résultent d'une multitude de réactions chimiques. En d'autres termes, tout ce qui fait une plante et tout ce que fait une plante est fondé sur des processus physico-chimiques.

Introduction générale

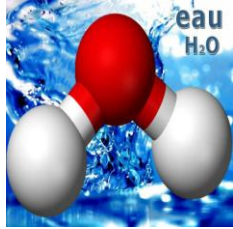
Définition de la physiologie végétale

- La physiologie végétale nous raconte comment les plantes utilisent l'énergie solaire pour assimiler le carbone et comment elles convertissent ce carbone en leur propre substance.
- Elle nous apprend comment les plantes prélèvent et répartissent les nutriments et l'eau.
- Elle nous dit comment les plantes croissent et se développent, comment elles répondent à leur environnement, comment elles réagissent aux stress et comment elles se reproduisent.
- En bref, la physiologie végétale nous apprend comment les plantes fonctionnent.
- La tâche du physiologiste végétaliste est d'expliquer le **fonctionnement des plantes** en se référant aux lois physico-chimiques connues.

Introduction générale

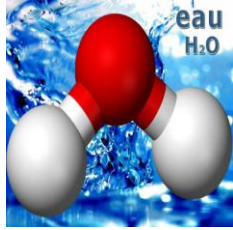
Définition de la physiologie végétale

- C'est donc l'étude des mécanismes qui régissent le fonctionnement et le développement des végétaux.
- Elle se divise en deux grandes parties :
 - **Nutrition et métabolisme** : qui se résument par :
 - ✓ L'acquisition des éléments indispensables à la vie
 - ✓ La transformation de ces éléments et leur intégration dans la matière organique (dans la biomasse)
 - **Croissance et développement** : Mécanismes pour le passage de la graine de l'état de vie ralentie à l'état reproducteur (cycle de développement).



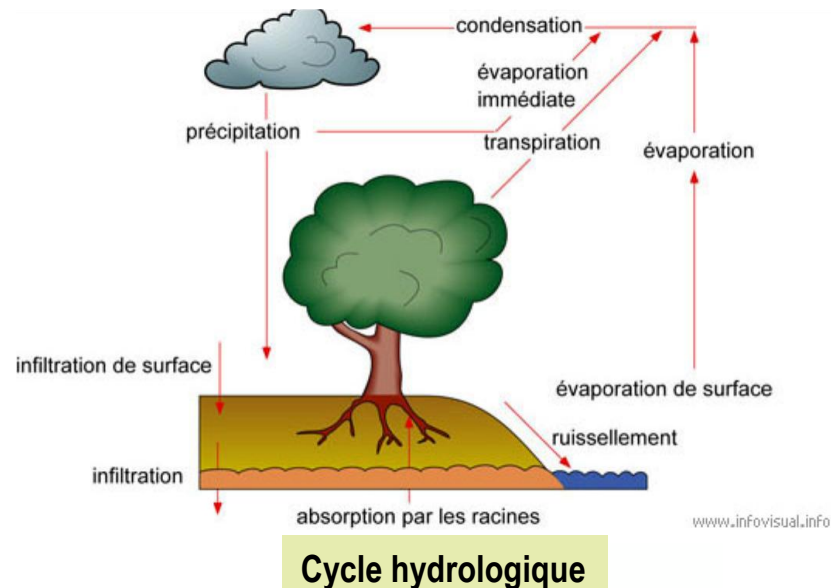
Introduction générale

- La **vie** est apparue dans l'eau. Les êtres vivants sont très liés à cette matière minérale qui constitue près de 70% de leur composition.
- L'eau joue un rôle crucial dans la vie des plantes
- Chaque cellule contient une grande vacuole remplie d'eau qui occupe 90 à 95% du volume de la cellule (cytoplasme 5 à 10%)
- La proportion varie selon le type cellulaire, tissu, organe, espèce, il dépend également des conditions physiologiques et environnementales :
 - ✓ Certaines plantes sont tolérantes à la dessiccation et peuvent ne contenir que 20% d'eau
 - ✓ Le bois très faible teneur d'eau, le protoxylème (35 à 75%)
 - ✓ parenchyme médullaire a une teneur moins importante.
 - ✓ Les graines sèches ont 5% d'eau. Ils sont métaboliquement inactifs, la reprise du métabolisme est conditionnée par la restauration d'un contenu normal d'eau

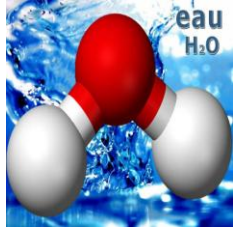


Introduction générale

- Pour chaque gramme de matière organique synthétisée par la plante, environ 500 g d'eau est absorbée par les racines, transportée à travers le corps de la plante et perdue dans l'atmosphère.
- Les plantes absorbent et perdent de l'eau en permanence.
- La plupart de l'eau perdue par la plante s'évapore à partir de la feuille en même temps que le CO₂ nécessaires à la photosynthèse est absorbé de l'atmosphère. Cette perte d'eau s'appelle transpiration.

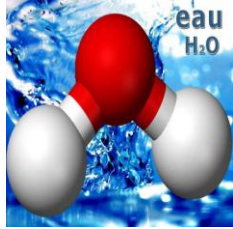


Introduction générale

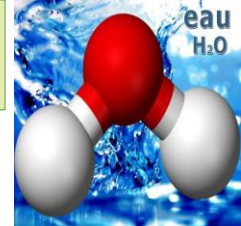


- L'eau remplit des rôles importants dans la physiologie de la plante, rôles pour lesquels ses propriétés physiques et chimiques sont bien adaptées.
- Ses caractéristiques thermiques font qu'elle reste liquide dans une gamme de températures auxquelles se déroulent la plus part des réactions biologiques.
- L'eau possède des propriétés **solvants**, ce qui permet l'absorption et la distribution des nutriments minéraux et solutés nécessaires à la croissance.
- De nombreuses réactions biochimiques qui caractérisent la vie se déroulent dans l'eau qui participe à un très grand nombre de ces réactions.
- La transparence de l'eau aux radiations lumineuses visibles permet aux radiations solaires de pénétrer le milieu aqueux des cellules, où elles fournissent l'énergie nécessaire à la photosynthèse ou au contrôle du développement.

Introduction générale

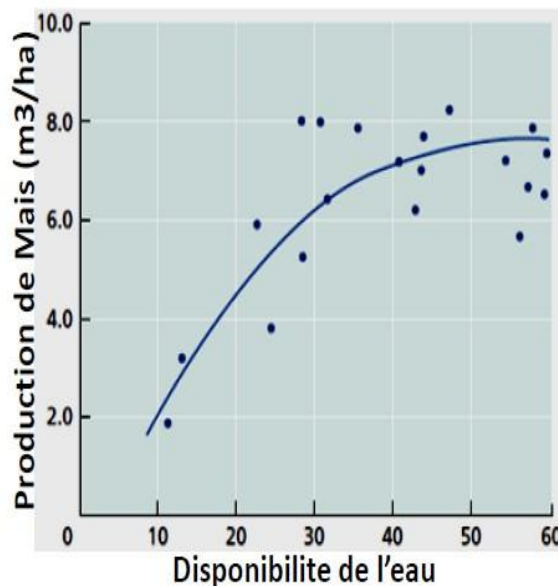


- Dans les plantes terrestres, l'eau est une composante d'un système très dynamique. Les plantes qui ont une activité **photosynthétique** élevée subissent d'importantes pertes d'eau, surtout par leur surface foliaire. Par conséquent, des quantités équivalentes d'eau doivent être prélevées.
- Ce flux continu d'eau dans la plante est d'une importance considérable pour assurer sa croissance et sa survie.
- L'absorption de l'eau par les cellules, produit une pression appelée **pression de turgescence**. Les plantes doivent maintenir la turgescence de leur cellule pour pouvoir garder un port dressé.

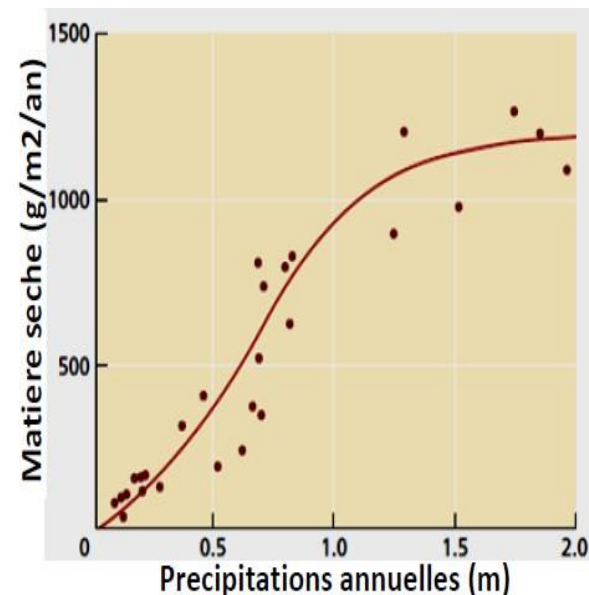


Introduction générale

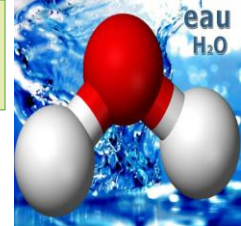
- Bien que l'eau soit la ressource la plus abondante, elle reste la plus limitante pour la productivité des cultures et des écosystèmes naturels. Ainsi, une compréhension de l'absorption et la perte d'eau par les plantes est très important.



Productivité de Maïs en fonction de la disponibilité d'eau. Suivi de 4 ans. La disponibilité en eau a été évaluée comme le nombre de jours sans stress hydrique pendant une période de 9 semaines



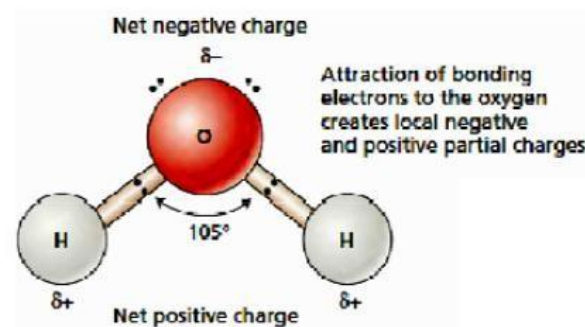
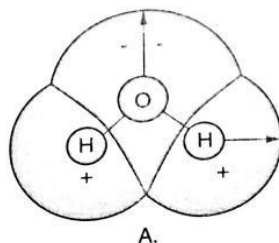
Productivité de différents écosystèmes en fonction des précipitations. La productivité a été estimée par l'accumulation nette de la biomasse aérienne.



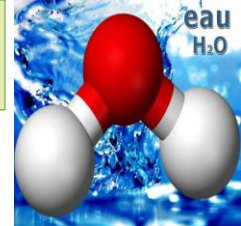
Structure et propriétés de l'eau

Eau et liaison hydrogène

- L'eau est formée d'un atome d'oxygène lié de façon covalente à deux atomes d'hydrogène.
- L'atome d'oxygène très électronégatif a tendance à emprunter des électrons de l'hydrogène, les électrons mis en commun forment une **liaison O-H** et se trouvent plus proches du noyau oxygène que des atomes d'hydrogène.
- Ce qui fait que l'atome d'oxygène porte une charge négative partielle et qu'une charge positive correspondante est portée par les atomes d'hydrogène.
- Cette distribution asymétrique des électrons fait que la molécule d'eau est une **molécule polaire**.



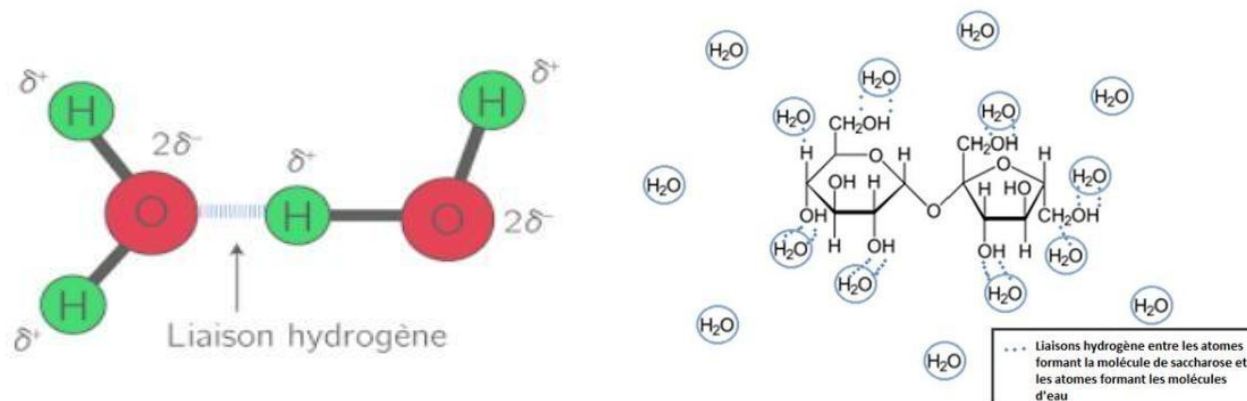
Répartition du nuage électronique d'une molécule d'eau



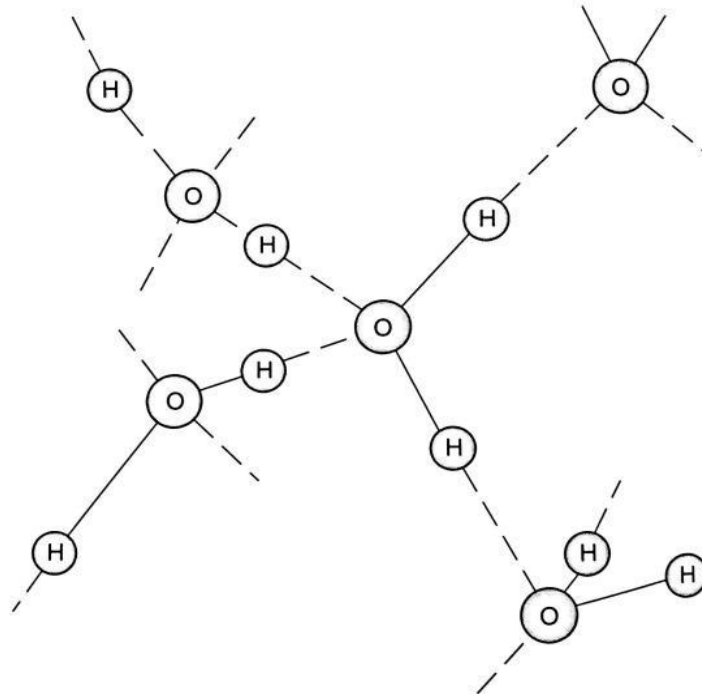
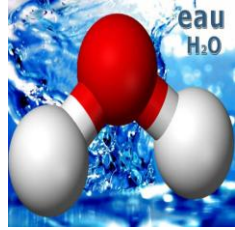
Structure et propriétés de l'eau

Eau et liaison hydrogène

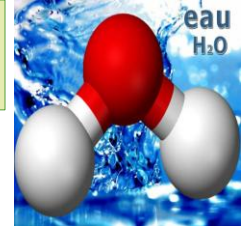
- La séparation de charges positives et négatives génère de fortes attractions mutuelles électriques entre molécules d'eau voisines, ou entre l'eau et d'autres molécules polaires. Cette attraction est nommée **liaison hydrogène** (énergie 20 kJ mol⁻¹).
- Les liaisons hydrogènes peuvent avoir lieu entre des molécules d'eau, et entre la molécule d'eau et d'autres molécules, par exemple des macromolécules tels que des protéines ou des acides aminés (contribution à la stabilisation des structures), glucides ou des alcools qui possèdent des radicaux -OH.



Structure et propriétés de l'eau



La liaison hydrogène résulte de l'attraction électrostatique entre la charge partiellement positive de l'une des molécules et la charge partiellement négative de l'autre.



Structure et propriétés de l'eau

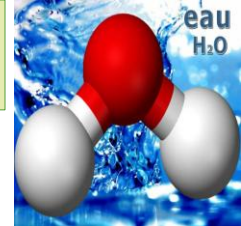
Propriétés thermiques de l'eau

a) Température et état physique

- La propriété la plus importante de l'eau est de se trouver à l'état **liquide** dans une gamme de température qui est compatible avec la vie.
- Les points de **fusion** et **d'évaporation** sont en rapport avec la taille de la molécule, les changements d'état pour de petites molécules s'effectuent à des températures plus basses que pour des molécules plus grosses.

Comparaison des propriétés physiques de l'eau et de molécules de taille identique.

	Masse moléculaire (Da)	Chaleur spécifique (J/g/°C)	Point de fusion (°C)	Chaleur de fusion (J/g)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (J/g)
Eau (H ₂ O)	18	4,2	0	335	100	2452
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	34	–	-86	70	-61	–
Ammoniac (NH ₃)	17	5,0	-77	452	-33	1234
Dioxyde de carbone (CO ₂)	44	–	-57	180	-78	301
Méthane (CH ₄)	16	–	-182	58	-164	556
Éthane (C ₂ H ₆)	30	–	-183	96	-88	523
Méthanol (CH ₃ OH)	32	2,6	-94	100	65	1226
Éthanol (CH ₃ CH ₂ OH)	46	2,4	-117	109	78	878



Structure et propriétés de l'eau

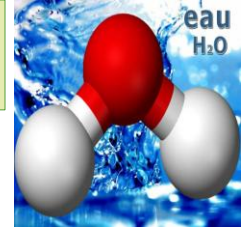
Propriétés thermiques de l'eau

a) Température et état physique

- En se basant uniquement sur la taille, l'eau devrait se trouver à l'état de vapeur sur la plus grande partie de la surface terrestre.
- Comparée à d'autres molécules de taille identique, comme l'ammoniaque (NH_3), ou le méthane (CH_4), les points de fusion et d'ébullition de l'eau sont plus élevés que prévu.

Comparaison des propriétés physiques de l'eau et de molécules de taille identique.

	Masse moléculaire (Da)	Chaleur spécifique (J/g/°C)	Point de fusion (°C)	Chaleur de fusion (J/g)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (J/g)
Eau (H_2O)	18	4,2	0	335	100	2452
Hydrogène sulfuré (H_2S)	34	–	-86	70	-61	–
Ammoniac (NH_3)	17	5,0	-77	452	-33	1234
Dioxyde de carbone (CO_2)	44	–	-57	180	-78	301
Méthane (CH_4)	16	–	-182	58	-164	556
Éthane (C_2H_6)	30	–	-183	96	-88	523
Méthanol (CH_3OH)	32	2,6	-94	100	65	1226
Éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)	46	2,4	-117	109	78	878



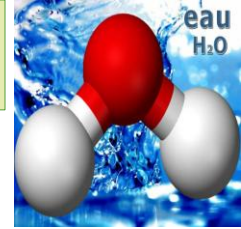
Structure et propriétés de l'eau

Propriétés thermiques de l'eau

a) Température et état physique

- Des molécules comme l'ammoniac et les hydrocarbures (méthane, éthane) ne sont **associés** que par des forces de Van der Waals.
- Cependant, l'introduction d'un atome d'oxygène élève les températures d'ébullition à la fois du méthanol (CH_2OH) et de l'éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) à des valeurs proches de celle de l'eau.
- Ceci est dû à la présence d'oxygène qui introduit une polarité à la molécule et la possibilité de faire des **liaisons de type hydrogène**.

	Masse moléculaire (Da)	Chaleur spécifique (J/g/°C)	Point de fusion (°C)	Chaleur de fusion (J/g)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (J/g)
Eau (H_2O)	18	4,2	0	335	100	2452
Hydrogène sulfuré (H_2S)	34	–	-86	70	-61	–
Ammoniac (NH_3)	17	5,0	-77	452	-33	1234
Dioxyde de carbone (CO_2)	44	–	-57	180	-78	301
Méthane (CH_4)	16	–	-182	58	-164	556
Éthane (C_2H_6)	30	–	-183	96	-88	523
Méthanol (CH_3OH)	32	2,6	-94	100	65	1226
Éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)	46	2,4	-117	109	78	878



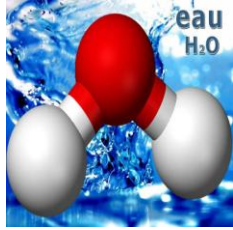
Structure et propriétés de l'eau

Propriétés thermiques de l'eau

b) Absorption et dissipation de la chaleur

- La **chaleur spécifique** est la quantité d'énergie nécessaire pour élever la température de 1 g d'une substance de 1°C.
- La chaleur spécifique de l'eau sert de base à la définition d'une quantité d'énergie nommée calorie.
- A la chaleur spécifique de l'eau, on a attribué la valeur de 1 calorie selon le système International d'Unités. L'eau a une forte chaleur spécifique. **1 calorie = 4,184 joules.**
- La chaleur spécifique de l'eau est de l'ordre de $4.184 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

	Masse moléculaire (Da)	Chaleur spécifique (J/g/°C)	Point de fusion (°C)	Chaleur de fusion (J/g)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (J/g)
Eau (H ₂ O)	18	4,2	0	335	100	2452
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	34	–	-86	70	-61	–
Ammoniac (NH ₃)	17	5,0	-77	452	-33	1234
Dioxyde de carbone (CO ₂)	44	–	-57	180	-78	301
Méthane (CH ₄)	16	–	-182	58	-164	556
Éthane (C ₂ H ₆)	30	–	-183	96	-88	523
Méthanol (CH ₃ OH)	32	2,6	-94	100	65	1226
Éthanol (CH ₃ CH ₂ OH)	46	2,4	-117	109	78	878

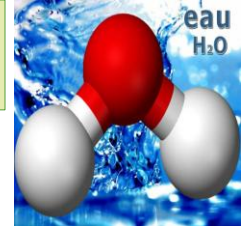


Structure et propriétés de l'eau

Propriétés thermiques de l'eau

b) Absorption et dissipation de la chaleur

- L'eau possède une bonne **conductivité thermique**, elle évacue très rapidement la chaleur de l'endroit où elle est appliquée.
- Ces deux caractéristiques de l'eau: Forte chaleur spécifique, Bonne conductivité thermique, lui permettent d'absorber et de redistribuer de grandes quantités d'énergie calorique sans provoquer de fortes augmentations de températures.
- Exemple: Dans une cellule, une surchauffe localisée provoquée par des réactions biochimiques est empêchée puisque la chaleur est vite dissipée dans tout le volume cellulaire.
- De grandes quantités de chaleur peuvent être échangées entre les cellules et leur environnement sans entraîner de variations excessives de la température intracellulaire.



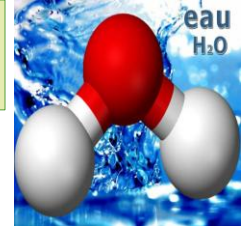
Structure et propriétés de l'eau

Propriétés thermiques de l'eau

c) Fusion et évaporation de l'eau

- Pour toute substance, de l'énergie est nécessaire pour provoquer, des changements d'états tels que le passage de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux.
- L'énergie nécessaire pour le passage de l'état solide à l'état liquide se nomme **chaleur de fusion**.
- La chaleur de fusion de l'eau est de 335 J g^{-1} , Il faut 335 J pour changer 1 g de glace en 1 g d'eau liquide à 0°C .

	Masse moléculaire (Da)	Chaleur spécifique (J/g/°C)	Point de fusion (°C)	Chaleur de fusion (J/g)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (J/g)
Eau (H ₂ O)	18	4,2	0	335	100	2452
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	34	–	-86	70	-61	–
Ammoniac (NH ₃)	17	5,0	-77	452	-33	1234
Dioxyde de carbone (CO ₂)	44	–	-57	180	-78	301
Méthane (CH ₄)	16	–	-182	58	-164	556
Éthane (C ₂ H ₆)	30	–	-183	96	-88	523
Méthanol (CH ₃ OH)	32	2,6	-94	100	65	1226
Éthanol (CH ₃ CH ₂ OH)	46	2,4	-117	109	78	878



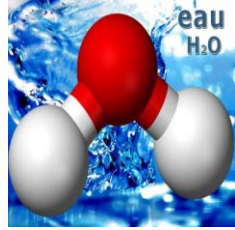
Structure et propriétés de l'eau

Propriétés thermiques de l'eau

c) Fusion et évaporation de l'eau

- La chaleur de fusion de l'eau est l'une des plus élevée connue, elle vient juste après celle de l'ammoniac. Elle est due à la quantité élevée d'énergie qu'il faut apporter pour rompre les attractions intermoléculaires fortes associées aux liaisons hydrogène.
- De la même manière que la présence de liaisons hydrogènes augmente l'énergie requise pour faire fondre de la glace, elle augmente aussi l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau liquide.
- Cette énergie doit être prélevée dans l'environnement, donc ça contribue à l'effet réfrigérant qui l'accompagne. C'est un mécanisme de régulation thermique dans les feuilles des plantes.

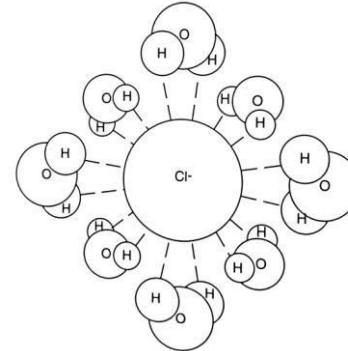
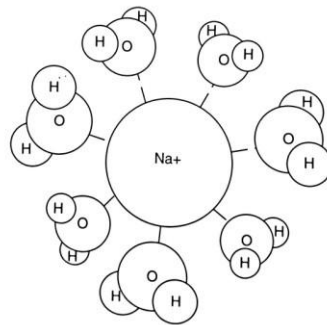
	Masse moléculaire (Da)	Chaleur spécifique (J/g/°C)	Point de fusion (°C)	Chaleur de fusion (J/g)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (J/g)
Eau (H ₂ O)	18	4,2	0	335	100	2452
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	34	–	-86	70	-61	–
Ammoniac (NH ₃)	17	5,0	-77	452	-33	1234
Dioxyde de carbone (CO ₂)	44	–	-57	180	-78	301
Méthane (CH ₄)	16	–	-182	58	-164	556
Éthane (C ₂ H ₆)	30	–	-183	96	-88	523
Méthanol (CH ₃ OH)	32	2,6	-94	100	65	1226
Éthanol (CH ₃ CH ₂ OH)	46	2,4	-117	109	78	878



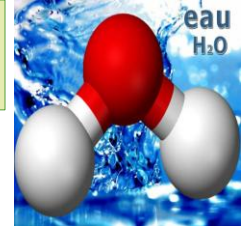
Structure et propriétés de l'eau

L'eau comme solvant

- Cette propriété de l'eau est due à la polarité de la molécule d'eau.
- L'eau a la capacité de **neutraliser partiellement** les forces d'attraction électrique entre ions ou molécules de **solutés chargés** en les entourant d'une ou plusieurs couches de molécules d'eau orientées qui forment la couche d'hydratation. Ces couches favorisent la dissolution.



- Les propriétés **solvants** de l'eau; L'orientation des molécules d'eau autour des ions sodium et chlorure masque le champ électrique local autour de chaque ion. Cet effet de masquage réduit la **probabilité d'agrégation des ions en un cristal**.



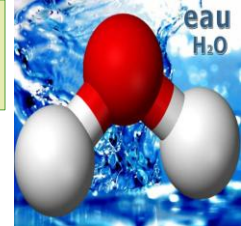
Structure et propriétés de l'eau

L'eau comme solvant

- La polarité peut être mesurée par une grandeur nommée **constante diélectrique**. Celle de l'eau est l'une des plus élevée.
- Les alcools présentent des constantes diélectrique sensiblement plus basses que celle de l'eau, tandis que les solvants organiques liquides comme le benzène ou l'hexane sont très basses.
- L'eau constitue un excellent solvant des ions ou des molécules chargées qui se dissolvent mal dans les liquides organiques apolaires.
- Il faut noter que de nombreux solutés importants pour les plantes sont chargés.

Constantes diélectriques de quelques solvants communs à 25°C

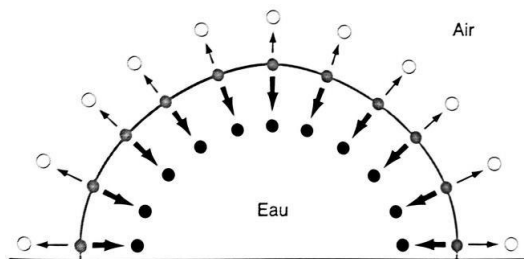
Eau	78,4
Méthanol	33,6
Ethanol	24,3
Benzène	2,3
Hexane	1,9

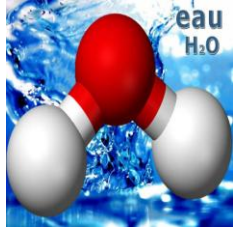


Structure et propriétés de l'eau

Cohésion et Adsorption

- Les fortes attractions mutuelles entre molécules d'eau qui résultent de l'existence des liaisons hydrogènes, sont dites **cohésion**. Une des conséquences de la cohésion est que l'eau possède une **tension superficielle très élevée**.
- Cette tension est due au fait que les forces de cohésion entre molécules d'eau sont plus fortes que celles entre l'eau et l'air, par conséquent, les molécules d'eau superficielles sont constamment attirées par les molécules d'eau sous-jacente.
- Le schéma ci-dessous montre la tension superficielle dans une goutte d'eau; Les attractions intermoléculaires entre molécules d'eau voisines (**flèches en gras**) sont supérieures aux attractions entre l'eau et l'air (flèches fines) ce qui tend à attirer les molécules d'eau de la surface vers l'eau sous-jacente.

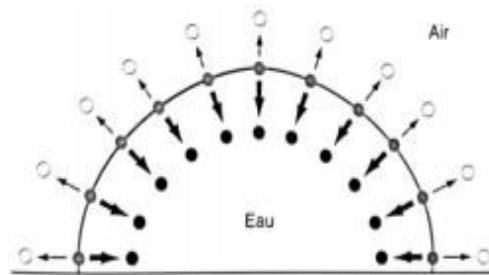


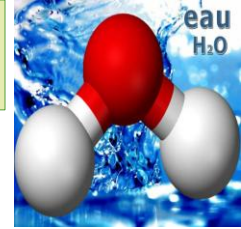


Structure et propriétés de l'eau

Cohésion et Adsorption

- La surface a tendance à se contracter et se comporter comme une membrane élastique. Cette tension superficielle élevée fait que les gouttes d'eau ont tendance à être **sphérique**.
- Ces même forces qui attirent les molécules d'eau entre elles vont attirer l'eau vers les surfaces solides, c'est ce qu'on appelle **l'adsorption**.
- C'est un facteur important dans la montée de l'eau par **capillarité** dans des tubes de faible diamètre.

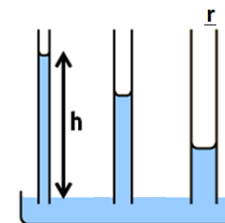
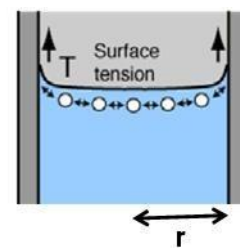
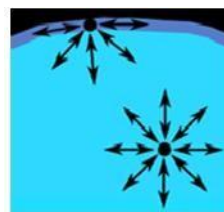




Structure et propriétés de l'eau

L'ascension de l'eau par capillarité

- L'action **capillaire** est due à l'**interaction de plusieurs forces**, forces d'**adsorption** entre les molécules d'eau et les groupements polaires répartis le long de la paroi du capillaire, les forces de **tension** superficielle (force de cohésion des molécules d'eau) et les forces de **pesanteur** qui s'exercent sur la colonne d'eau.
- L'**adsorption** de l'eau sur les parois d'un récipient, provoque une force **ascendante** sur les bords du liquide et son ascension sur la paroi par la suite.
- La tension de surface agit pour maintenir intacte la surface du liquide, de sorte qu'au lieu de déplacer les bords seuls vers le haut, toute la surface du liquide est aspirée vers le haut.
- Vu la cohésion existante entre les molécules d'eau, toute la masse inférieure suit le mouvement.
- L'**action capillaire** se produit lorsque l'adhérence aux parois est plus forte que les forces de cohésion entre les molécules du liquide.



L'Eau dans le Sol

- L'eau est un composé peu ordinaire, non seulement du point de vue physicochimique mais aussi de point de vue biologique : son importance dans les processus biologiques découle de ses propriétés particulières.
- La plus grande quantité d'eau absorbée provient du sol, mais il ne faut pas oublier l'eau qui est absorbée au niveau des feuilles.
- Le sol est un mélange de terre minérale et de matières organiques (dont des êtres vivants).
- Les particules solides qui le composent déterminent sa texture (compacte ou non, poreuse ou non) et sa structure.
- Selon les particules du sol, l'eau ne sera pas disponible de la même façon. La nature du sol va donc influencer directement sur l'absorption de l'eau par les racines.

Humidité du Sol (liaisons de l'eau)

- L'humidité est exprimée en pourcentage de la masse. C'est une notion vague, car un sable, à 10 %, d'eau paraît humide alors qu'une tourbe à 50% d'eau sera sèche.
- L'eau peut être libre ou liée aux constituants du sol. On trouve l'existence de plusieurs forces: osmotique, capillaire (tension superficielle), électrostatique (imbibition).

L'Eau dans le Sol

La capacité de rétention

- C'est la quantité d'eau (en gramme), contenue dans 100g de sol après centrifugation ou après drainage.

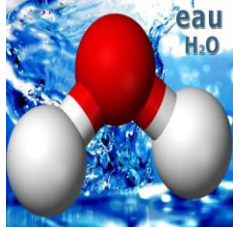
Le point de flétrissement

- Le point de flétrissement permanent est le taux d'humidité d'un sol, pour lequel, une plante flétrit irréversiblement (sable 5%, limon 12%, argile 27%, tourbe 50%).

L'Eau dans le Sol

Réserve utilisable

- La réserve utilisable est la mesure de la quantité d'eau utilisable par la plante.
- C'est la différence entre la capacité de rétention et le point de **flétrissement initial**.
- Cette réserve représente généralement la **moitié** de la capacité de rétention.
- Un sol léger aura besoin d'un arrosage fréquent alors qu'un sol lourd n'en aura pas besoin.



L'Eau dans la Plante

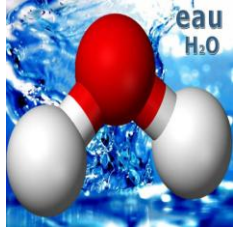
- Les végétaux contiennent une proportion très importante d'eau.
- Mais cette quantité est assez variable avec l'espèce, l'organe, le tissu, l'âge de la plante et aussi en fonction des conditions extérieures (sécheresse ou humidité)

Racines	70 à 90 %
Tiges	10 à 90%
Feuilles	40 à 95 %
Fruits	40 à 95 %
Tubercules	95 %
Champignons	80 %
Graines ou spores	5 à 20 %

L'Eau dans la Plante

Les états de l'eau dans la plante

- On trouve l'eau sous deux états :
 - ✓ L'eau **libre**: elle peut être en solution (dans les vacuoles ou les sèves), sous forme de vapeur (dans les méats, dans la chambre sous-stomatique),
 - ✓ L'eau **liée**: elle peut être liée par la force osmotique, par la force capillaire (tension superficielle) et par les forces d'imbibition (force électrostatique ou colloïde). Les colloïdes sont des macromolécules très hydrophiles, comme les argiles ou l'humus.
- L'eau de constitution est l'eau intra-moléculaire qui fait intervenir des forces très énergétiques.



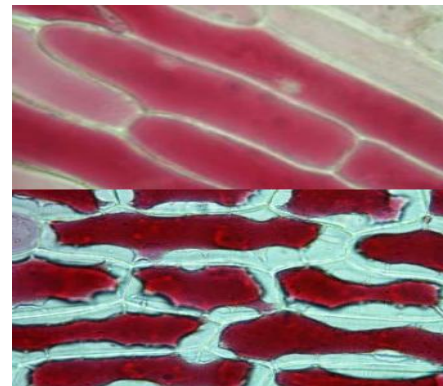
L'Eau dans la Plante

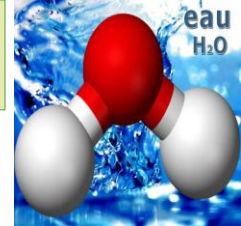
Rôle de l'eau dans la Plante

- L'eau est apportée à la plante par l'atmosphère et le sol. Elle joue deux rôles essentiels : un rôle plastique et un rôle fonctionnel.

□ Rôle plastique:

- Le port dressé d'une plante est dû à la turgescence de ses cellules. La paroi pectocellulosique distendue par l'eau donne cette rigidité.
- Les cellules déshydratées donc plasmolysées entraînent la fanaison du végétal car la membrane plasmique des cellules s'affaisse.



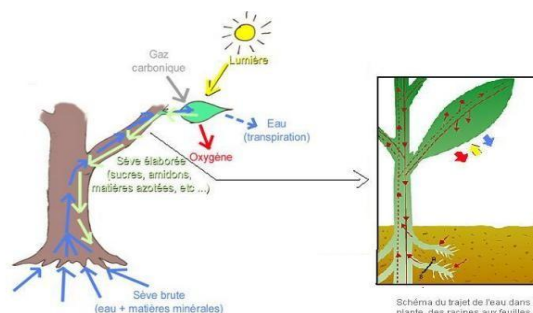


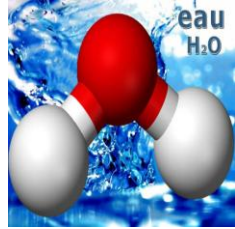
L'Eau dans la Plante

Rôle de l'eau dans la Plante

❑ Rôle fonctionnel:

- L'eau est le meilleur solvant connu. Elle constitue un milieu pour le mouvement de molécules à l'intérieur et entre les cellules et exerce une grande influence sur la structure de protéines, des acides nucléiques, des polysaccharides, et d'autres composants cellulaires.
- L'eau constitue le milieu où la plupart des réactions biochimiques de la cellule se produisent (photosynthèse), et elle participe directement à de nombreuses réactions biochimiques essentielles (hydrolyses).
- Le flux d'eau absorbée par les racines est un moyen important d'amener les minéraux dissous du sol à la surface de la racine pour leur absorption.



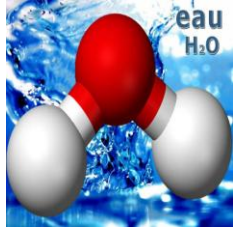


L'Eau dans la Plante

Rôle de l'eau de l'atmosphère

- Il y a toujours de l'eau dans l'atmosphère. La manifestation la plus visible de l'eau atmosphérique est bien évidemment les nuages, les brouillards et la rosée mais même l'air clair contient de l'eau en particules invisibles à l'œil nu.
- Les brouillards, la rosée sont des apports d'eau non négligeables pour la plante. Ils peuvent même être l'appoint nécessaire à sa survie sous un climat très chaud.





L'Eau dans la Plante

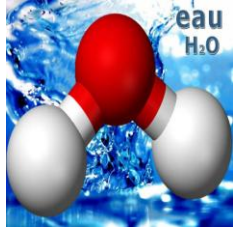
Rôle de l'eau de l'atmosphère

- Certaines plantes sont capables d'absorber l'humidité de l'air soit sous forme de brouillard soit sous forme de rosée, mais l'absorption d'eau par les feuilles est négligeable, comparée à l'absorption par les racines.
- Ceux sont surtout les feuilles qui sont le siège de l'absorption de l'eau atmosphérique. Mais certaines plantes (Orchidacées, Broméliacées) possèdent des racines aériennes capables de fixer l'eau atmosphérique.
- Une légère proportion de l'eau atmosphérique peut être absorbée par les rameaux et les troncs des arbres.



Racines aériennes d'orchidée

L'Eau dans la Plante



Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

- Les plus importants sont au nombre de trois :
- 1- l'humidité pondérale H_p ;
- 2- la teneur en eau relative t.e.r ;
- 3- le potentiel hydrique Ψ_H .

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

L'humidité pondérale H_p

- H_p est le rapport entre le poids **d'eau** d'un échantillon végétal et le poids de la matière sèche.
- $H_p = \text{poids d'eau} / \text{poids sèche}$
- $= P_f - P_s / P_s$

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

- La t.e.r a été utilisée la première fois par WEATHERLEY en 1949.
- La t.e.r est le pourcentage du poids d'eau d'un échantillon à l'instant t sur son poids d'eau à la pleine turgescence.
- $t.e.r = (Pds\ t / Pds\ turg) * 100$
 - $Pds\ t$ = poids d'eau à l'instant t
 - $Pds\ turg$ = poids d'eau à la pleine turgescence

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

- Il devient donc nécessaire de repérer le stade de la pleine turgescence.
- Dans la nature ce stade est atteint **tôt le matin** et après une nuit **très pluvieuse** ou après un **arrosage**.

Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

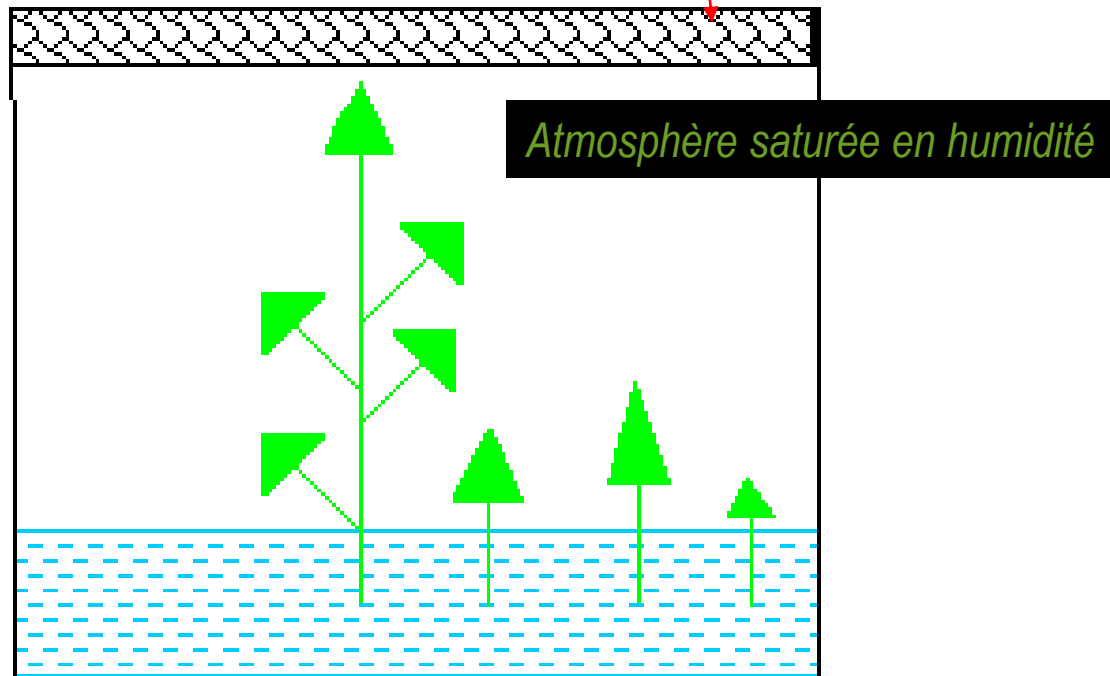
L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

Dispositif de mise en pleine turgescence

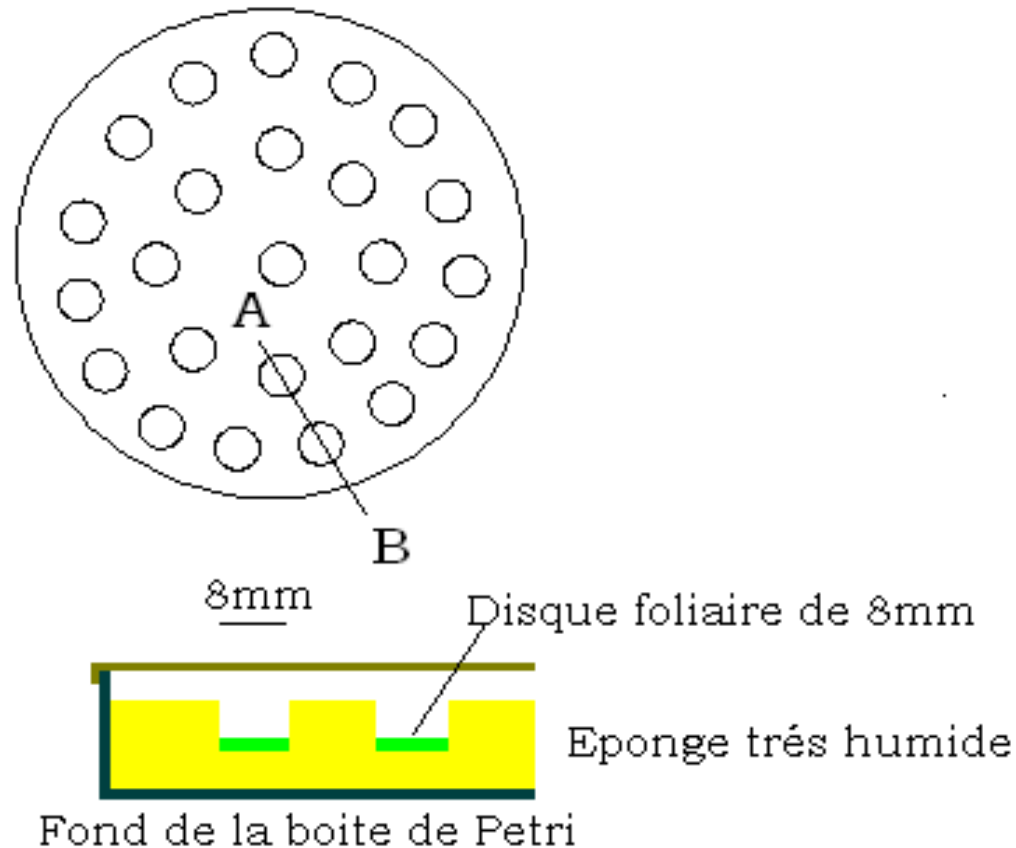
Couvercle + éponge humide



L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)



L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

- Dans ces deux méthodes, on suppose que le poids sec reste constant au cours de la réhydratation.
- Il faut donc se placer au point de compensation pour que la photosynthèse compense la transpiration, donc le poids de la matière sèche formée est nulle.

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

Détermination de la teneur en eau d'une plante

- **Dessiccation**: c'est l'élimination de l'eau d'un corps. Pour les végétaux cet élimination se fait à l'aide d'une étuve à 105°C.
- Le poids frais de l'échantillon moins son poids sec donneras le poids d'eau présent au temps t.
- **La lyophilisation**: le principe de la lyophilisation consiste à congeler l'échantillon juste après le prélèvement et le soumettre à un vide jusqu'au point de sublimation (passage de l'eau de l'état solide à l'état gazeux), ce qui permettras d'obtenir un produit sec sans destruction de la structure cellulaire et de la qualité enzymatique.

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

Variation de la teneur en eau dans la cellule

- L'eau est en grande partie dans la vacuole. L'eau exerce, grâce à la vacuole, au cytoplasme, au plasmodesme, une pression de turgescence sur la paroi.
- Les ions et molécules, dans la vacuole, lui confèrent une pression osmotique qui attire l'eau :
 - ✓ Quand la cellule est dans un milieu hypotonique, l'eau rentre dans la cellule qui devient turgescente à cause d'une variation de volume cellulaire.
 - ✓ Quand la cellule est dans un milieu hypertonique, l'eau sort et on assiste à une plasmolyse (figure ci-dessous).

Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

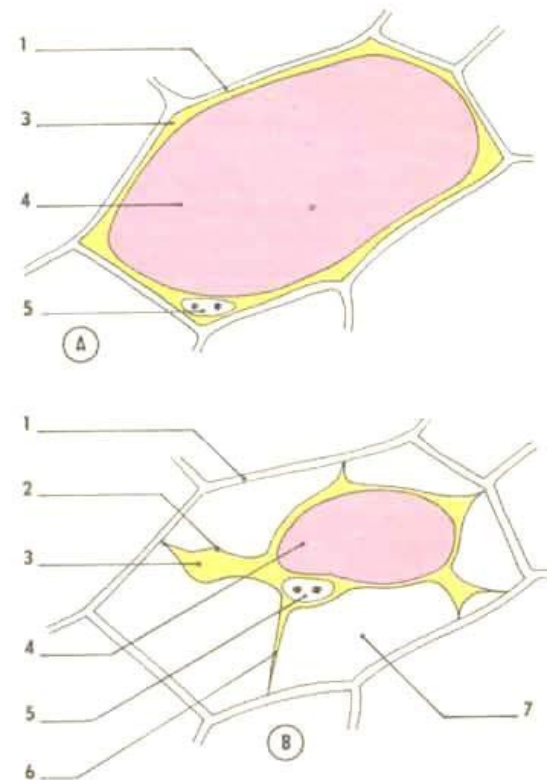
L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

La teneur en eau relative (t.e.r)

Variation de la teneur en eau dans la cellule.

1. membrane cellulosique
2. membrane cytoplasmique
3. Cytoplasme
4. Vacuole
5. Noyau
6. filament de cytoplasme
7. espace rempli par la solution concentrée dans laquelle baigne la cellule (solution de saccharose à 30%).



L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le contenu relatif en eau

- Le contenu en eau dans une plante peut être estimé soit par:
 - ✓ **Mesure du contenu relatif en eau (CRE, en anglais RWC).**
 - ✓ **Mesure du potentiel hydrique.**

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le contenu relatif en eau

Le contenu relatif en eau (CRE, en anglais RWC):

- ❑ Il s'agit d'un bon indicateur du statut hydrique de la plante puisqu'il exprime la teneur absolue en eau dont la plante a besoin pour atteindre la saturation en eau (Slayter, 1967).

$$CRE = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \times 100$$

Pf: Poids frais

Ps: Poids sec

Pt: Poids à la turgescence

- ❑ Cette méthode est simple d'utilisation mais à des inconvénients :
 - 1-Une perte d'eau par transpiration de l'échantillon entre le moment de la cueillette et le moment des mesures.
 - 2-La difficulté de repérer le stade de la pleine turgescence. Dans la nature ce stade est atteint dans des conditions précises d'humidité et de température, exemple très tôt le matin et après une nuit pluvieuse ou après un arrosage.

L'Eau dans le Sol

Potentiel hydrique et succion

- Ψ : c'est la force d'attraction entre l'eau et le sol.
- Le potentiel hydrique est égal mais de signe opposé à l'énergie qu'il faut appliquer pour libérer 1 gramme d'eau.
- La valeur de ce potentiel est toujours inférieure à 0. Plus cette valeur est basse, plus les liaisons eau/sol sont fortes.
- Quand un sol se dessèche, va baisser.
- La succion représente la force d'attraction exercée du sol sur l'eau (cette succion est considérée comme une pression, ainsi que le potentiel hydrique).

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

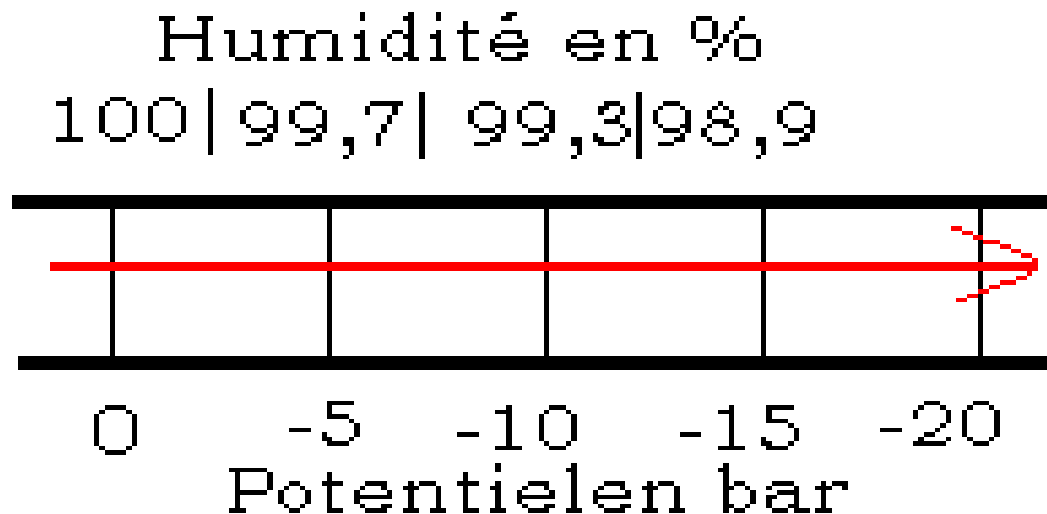
Le potentiel hydrique Ψ_H

- Le concept du potentiel hydrique a été proposé par OWEN en 1952.
- Le Ψ_H est le travail qu'il faut fournir à l'unité de masse ou de volume d'eau liée à un tissu végétal ou à un sol, pour l'emmener à l'état d'eau libre à la température et à la pression atmosphérique

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H



Entre 0 et -5 bar eau peu liée

Entre -10 et -15 eau liée

-15bars valeur proche du Pfp

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H

- Si nous considérons que le Ψ_H de référence (de l'eau pure à la pression atmosphérique et à la température ambiante) est égale à zéro, le Ψ_H de l'eau liée à un végétale ou à un sol **sera négatif**.
- Plus cette valeur est **basse**, plus les liaisons eau/sol sont **fortes**. Quand un sol se dessèche, va baisser.
- Donc l'eau circulera des potentiel les plus **hauts** vers les potentiel les plus **bas**.

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

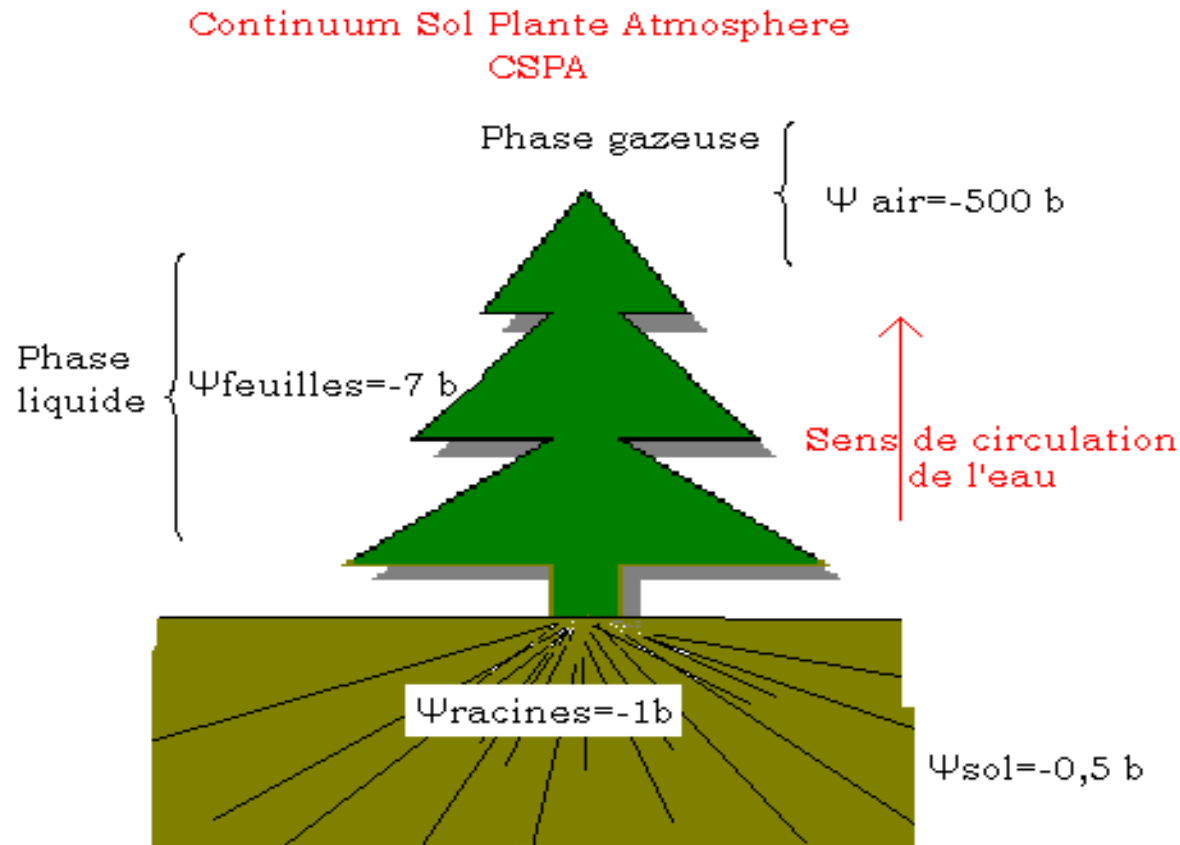
Le potentiel hydrique Ψ_H

- L'intérêt du potentiel hydrique réside dans le fait qu'il peut être déterminé en tout points du continuum Sol-Plante-Atmosphère.
- Dans le CSPA l'eau circulera du sol vers l'atmosphère à travers les racines, la tige et en fin les feuilles. Suivant un gradient décroissant du potentiel hydrique.

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H



L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H

Les deux composantes principales du potentiel hydrique

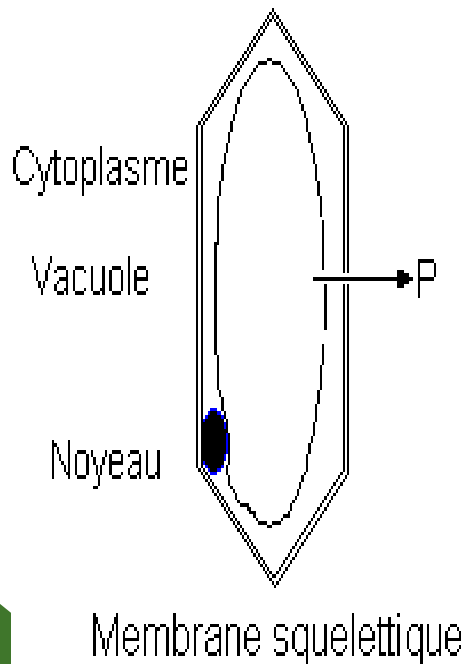
- Le potentiel hydrique d'un tissu végétal à deux composantes principales qui sont :
 - 1-Le potentiel de turgescence ψ_p ;
 - 2-Le potentiel osmotique ψ_s .

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H

Le potentiel de turgescence Ψ_p



Ψ_p exprime la différence de pression entre l'eau des tissus et l'eau pure ou libre à la pression atmosphérique.

Sont existence et dû à la présence d'une paroi pecto-cellulosique élastique dans chaque cellule.

Cette paroi exerce une pression sur la vacuole et tend à sortir l'eau de la cellule. Ψ_p s'oppose à l'entrée d'eau dans les cellules, il est donc toujours **positif**.

L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H

Le potentiel osmotique Ψ_s

- Le passage de molécules dissoutes à travers la membrane (avec perméabilité spécifique) entraîne un phénomène passif.
- De part et d'autre de la membrane, on assiste à un équilibrage grâce à l'agitation thermique: le mélange devient homogène.
- Avec une membrane hémiperméable, les courants d'eau vont égaliser les états énergétiques des deux côtés.
- La pression osmotique d'une solution **est l'attraction exercée par cette solution sur les molécules d'eau**, lorsqu'elle est séparée par une membrane hémiperméable.

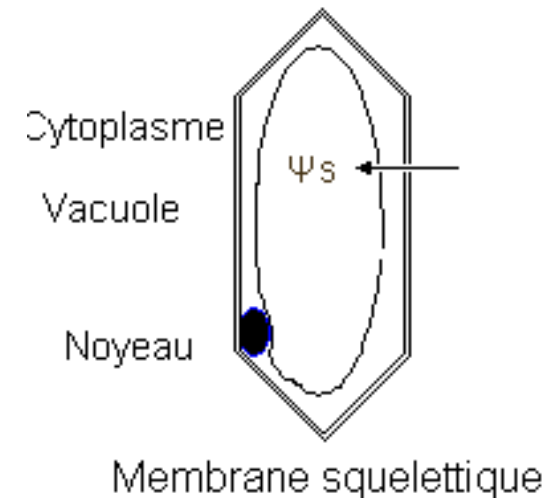
L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H

Le potentiel osmotique Ψ_s

- Ψ_s exprime l'effet combiné de tous les solutés présents, en supposant que la membrane cytoplasmique est hymiperméable (laisse passer l'eau et pas les solutés).
- Donc Ψ_s tends à lier l'eau à la plante, il est affecté de valeurs **négatifs**

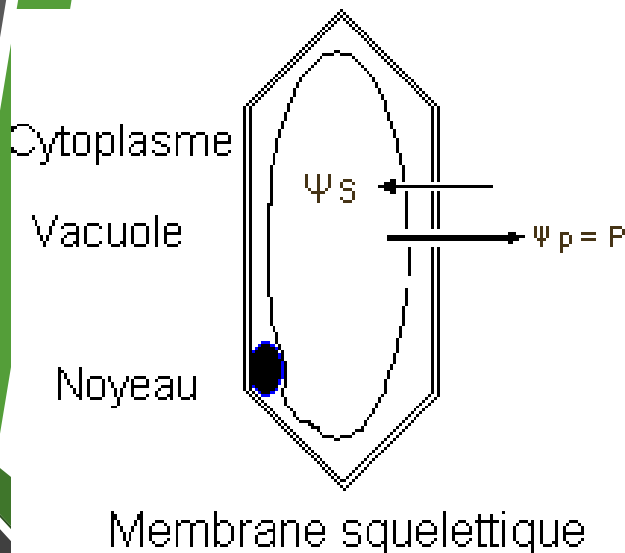


L'Eau dans la Plante

Paramètres de l'état hydrique d'un végétal

Le potentiel hydrique Ψ_H

Le potentiel osmotique Ψ_s



Donc la définition la plus courante du potentiel hydrique Ψ est donnée par

$$\Psi = \Psi_p - \Psi_s$$

$$\Psi_p = P$$

$$\Psi_s = \Pi$$

$$\Psi = P - \Pi$$