

AGRONOMIE GÉNÉRALE

1-DEFINITION

L'Agronomie, est une science dont l'objet est l'étude des relations entre les plantes cultivées, les climats, les sols et l'environnement dans lesquels elles se développent.

Le terme agronomie, du grec, agros « champ » et nomos « loi », définit également l'ensemble des techniques qui permettent d'améliorer les productions végétale et animale (la seconde découlant de la première

L'agronomie se propose de déterminer et de comprendre les processus gouvernant la croissance puis le développement et la production des végétaux cultivés sous des conditions déterminées du milieu environnant

Le milieu environnant est de deux types:

- * un environnement physique qui englobe le sol, l'eau, l'air et les forces (radiations solaires, gravité, énergie moléculaire)
- * un environnement biotique qui intéresse les relations de la plante avec d'autres organismes vivants qu'ils soient végétal ou animal

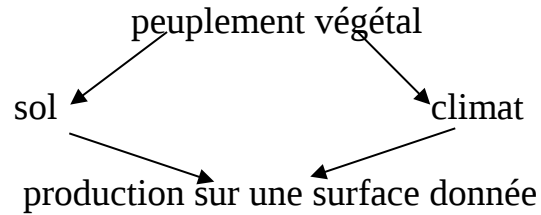
L'agronomie a pour objectif d'établir les lois de variations du comportement végétal en fonction des variations des paramètres du milieu environnant

Il se dégage que l'agronomie est une science de relation, elle s'intéresse aux relations de la plante cultivée avec le milieu sol-climat. Le tout forme un ensemble qui varie dans le temps et dans l'espace.

Les agronomes, tentent de mettre au point des techniques qui permettent d'accroître la production des cultures, d'améliorer leur qualité et d'augmenter les rendements tout en maintenant la fertilité du sol.

L'agronome peut travailler au niveau d'un ensemble formé d'une plante d'un sol et d'un climat: c'est le 1^{er} niveau

Il s'intéresse aux relations



C'est le 2^{ème} niveau

Ce niveau a des dimensions temporelles et spatiales, il va aboutir à une rotation des cultures

Le 3^{ème} niveau c'est le système de culture qui se définit comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système se définit par:

- * la nature des cultures et leur ordre de succession
- * les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures.

Il est à noter que ces relations plante-sol-climat sont complexes à cause de leur variation dans le temps. En effet, les exigences des plantes cultivées sont différentes selon le stade de développement. Le caractère aléatoire du climat surtout dans les régions semi-aride rend un peu visible les niveaux d'action des divers facteurs qui vont intervenir dans les relations sol-plante-climat.

2-ELÉMENTS DE CLIMATOLOGIE TUNISIENNE: QUELQUES CARACTÉRISTIQUES

La Tunisie est dans son ensemble un pays sec, la pluviométrie est caractérisée à la fois par son insuffisance et son irrégularité inter ou intra-saisonnière.

Le coefficient de variabilité annuel de la pluie est de l'ordre de 30 à 40% dans le semi-aride supérieur (300 à 400mm), alors qu'il atteint 60 à 80% dans la zone aride (100 à 150mm)

D'une façon générale la variabilité est inversement corrélée avec la quantité moyenne de pluie

■ Le coefficient de variabilité $V = \sigma/p * 100$

p: moyenne annuelle de précipitation

σ : déviation standard des précipitations annuelles

Selon la pluviométrie on peut limiter 4 grandes régions en Tunisie

i- zone très pluvieuse: les pluies totales > 600mm, cette zone s'étend sur les Kroumiri, Mogods, Nefza. Le nombre de jour pluvieux est de 120-140 et s'étend de septembre à juin

ii- zone pluvieuse: total pluviométrique compris entre 400 et 600mm, s'étend sur toute la vallée de la medjerda, la région de bizerte, la presqu'île du cap-

bon et la haute steppe du centre tunisien. Le nombre de jour pluvieux est entre 60 et 100.

iii- zone peu pluvieuse: précipitation totale <400mm, recouvre le versant sud de la dorsale tunisienne, occupe l'ensemble du Sahel depuis la région de Nfidha jusqu'à la région de Skhira. Nombre de jour pluvieux de 40 à 70.

iiii- zone très peu pluvieuse: le total annuel pluviométrique descend jusqu'à 90mm, cette zone comprend toute la partie du territoire tunisien située au sud de la ligne allant de Fériana à Jerba. Le nombre de jour pluvieux est de 25 à 40.

- Notre climat se caractérise aussi par les gelées qui se manifestent surtout dans les régions montagneuses situées au nord de la dorsale et cause quelque fois des dégâts aux cultures;
- Les rosées sont souvent plus abondante en été et en automne qu'au printemps, elle contribuent à l'apport de l'eau aux cultures et aux terres labourées;
- Le vent le plus dominant est du nord-ouest
- Le siroco affecte les cultures et surtout les céréales par le phénomène d'échaudage

3-ELÉMENTS D'AGROGÉOLOGIE

Les sols agricoles de la Tunisie proviennent de la désagrégation des roches en place soit des dépôts marin ou lacustre soit du transport à distance par les vents ou les eaux pluviales ou fluviales.

Les différentes formations géologiques connues de la Tunisie appartiennent au secondaire, tertiaire et quaternaire

Les sols sont par conséquent très diversifiés depuis les sols légers venant du grès du secondaire aux sols argilo-calcaire et de terre noire du tertiaire

Les argiles compacts ayant des éléments gypseux proviennent du **IIIaire** (région de Djerid et Nefzaoua)

Les dépôts du **IVaire** occupent les 4/5 des surfaces constituant les vastes plaines du Sahel, de Kairouan, de Sfax et du sud tunisien ce sont des sols siliceux, calcaire et de limon rouge

LES PHANÉROGAMES

Les phanérogames sont divisées en gymnospermes (plantes à graines nues) comme le pin, le sapin et autres conifères, et en angiospermes (plantes à graines enfermées dans un fruit). Ces dernières, qui dominent largement le monde vivant, sont les véritables plantes à fleurs.

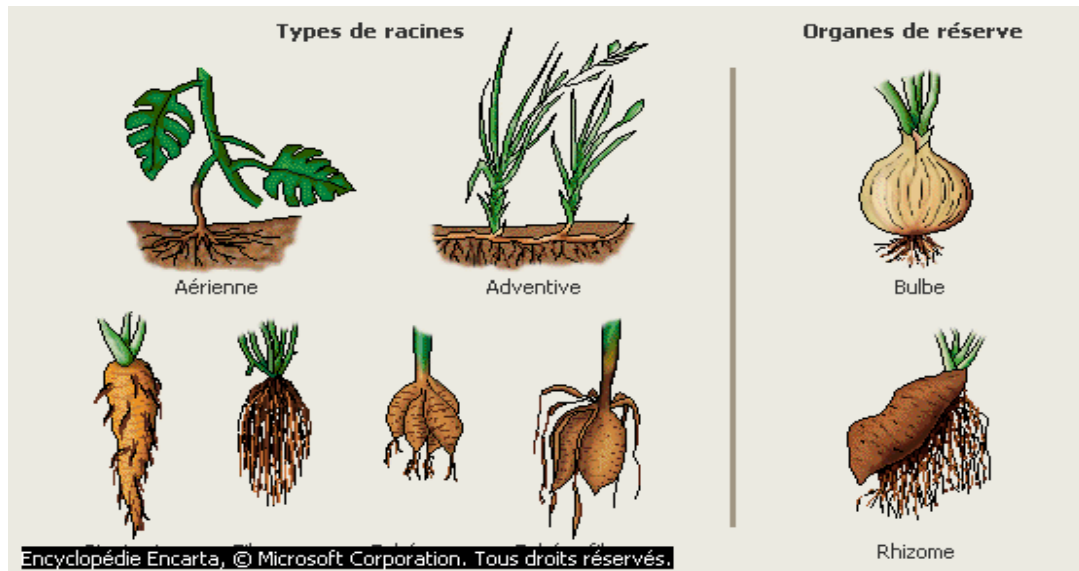
Les organes des plantes ne sont véritablement différenciés que chez les plantes à graines. Ce sont les feuilles, les tiges et les racines. Les fleurs sont les organes reproducteurs des plantes supérieures, gymnospermes et angiospermes.

- 1- **LES RACINES** : ce sont les organes de fixation d'un végétal à son substrat. Les racines assurent l'essentiel de l'absorption de l'eau et des sels minéraux grâce à de nombreux poils absorbants, prolongements des cellules superficielles des extrémités racinaires. Celles-ci sont protégées par la coiffe, faite de cellules cutinisées. C'est un tissu particulier, le méristème terminal, siège d'intenses divisions cellulaires, qui est responsable de la croissance en longueur des racines. Proche de la surface, la région de transition entre la racine et la tige est appelée collet.

Une racine comporte trois zones en partant de l'extrémité : la coiffe (protège le méristème), la zone lisse (d'élongation et de différenciation), la zone pilifère où sont insérées les radicelles.

La morphologie du système racinaire est un caractère héritable, mais particulièrement influencé par les conditions édaphiques. On distingue 3 types principaux :

- le type fasciculé (graminées)
- le type pivotant (luzerne, colza, tourne sol)
- le type tuberculeux : où l'accumulation de réserves provoque une hypertrophie d'une portion de la racine (betterave, radis..)



Bien qu'elles varient largement dans leurs formes et leurs distributions dans le sol, les racines ont certaines caractéristiques de croissance et de fonctionnement qui sont identiques. Ces fonctions sont :

- fixation et ancrage de la plante dans le sol
- absorption de l'eau et des éléments minéraux
- synthèse et transport des métabolites

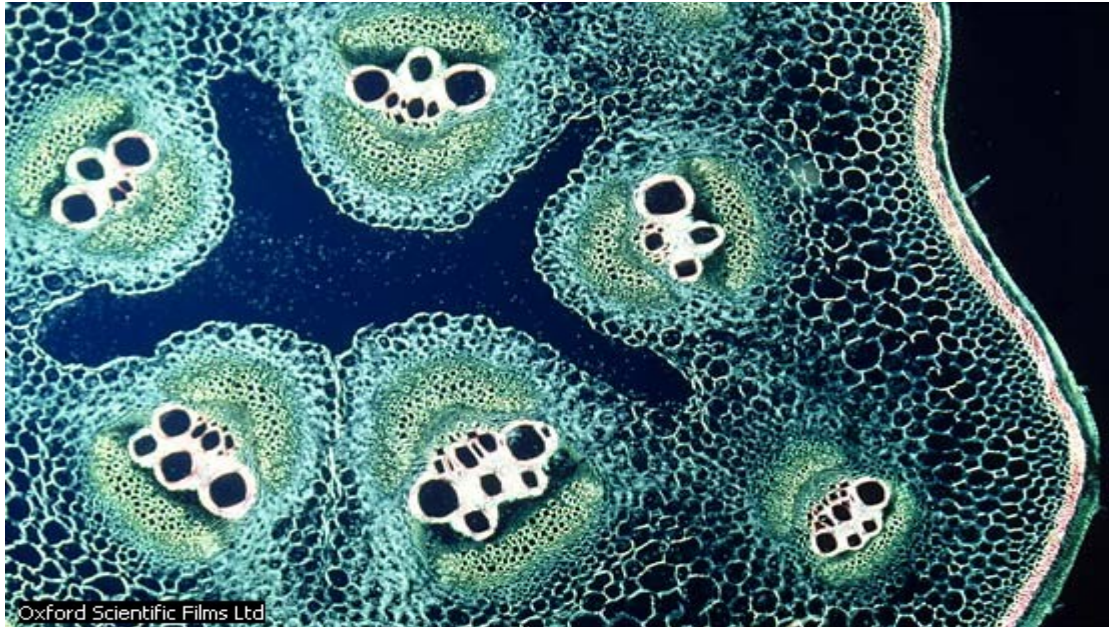
2- **LES TIGES** : sont des organes végétaux généralement aériens, qui portent les feuilles. Les tiges permettent le transport de la sève et, de même que les autres organes végétaux (racines, feuilles et fleurs), ne sont vraiment bien différenciés que chez les plantes à graines.

* Morphologie de la tige

Il existe, sur une tige, plusieurs zones distinctes. Les zones où s'insèrent les feuilles sont **les nœuds** ; les espaces entre deux feuilles sont les **entre-nœuds**. À l'extrémité de la tige, où se forment les nouvelles feuilles, se trouve **le méristème apical**, tissu responsable de la croissance en longueur de la plante. La zone apicale est entourée et protégée par de jeunes feuilles, groupées pour former un bourgeon. Les rameaux, c'est-à-dire les tiges secondaires qui partent de la tige principale, se forment à partir de bourgeons axillaires (qui se forment à la base des feuilles).

Généralement aériennes, les tiges ne sont pas pour autant uniformes dans leur morphologie. Elles peuvent être robustes et droites, fines, rampantes, etc. Certaines espèces sont grimpantes, et leurs tiges sont alors longues et fines, comme celles du lierre. Chez le haricot ou le houblon, elles sont volubiles, c'est-à-dire qu'elles s'enroulent autour de leur support.

* Structure interne



Tige d'une plante herbacée dicotylédone : section transversale

De l'extérieur vers l'intérieur, on peut observer : l'épiderme, le collenchyme (un tissu assurant une fonction de soutien de la tige), une couche de cellules parenchymateuses lâches, un anneau de faisceaux conducteurs de sève, une nouvelle couche parenchymateuse et, au centre, le cœur du cylindre central, vide.

Section transversale de tige de potiron (*Cucurbita maxima*). Microscope optique.

Le xylème est le tissu responsable de la circulation de l'eau et des substances prélevées par les racines vers les feuilles, tandis que le phloème assure la circulation de la sève élaborée au niveau de celles-ci.

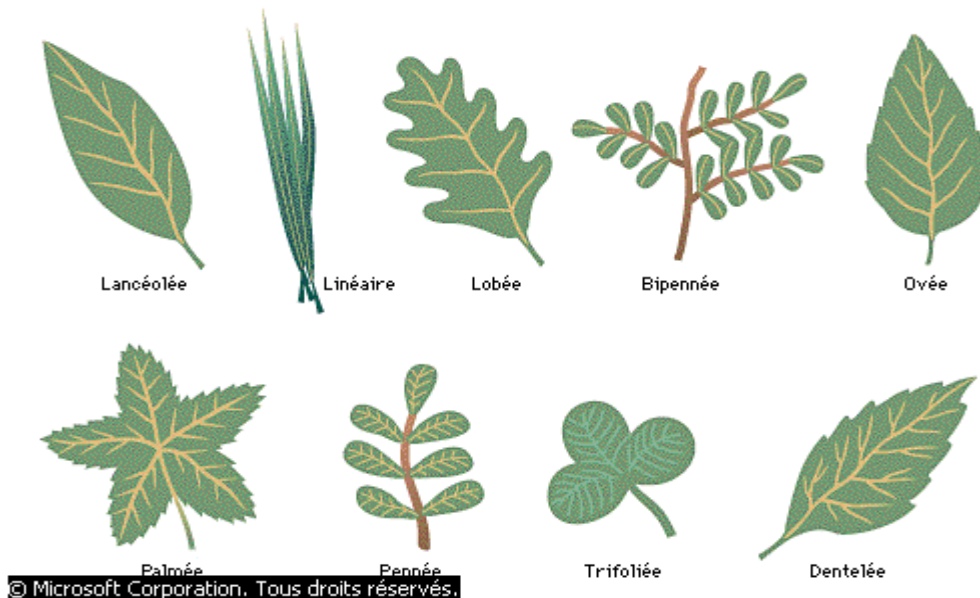
3-LES FEUILLES :

principale organe photosynthétique des plantes vasculaires, constitué par une excroissance latérale de la tige. Une feuille typique est composée d'un pétiole, appelé pédoncule, qui assure la fixation à la tige d'une partie large et plate, le limbe. À la base du pétiole, on rencontre parfois deux petites expansions en forme de lames, les stipules. De nombreuses feuilles présentent, à partir de ce modèle, des modifications liées à un rôle particulier (comme la rétention d'eau en milieu sec).

3.1- MORPHOLOGIE

3.1.1 Types de feuilles

Les caractéristiques de la structure externe des feuilles sont utilisées pour l'identification des plantes. Les deux grands types sont la feuille simple, qui possède un limbe unique, non divisé, par exemple la feuille de chêne ; et la feuille composée, qui comporte plusieurs folioles, telle la feuille de trèfle.



3.1.2 Nervures

Les nervures d'un limbe ou d'une foliole de plante dicotylédone présentent plusieurs types de disposition. Lorsque les nervures sont pennées (telles celles des feuilles de l'orme), une nervure médiane relativement épaisse relie la base à la pointe du limbe et sert de point de départ à des nervures secondaires plus petites, qui se divisent elles-mêmes en nervures tertiaires. Dans les feuilles à nervures palmées, comme celles de l'érable, plusieurs nervures de grosseur à peu près égale partent de la base de la feuille et se divisent en nervures secondaires et tertiaires. Sur une feuille peltée (dont le pétiole est attaché vers le centre de la partie inférieure du limbe, rond ou en forme de bouclier), plusieurs nervures principales irradient du centre vers les bords du limbe, puis se divisent en nervures secondaires plus petites.

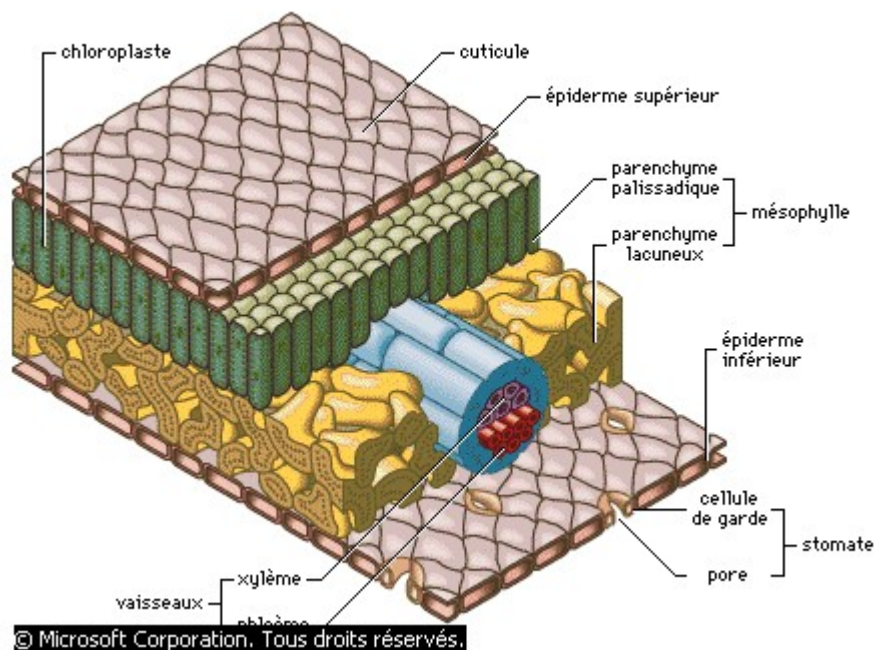
Les feuilles de la plupart des monocotylédones ont des nervures parallèles toutes semblables, issues de la base de la feuille et continuant presque jusqu'à son extrémité. Les feuilles de la plupart des fougères et de quelques plantes supérieures tel le ginkgo ont des nervures dichotomes : plusieurs petites nervures, d'épaisseur presque égale, apparaissent en un ou plusieurs points de la base du limbe ou de la foliole et se divisent plusieurs fois en deux jusqu'au bord du limbe.

3.1.3 Pétioles

Les feuilles de la plupart des dicotylédones s'attachent aux tiges par la base de leur pétiole, tandis que celles de la plupart des monocotylédones n'ont pas de pétiole (la base de la feuille est une large gaine plate qui s'enroule autour de la tige). Les feuilles dépourvues de pétioles sont dites sessiles. Chez les feuilles à pétiole, une structure en forme de feuille ou d'écaille, appelée stipule, peut

exister au point d'attache sur la tige, comme on le voit chez les roses ou les pois de senteur.

3.2- STRUCTURE INTERNE

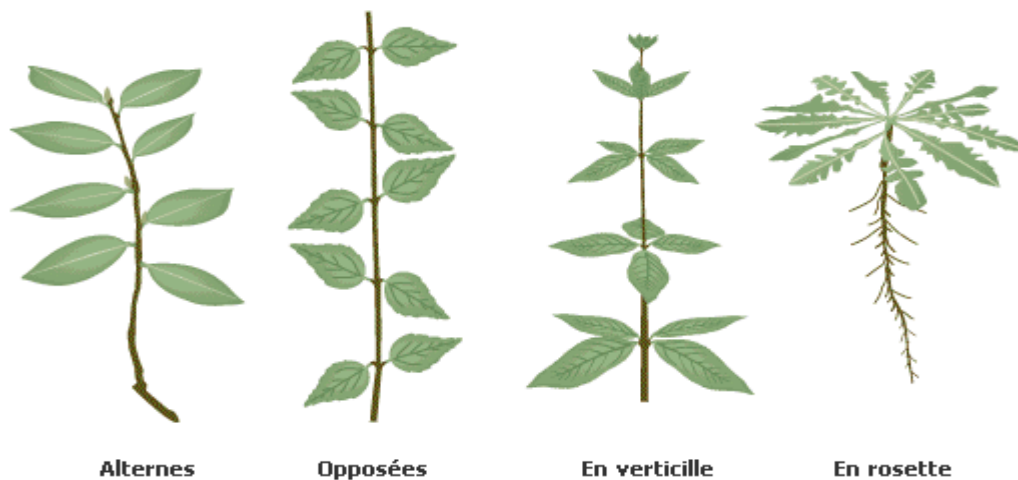


Structure d'une feuille

Les feuilles comportent deux types de tissus photosynthétiques : le parenchyme palissadique et le parenchyme lacuneux. Les cellules qui les constituent contiennent des chloroplastes (dans lesquels se réalise la photosynthèse), dont la position est ajustée de façon que la plus grande surface possible soit exposée au soleil. Des vaisseaux conducteurs de sève apportent l'eau et les sels minéraux ou emportent les produits de la photosynthèse. Les parenchymes et les vaisseaux constituent une structure appelée mésophylle, enserrée entre deux couches de cellules épidermiques, recouvertes d'une cuticule de cire. Des ouvertures, appelées stomates, permettent l'entrée et la sortie de gaz (O_2 et CO_2).

Les nervures correspondent à des réseaux de tissus conducteurs (phloème et xylème) assurant la circulation de la sève.

3.3 DISPOSITION DES FEUILLES



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Feuilles : disposition

En fonction de la façon dont les feuilles d'une plante sont insérées sur sa tige, on distingue plusieurs grands types de disposition. Ainsi, les feuilles sont dites alternes si à chaque nœud de la tige n'est insérée qu'une seule feuille. Si à chaque point d'insertion sont placées deux feuilles qui se font face, on dit que les feuilles sont opposées. Lorsque plus de deux feuilles sont disposées de façon circulaire à un même niveau de la tige, elles forment un verticille. Les feuilles en rosette sont elles aussi insérées en cercle au même niveau, mais à la base d'une tige.

3.4 ADAPTATIONS

La forme et la structure des feuilles sont adaptées aux conditions dans lesquelles vit la plante. Les feuilles typiques des plantes des régions tempérées à humidité modérée sont très différentes de celles des régions tropicales humides ou des régions froides et sèches.

Tandis que la plupart des feuilles ont des limbes plats qui exposent le maximum de surface au soleil, les conifères, adaptés aux régions froides et venteuses, ont des feuilles en aiguille qui offrent le minimum de surface aux vents d'hiver desséchants. Les nervures de ces feuilles (une ou deux) y sont profondément enfoncées, l'épiderme est fortement cutinisé et protège un tissu de soutien résistant. Chez les plantes des régions arides telles que l'aloès, les feuilles sont souvent beaucoup plus spongieuses et peuvent entreposer une grande quantité d'eau (feuilles succulentes).

En outre, de nombreuses structures végétales sont, en fait, des feuilles modifiées. C'est le cas des épines à rôle défensif des cactées ou des acacias, des organes de capture d'insectes (voir Carnivores, plantes), des écailles qui protègent les jeunes bourgeons en développement, des vrilles de nombreuses plantes grimpantes (comme la vigne), ou encore des lames vivement colorées attirant les insectes pollinisateurs (comme chez les euphorbes du genre *Poinsettia*).

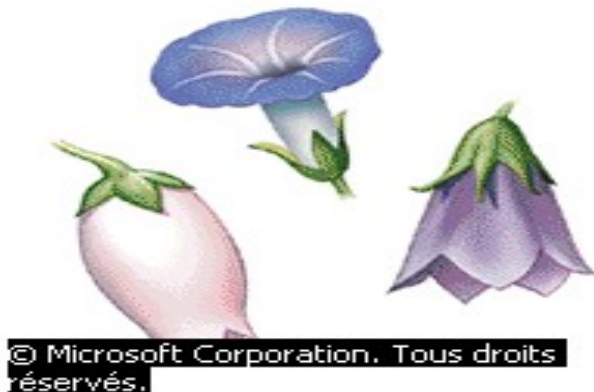
Lorsque les feuilles « vraies » ont disparu (comme chez les cactées), ce sont les tiges qui se chargent de chlorophylle, prennent une couleur verte et remplacent les feuilles en tant qu'organes responsables de la photosynthèse.

4- LA FLEUR

4.1 PRÉSENTATION

Fleur, organe reproducteur caractéristique des phanérogames ou végétaux à fleurs. Chez les gymnospermes, la structure de la fleur est archaïque : elle ne possède ni sépales ni pétales, et ses ovules sont « nus », c'est-à-dire non enfermés dans des carpelles. La fleur atteint sa forme la plus évoluée chez les angiospermes (monocotylédones et dicotylédones). Elle est alors pourvue de sépales et de pétales (sauf chez les espèces tel le chêne, où ces structures ont disparu), et les ovules sont enfermés et protégés dans des carpelles. Seules les angiospermes sont considérées comme les véritables plantes à fleurs.

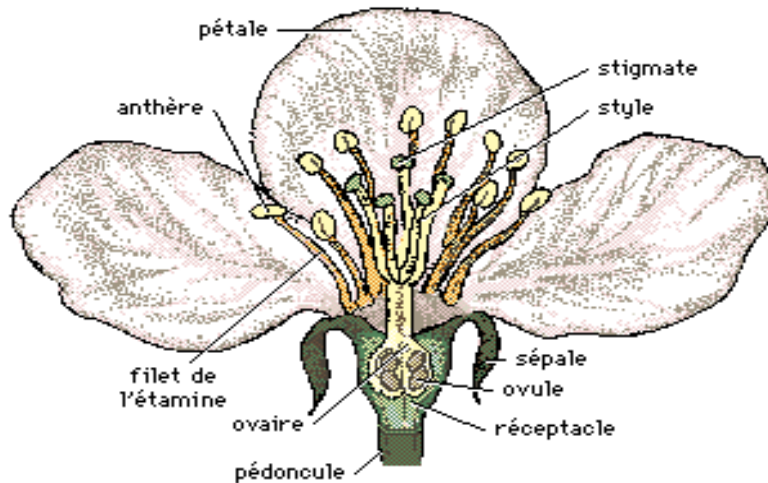
4.2 MORPHOLOGIE DE LA FLEUR



Les fleurs peuvent être, quoique rarement, indépendantes (ou solitaires) ou groupées en ensembles de dispositions diverses, les inflorescences. La forme des différentes fleurs dépend en grande partie de la forme de leur corolle, c'est-à-dire l'ensemble des pétales, qui peuvent être de taille identique ou différente, soudés ou séparés, etc). Les plantes de la famille du lisieron présente des fleurs dont les pétales soudés forment un tube se terminant en entonnoir. Les pétales sont également soudés chez les plantes de type campanule (le terme campanulées désigne d'ailleurs les fleurs en forme de cloche). Chez les plantes de la famille

du pois, les fleurs présentent une structure caractéristique, dite papilionacée : un grand pétale supérieur, l'étendard, deux pétales latéraux, les ailes, et deux pétales inférieurs recourbés vers le bas, formant la carène.

Structure de la fleur



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Une fleur est formée de quatre sortes d'éléments. Les sépales (le calice) forment une enveloppe, souvent verte, autour du bourgeon, avant son éclosion. Les pétales (la corolle) sont souvent colorés et odoriférants, ce qui attire les insectes pollinisateurs. Calice et corolle constituent le périgone, enveloppe florale qui protège les éléments sexuels de la fleur. Ceux-ci sont les étamines (organes mâles), groupées en un ou deux rangs circulaires, et le pistil (organe femelle), composé de carpelles. Les carpelles comportent chacun stigmate, style et ovaire. Après la fécondation, les carpelles hypertrophiés forment le fruit.

4.3 TYPES DE FLEURS

La majorité des espèces d'angiospermes portent des fleurs composées de sépales, pétales, étamines et carpelles, et qui sont qualifiées de complètes. Mais, chez de nombreuses espèces, il manque un ou plusieurs verticilles, les fleurs sont alors dites incomplètes. Par exemple, si les sépales ou les pétales sont absents, on a affaire à des fleurs monopérianthées. À l'extrême, on trouve des fleurs apérianthées, qui ne possèdent ni les uns ni les autres.

L'absence de certains éléments peut également concerner les pièces reproductrices. En effet, les fleurs complètes sont bisexuées, c'est-à-dire qu'elles portent à la fois les organes reproducteurs mâle (étamines) et femelle (pistil). Si certains des éléments nécessaires à la reproduction font défaut, la fleur est dite imparfaite. La fleur est alors dite pistillée ou étaminée, selon qu'elle possède le pistil ou les étamines.

Lorsque les fleurs sont à la fois mâles et femelles, la plante est dite hermaphrodite (exemple, blé). Si les fleurs mâles et femelles sont distinctes et se trouvent sur le même individu, on qualifie l'espèce de monoïque (ex, maïs) ; on utilise le terme dioïque si les fleurs mâles et femelles sont portées par des individus différents (ex, pistachier).

LE DEVELOPPEMENT VEGETAL

1- GENERALITES

De la mise en terre de la graine à la production d'autres graines, la vie d'une plante comporte une suite de phases marquées par l'apparition de nouveaux organes et leur croissance.

Ces manifestations morphologiques et fonctionnelles constituent des stades.

Le terme 'développement' est utilisé pour distinguer le développement de nouveaux organes. Il peut être aussi compris comme étant l'évolution de la plante au cours du temps. Il implique selon Heller deux séries de transformations :

- des modifications quantitatives : augmentation de longueur, de surface, de volume.. généralement désignées comme la croissance
- des modifications qualitatives qui se traduisent par l'acquisition de nouveaux organes et de nouvelles fonctions, c'est la différenciation.

2- CROISSANCE VEGETALE

2.1- Définition

La croissance d'une cellule, d'un organe, d'une plante se traduit par une augmentation de dimension ou de poids. Elle correspond à la fois à un grandissement cellulaire et une multiplication des cellules.

On peut suivre la croissance d'une plante ou d'un organe en fonction du temps ; en mesurant la taille, la surface ou le poids...

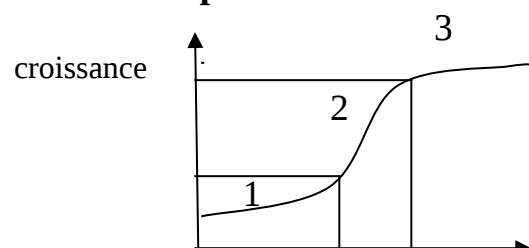
2.2- allure générale de la croissance en fonction du temps

On distingue 3 phases de

Croissance:

1-Première phase lente

2-Deuxième phase rapide



Les processus de croissance et de différenciation sont sous le contrôle de divers facteurs tant externes (lumière, gravité, etc.) qu'internes (hormones végétales), et dont l'action est d'ailleurs souvent corrélée.

2.3- Influençant de la température

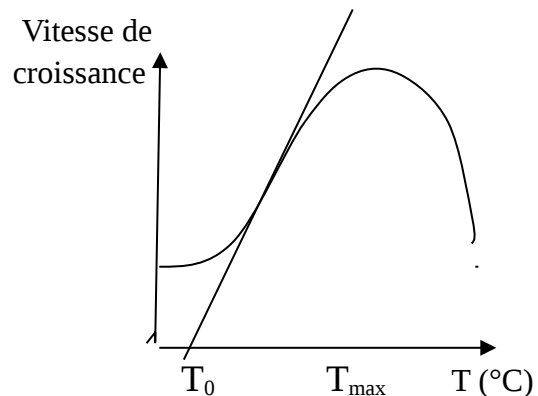
La température est le facteur climatique qui influence le plus la croissance avec la lumière qui conditionne la photosynthèse.

La température conditionne la vitesse de croissance, mais n'a pas d'action sur la taille finale des organes.

Température faible → croissance faible

Optimum de croissance entre 25 et 30 °C

Température élevée → diminution de la Croissance



Pour chaque espèce, il existe une température optimale de croissance voisine en générale, de 25 – 30 °C

Dans la gamme températures moyennes, la courbe vitesse de croissance-température est assimilable à une droite. Le prolongement de cette droite jusqu'à l'axe des températures définit une température particulière : le zéro de végétation, c'est la température à la quelle la croissance de la plante est réduite ou cesse.

La connaissance du zéro de végétation est d'importance pratique, surtout pour déterminer la date de semis.

Exemple : blé 0°C, pois 0°C, sorgho 8°C, pomme de terre 6 à 8°C

- La somme de température

Pour accomplir son développement, une plante a besoin d'une certaine quantité de chaleur. Le total de température pendant toute la durée de végétation est appelé somme de température.

Intérêt pratique : la somme de température peut être utiliser pour délimiter des aires culturales où des variétés de différentes précocités peuvent être conseiller.

- Le thermopériodisme : la température optimum de croissance peut être différente en phase nocturne et diurne ; certaines plantes sont sensibles à cette alternance, pour d'autres c'est une nécessité.

Ex : chez la tomate, la croissance est nettement meilleure avec 26°C le jour et 17 à 20°C la nuit plutôt qu'avec des températures fixes le jour et la nuit.

La réponse de la plante à cette alternance de température s'appelle thermopériodisme.

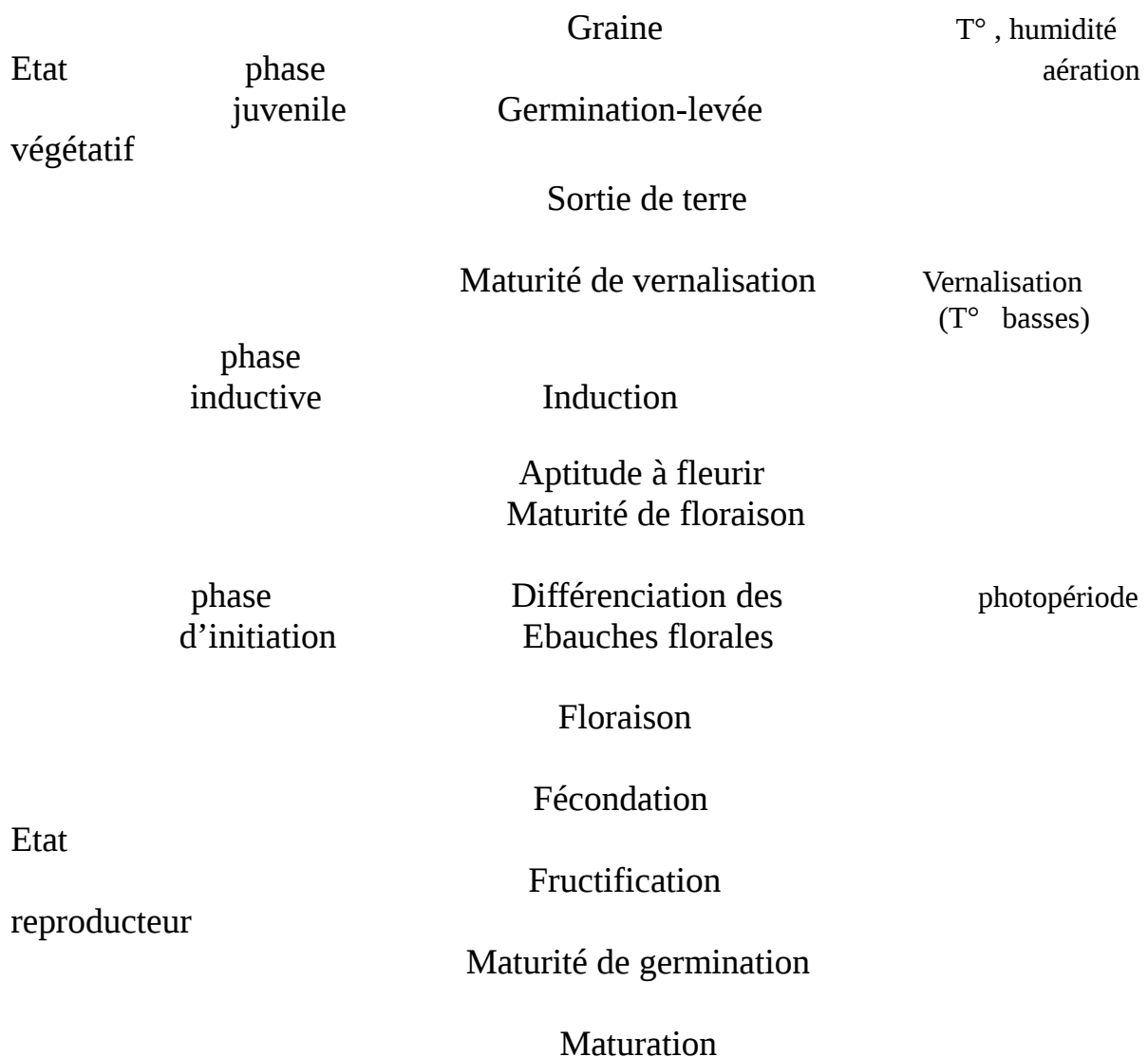
- Action des températures extrêmes

Lorsque les végétaux ne sont pas en vie latente, les températures extrêmes sont défavorables à la croissance. Le froid occasionne des dégradations aux structures vivantes qui peuvent être fatales aux plantes. Les températures élevées perturbent aussi les manifestations biologiques (ex : échaudage chez les céréales ; ralentissement du grossissement des tubercules de pomme de terre..).

3- LE CYCLE DE VÉGÉTATION

Le cycle de végétation comprend deux états successifs : l'état végétatif et l'état reproducteur

Représentation schématique du cycle de végétation



Graine

L'état végétatif débute avec la germination qui correspond à la croissance de l'embryon. Cette phase très importante conditionne la suite.

Au stade levée, la plantule apparaît et acquiert petit à petit une vie autonome. Par la suite, le nombre, la taille, et le poids des organes augmentent.

Après un temps variable selon les espèces, la plante commence à préparer le passage à l'état reproducteur (virage floral) qui est conditionné par des facteurs internes et externes.

• La vernalisation

Pour beaucoup de plante, la floraison nécessite une exposition préalable, plus ou moins longue, aux basses températures. Celles-ci provoquent des transformations physiologiques de nature hormonale totalement invisibles. Le processus est désigné comme étant "la vernalisation".

Heller la définit comme "le contrôle de l'acquisition de l'aptitude à fleurir par un abaissement de la température".

Elle correspond à un besoin de la plante à des températures faibles durant une période donnée. (céréales 1 à 2 °C)

Les températures vernalisantes doivent être maintenues durant un temps variable selon les espèces végétales. Durées et températures ne semblent pas être indépendantes et certains auteurs retiennent plutôt la nécessité d'une dose de températures basses, l'allongement de la durée compensant partiellement la faiblesse des valeurs. En effet, dans le milieu naturel, que l'hiver soit rigoureux ou clément, les céréales sont toujours vernalisées.

A la fin de la période juvénile, la plante atteint la maturité de vernalisation c'est-à-dire qu'elle est apte à réagir aux actions inductives

* Le photopériodisme

La lumière est aussi un facteur inducteur ; elle est active par sa durée , sa qualité et sa périodicité. On appelle **photopériodisme**, la réponse de la plante à la succession des périodes éclairées et obscures et leur durée relative.

Une photopériode comprend une période éclairée (photophase ou hémérophase) suivie d'une période obscure (nyctiphase). L'application d'une série de photopériodes convenables enclenche le processus de mise à fleur.

On distingue plusieurs catégories de plantes selon leurs exigences photopériodiques :

- les plantes de jour long ou héméroperiodiques : elles ont besoins d'une série de photopériodes dont la photophase est supérieure à un seuil appelé ' photophase critique'

- les plantes de jour court ou nyctipériodiques : exigent une série de photopériodes dont la nyctiphase est supérieure à une valeur critique
- les plantes indifférentes n'ont aucune exigence photopériodique

4- Régulation interne de la croissance et de la différenciation

en plus des facteurs du milieu, la croissance et différenciation sont aussi sous la dépendance de facteurs internes : les substances de croissance.

Ces substances sont produites par les plantes elles-mêmes. Ces substances agissent à des doses très faibles et sont capables de modifier quantitativement et qualitativement les processus physiologiques.

Il y a deux types de composés :

- des hormones végétales ou phytohormones ayant des effets stimulants ou inhibiteurs selon la dose
- des substances agissant sur le métabolisme fondamental/ les acides aminés, les vitamines ...

a- les auxines (acide indole acétique AIA) : synthétisées dans les apex des tiges et les bourgeons terminaux, puis elles migrent vers les racines. Elles agissent sur l'élongation, la prolifération et la différenciation

b- les gibbérellines : synthétisées dans tous les tissus végétaux, elles ont une action sur :

- l'élongation et la prolifération des cellules de la tige
- augmentation de la surface foliaire
- levée de la dormance embryonnaire

Il y a une complémentarité entre l'action des auxines et des gibbérellines.

c- les cytokinines : essentiellement synthétisées par les racines. Elles agissent sur la croissance cellulaire et ont un effet inhibiteur sur l'élongation longitudinale des tiges et des racines, mais favorisent le grossissement.

L'organogénèse est réglée par un équilibre entre la concentration en auxines et en cytokinines.

d- l'éthylène : sa production est stimulée par les auxines, il accélère la maturation des fruits et inhibe l'élongation radriculaire.

RELATIONS SOL- EAU –PLANTE

L'eau des précipitations qui va servir à l'élaboration des rendements des cultures est l'eau ayant été emmagasinée dans le sol à des profondeurs pouvant être atteinte par les racines des plantes cultivées.

La proportion d'eau contenue dans le sol s'appelle le taux d'humidité du sol qui peut être caractériser par des valeurs tels que :

- le taux d'humidité à la capacité au champ (**CC**)
- le taux d'humidité au point de flétrissement permanent (**PF**)

L'énergie de rétention de l'eau correspond au potentiel capillaire exprimé sous forme d'une pression en cm d'eau ou en atmosphère ; on utilise conventionnellement la notion de **pF**. Le pF étant le log du potentiel capillaire en cm d'eau.

Le PFP correspond à un $pF \geq 4,2$

Pour la CC $2,5 \leq pF \leq 4,2$

I- ABSORPTION DE L'EAU PAR LA PLANTE ET LES FACTEURS DE CONTRÔLE

1- Rôle de l'eau dans la plante

Chez les plantes, la teneur en eau des cellules détermine l'intensité des activités cellulaires. Une plante en croissance contient 90% d'eau ; alors qu'une graine en dormance ne contient que 10% d'eau.

Ex : teneur en eau de quelques espèces

feuilles d'épinard	90%
bois de pin d'Alep	40%
grain d'orge	17%

La teneur des végétaux en eau varie en fonction de l'âge c'est-à-dire en fonction des stades phénologiques et aussi en fonction des facteurs du milieu.

Au cours de son développement, la plante perd de l'eau par transpiration ; l'eau perdue est surtout l'eau libre.

La transpiration occasionne un flux d'eau à travers le sol jusqu'aux racines puis un autre flux à travers la plante jusqu'aux feuilles.

On peut exprimer ce flux par un potentiel hydrique soit dans le sol soit dans la plante.

$$E = (\psi_r - \psi_f) / (R_p + R_s)$$

Ψ_r : potentiel de l'eau dans le sol ; Ψ_f : potentiel de l'eau dans la feuille

R_p : résistance de la plante ; R_s : résistance du sol

D'après Kramer, les fonctions de l'eau dans la plante sont :

- i- un constituant vital
- ii- un réactif essentiel dans la photosynthèse
- iii- un solvant qui permet aux sels et aux gaz d'entrer et de se mouvoir dans la plante
- iv- un élément essentiel pour le maintien de la turgescence des cellules

En condition défavorable de répartition en eau, les plantes vont réagir par limiter leurs croissances.

2- Mécanismes d'absorption de l'eau

2.1- Localisation de l'absorption et enracinement :

Les racines n'absorbent pas l'eau sur toute la longueur, l'endroit où l'absorption est maximum est la zone de développement des poils absorbants (qui sont très perméables à l'eau car ils ne présentent pas de parois subérisées). Etant donné que les racines croissent dans un milieu où les conditions sont variables (état structural, le pédoclimat, l'état physico-chimique, les fonctions biologiques) ; l'enracinement va être variable.

L'état structural du sol est un facteur très déterminant. La taille des pores exerce un rôle important puisqu'une racine ne peut s'allonger que dans des interstices de taille suffisante. Si les pores sont trop gros, le contact n'est pas satisfaisant avec les particules du sol.

L'enracinement dépend aussi de l'humidité, de l'aération et de la température du sol. En effet, en sol humide, la résistance à la pénétration est plus faible et le sol plus facilement déformable. La progression des racines est liée au potentiel hydrique. Un léger déficit hydrique en début de végétation favorise l'enracinement. Au contraire, une irrigation trop précoce et trop abondante limite l'extension des racines.

La respiration racinaire est assez importante, une teneur minimale en oxygène dans le sol est indispensable. Pour la majorité des plantes, la croissance des racines est normale pour une capacité en air de 8 à 10%. Les racines tolèrent une teneur en CO₂ de 1 à 2% mais flétrissent quand elle dépasse 5 %.

La température du sol conditionne aussi l'enracinement. Les températures optimales se situent en générale entre 5 et 20°C. Des températures élevées en début du cycle de végétation sont défavorables. La température et l'aération interagissent sur la croissance racinaire.

La richesse chimique du sol influe de même, sur l'enracinement. Par exemple le phosphore favorise l'allongement des racines. D'autres éléments tel que l'aluminium, sa présence en excès peut être toxique aux racines.

En récapitulant, on peut dire que l'importance de comprendre le fonctionnement de la racine et ses conditions, réside dans le fait que le futur ingénieur aura la capacité de mieux gérer le paquet technique qu'il aura à sa disposition. Il doit savoir comment gérer la fertilisation, l'irrigation, le travail du sol ... pour avoir un bon développement de la culture.

2.2- l'absorption de l'eau

L'eau est absorbée par les poils absorbants. L'eau pénètre jusqu'au cylindre central selon un processus passif dû à une différence de potentiel hydrique. Au-delà, le transfert de l'eau nécessite une dépense d'énergie car le potentiel osmotique des cellules des vaisseaux du xylème est inférieur à celui des cellules de l'endoderme.

Les racines exercent vis-à-vis de l'eau du sol une attraction limitée à 16 bars. Si la succion du sol est inférieure à 16 bars, l'eau est facilement absorbée et un courant d'eau ou flux transpiratoire se crée à travers la plante, du sol vers l'atmosphère. Donc la transpiration est l'élément moteur du déplacement de l'eau dans la plante.

Si le débit d'absorption compense le débit transpiratoire, un équilibre dynamique s'instaure et le taux d'hydratation des tissus reste sensiblement constant.

Par contre si l'absorption de l'eau du sol est inférieure à la transpiration, une perte de turgescence se produit et un flétrissement temporaire apparaît. Pour limiter la perte d'eau, la plante va agir par fermer une partie de ses stomates. Si le déséquilibre persiste le flétrissement est alors irréversible et la plante meurt.

2.3- Notion de période critique

L'effet du manque d'eau sur la production dépend du stade de développement de la plante. Une sécheresse intervenant au cours de la phase de reproduction aura des effets défavorables sur le développement ultérieur de la plante et notamment sur la production. C'est un effet irréversible.

Donc une période est critique lorsque le manque d'eau apparaît durant une phase où les organes reproducteurs sont initiés.

Les périodes critiques varient avec les espèces :

Pour le blé	15j avant et 15j après épiaison
Légumineuses à graines	période de floraison et formation de gousses
Pomme de terre	période de tubérisation

3- Besoins en eau des plantes

Selon leurs besoins en eau, les plantes sont classées en :

- hydrophytes : espèces aquatiques (riz, algues)

- xérophytes : espèces adaptées aux régions sèches
- mésophytes : espèces intermédiaires

Les besoins théoriques d'un végétal bien alimenté en eau sont assimilables aux valeurs de l'ETP totalisée pour la période de végétation. L'ETP est exprimée en mm d'eau.

Le rapport entre l'ETR sous des conditions données et l'ETP est une valeur importante qui est le coefficient de culture.

Plus ETR/ETP se rapproche de 1, plus la plante se trouve dans des conditions qui favorise son développement et sa croissance.

Ex : Les besoins en eau de quelques cultures

Espèce	Quantité d'eau nécessaire (mm)
Luzerne	800-1600
Haricot	300-500
Agrumes	900-1200
Oignon	350-550
Petit-pois	350-500
Pomme de terre	500-700
olivier	400-600
blé	500-650
sorgho	450-650

4- Moyens d'intervention pour favoriser la balance hydrique des plantes cultivées

Pour améliorer la balance hydrique des plantes, on peut agir par des techniques qui améliorent l'environnement pour réduire le manque d'eau:

- l'augmentation de l'approvisionnement en eau par l'irrigation et la réduction de la densité de plantes/unité de surface
- réduction des pertes d'eau par le travail du sol, la technique de mulching, les brises vent, la taille (diminue la surface foliaire), épandage d'émulsion d'huile ciré sur les feuilles pour réduire la transpiration

- On peut agir autrement en améliorant la résistance des plantes à la sécheresse,

- bien gérer la fertilisation azotée car tout excès d'azote augmente le feuillage et par conséquent la transpiration.

II - NATURE PHYSIQUE DES RELATIONS SOL-PLANTE

1- IMPORTANCE DE LA TEXURE ET DE LA STRUCTURE

La texture d'un sol est sa composition granulométrique. On trouve les textures fines (sols argileux) jusqu'aux textures grossières (sols sableux).

La structure d'un sol est l'arrangement dans l'espace des constituants du sol et leur liaison.

Le développement du système racinaire dans un sol donné dépend de la résistance qu'offre ce sol à la pénétration des racines. Cette résistance est d'origine mécanique.

La résistance mécanique présente un caractère important dans les régions où des périodes sèches et relativement longues surviennent entre deux périodes pluvieuses. Elle s'accroît en sol argileux lorsque la porosité est insuffisante.

L'influence de la résistance du sol à la pénétration des racines se traduit par la formation de poils absorbants qui permettent aux racines de s'enfoncer dans le sol.

La texture du sol détermine aussi la quantité d'eau pouvant être emmagasinée dans un sol donné. Un sol à texture grossière retient moins d'eau qu'un sol à texture fine.

Dans les zones où la pluviométrie est insuffisante pour amener les sols à la capacité au champ, la quantité d'eau disponible pour les plantes pourrait être influencée non pas par la capacité du sol à retenir l'eau mais par d'autres propriétés du sol tels que le taux d'infiltration et le taux d'évaporation des eaux de pluie. D'où on classe les sols en :

- sols imperméables dans les quels l'eau ne pénètre que quelques mm/h (ex : sol limoneux)
- sols peu perméables à texture argileuse où la vitesse d'infiltration est de 1cm/h
- sols perméables où l'eau pénètre avec une vitesse de quelques cm/h (sol sableux)

La texture du sol joue aussi un rôle dans la fertilité du sol, les sols à texture fine sont plus fertiles que les sols à texture grossière ; cela est dû aux colloïdes du sol auxquels sont adsorbés les minéraux.

La structure du sol a une influence déterminante sur la germination des graines, un sol convenablement structuré doit comporter une portion importante (30 à 40%) d'éléments dont le diamètre est au plus $>$ à celui de la graine.

Ex : la graine de pois n'est perméable à l'eau que d'un seul point, si ce point n'est pas en contact avec le sol donc pas de germination.

Un sol de mauvaise structure est fendille, les fentes vont contribuer à l'assèchement du sol qui est d'autant plus élevé que les fentes sont profondes. Ce phénomène est rencontré dans les sols lourds.

Pour avoir une bonne structure du sol, il faut apporter du fumier et choisir les techniques appropriées pour chaque culture. La monoculture et le travail continu du sol concourent à dégrader la structure du sol.

2- **IMPORTANCE DE L'AERATION DU SOL**

L'aération du sol désigne l'ensemble des manifestations où les gaz du sol (O_2 , CO_2 , N_2 ..) interviennent soit à l'état gazeux dans les pores libres du sol, soit à l'état dissous dans la solution du sol l'état structural et l'état hydrique conditionnent l'aération du sol.

En condition normale, la teneur en oxygène est comprise entre 18 et 20.5%. La teneur en CO_2 est beaucoup plus variable ; elle se situe entre 0.2 et 3.5% selon le type et les conditions du sol.

La teneur en CO_2 augmente avec la profondeur, celle de l'oxygène diminue. L'incorporation de matière organique fermentescible entraîne une consommation élevée d'oxygène et une production importante de CO_2

Une mauvaise aération du sol réduit la respiration racinaire, l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les racines des végétaux. Le manque d'oxygène dans le sol réduit la transpiration chez plusieurs espèces et provoque une diminution de l'activité métabolique au niveau des racines.

En condition d'anaérobiose, les cellules des racines de la plupart des espèces transforment le glucose en alcool éthylique qui est toxique ; il bouleverse l'activité métabolique chez les plantes surtout au moment de la floraison (Ex : chez le pois et les céréales).

Par contre les cellules des espèces adaptées aux conditions d'anaérobiose, transforment le glucose en acide malique (Ex : le riz).

Pour maintenir une activité racinaire normale, il faut qu'un minimum d'oxygène soit présent dans le sol. Ce minimum varie selon les espèces céréales : 10 à 15% ; betterave : 15 à 20% ; prairie : 5 à 10%

III- NATURE CHIMIQUE DES RELATIONS SOL-PLANTE

Pour se développer, les plantes ont besoins d'un certains nombre d'éléments. Mis à part du carbone, hydrogène et l'oxygène qui sont fournis par l'atmosphère, les éléments dont la plante a besoin sont N, P, et K comme éléments majeurs ; Ca, Mg et S comme éléments secondaires et comme oligoéléments le Bore, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo.

Les exigences en éléments majeurs, secondaires ou oligoéléments différent d'une espèce à l'autre, d'une variété à l'autre et même pour une variété d'une période à une autre.

Ex : Rythme d'absorption des éléments minéraux au cours de la croissance du blé

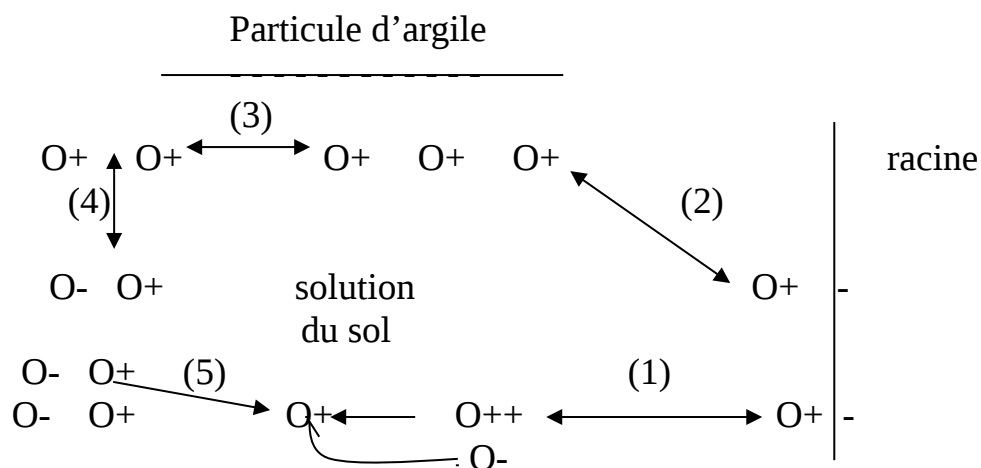
	Semis-Tallage	Tallage-Floraison	Floraison-Maturation
N	4,36%	70,64	24,8
P ₂ O ₅	4,98%	93,52	4,5
K ₂ O	2,68%	97,35	0,0

1- ECHANGE D'IONS SOL-RACINE

Les plantes prélèvent de la solution du sol les ions dont elles ont besoin et appauvrissent ainsi la solution du sol en ions.

La solution du sol va alors emprunter les ions perdus des particules du sol et des colloïdes pour rétablir l'équilibre entre la solution du sol et le sol. Donc le développement des plantes dépend de la capacité du sol à libérer certains ions dans la solution du sol.

Représentation dia grammaticque des processus impliqués des échanges d'ions entre la racine et le sol



- (1) la diffusion la solution vers la racine
- (2) diffusion de la particule vers la racine
- (3) diffusion entre les particules
- (4) reconstitution de la solution du sol
- (5) flux de masse (mass flow)

2- EFFET DU PH DU SOL SUR LA PRODUCTION VEGETALE

Pour chaque espèce végétale est attribué un pH optimum de développement et les végétaux sont classés sur cette base en acidophiles, neutrophiles et alcalinophiles.

Ex : betterave 7 à 7,5 ; avoine- maïs- pomme de terre 5,5 à 6

Le pH exerce parfois une action indirecte sur la nutrition. Il peut par exemple entraîner une toxicité par excès de solubilisation comme pour l'aluminium ou certains oligo-éléments. Dans les sols acides, un excès d'Al dans la solution du sol réduit l'absorption du P, Ca, K, Fe (Mn a le même effet que Al). Donc les plantes qui se développent sur un sol acide vont avoir une croissance limitée.

Dans les sols alcalins, un excès de sodium (Na) échangeable dans le sol affecte à la fois les propriétés physique et chimique du sol et par conséquent affecte le développement de la végétation.

Ex : les sols sodiques sont légèrement riches en carbonate de sodium qui a deux actions,

- augmente le pH du sol ce qui provoque une déficience en P, Zn, B
- dispersion des argiles ce qui rend le sol imperméable

Dans les sols salins, le Cl⁻ gêne l'absorption des nitrates (Cl pénètre plus facilement) d'où un manque de synthèse de protéines.

Le Na gêne l'absorption du K, d'où le ralentissement du métabolisme des glucides. Donc Na et Cl provoquent un mauvais développement de la plante.

Classement des plantes cultivées selon leur sensibilité aux sels

- plantes résistantes : (ex : Asperge, cotonnier, sorgho, luzerne, atriplex ..)
- plantes moyennement résistantes : résistent à des concentrations de 3 à 8 mmhos/cm (ex : tourne sol, amandier, fève, vesce, soja, abricotier..)
- plantes sensibles : supportent des concentrations de 1,5 à 3 mmhos/cm (ex : poirier, vigne, cerisier, fraisier, maïs..)
- plantes très sensibles : tolèrent des concentrations < 1,5 mmhos/cm (ex : Néflier du Japon, Haricot)

Les sols salins et sodiques plus répandus dans les zones arides et semi-arides. Cette répartition est une conséquence de l'excès de l'évaporation potentielle par rapport à la pluviométrie conduisant à une faible évacuation de l'eau chargée en sels solubles ; par ailleurs une grande partie des terres dans ces régions ne drainent pas l'eau vers la mer. Ces sols ne sont pas impropres totalement à la culture puisqu'ils sont utilisés grâce à l'irrigation et aux espèces halophytes.

En plus des sols salins et sodiques, il existe des sols de salinité secondaire dans les zones irriguées lorsque des précautions nécessaires ne sont pas respectées.

IV- NATURE BIOLOGIQUE DES RELATIONS SOL-PLANTE

Le sol est un véritable biotope c.à.d. un milieu naturel où dominent les racines des végétaux d'une part et une faune et une microflore d'autre part, selon la nature du sol et sa richesse en matière organique.

La faune du sol est représentée par des organismes qui appartiennent au règne animal tels que les nématodes, les protozoaires, les arthropodes, ..

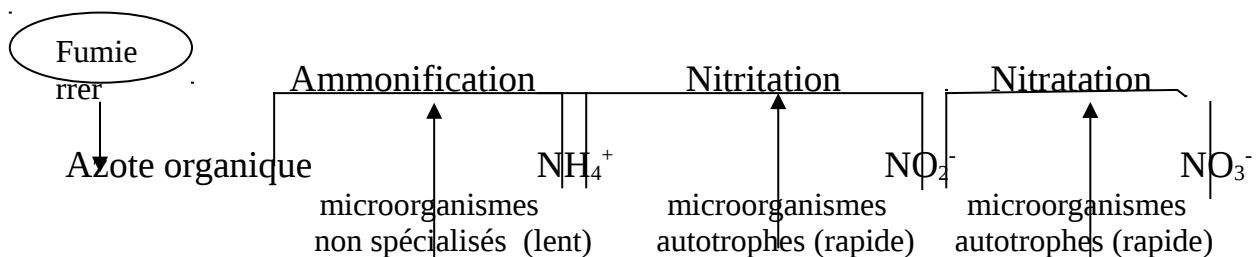
La microflore désigne la population microbienne du sol tels que bactéries et champignons.

1- ROLE DES MICROORGANISME DU SOL

Le rôle essentiel des microorganismes du sol repose sur leurs activités enzymatiques ; en effet, toutes les transformations intéressant la vie végétale ou l'évolution du sol passe par les microorganismes. Ils influencent la végétative par le métabolisme général qui permet de libérer certaines substances tels que les vitamines, les acides aminés, les acides nucléiques, les composés sulfuriques et azotés..

De même leur rôle se manifeste par la minéralisation de la matière organique du sol pour libérer ses constituants (carbone, azote..)

Exemple :



(Rq : microorganismes autotrophes signifient qu'ils n'ont pas besoin d'un apport d'énergie, ils tirent leurs énergies de la réaction de nitrification)

La microflore ammonifiante comporte de nombreuses espèces de bactéries, d'actinomycètes et de champignons.

Les bactéries de la nitrification sont très spécifiques et peu nombreux ; la nitrification est opérée par des bactéries comme Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira ; la nitratisation par des bactéries comme Nitrobacter.

La rhizosphère est le volume du sol occupé par l'appareil racinaire d'une plante ou bien qui est influencé par lui.

On distingue deux parties de la rhizosphère :

- rhizosphère proche qui se limite au contact sol-racine
- rhizosphère éloignée peut s'étendre ½ cm de la racine

L'effet rhizosphère désigne l'ensemble des actions qui se manifestent, de nature physique, chimique et biologique.

La présence de nombreux substrats carbonés et énergétiques crée un contexte favorable au développement d'une population microbienne nombreuse. Plusieurs facteurs vont influencer cette population tels que la nature du sol, la présence de substances nutritives, la plante elle-même, la profondeur d'enracinement..

2- INTERACTIONS PLANTES-MICROORGANISMES

La végétation exerce une influence importante sur la croissance et l'activité des microorganismes par le fait que leurs besoins énergétiques sont satisfaits par la dégradation des produits carbonés de la photosynthèse (résidus végétaux, exsudats radiculaires..). Cette influence se manifeste également par la fourniture de substances stimulantes ou inhibitrices et par les modifications du milieu édaphique dues à la présence des racines. La végétation bénéficie quant à elle, au niveau radiculaire, de substances excrétées par les microorganismes. Il s'établit donc entre les plantes et les microorganismes un ensemble d'interactions assez complexes.

- La Mycorhization

C'est une association entre champignon et plante supérieure, elle représente une juxtaposition d'hyphes fongiques et de racines des plantes. Le phénomène a été mis en évidence chez certaines espèces forestières : conifères, hêtres, chênes.

Selon la morphologie deux types de mycorhizes se rencontrent :

- les mycorhizes ectotrophes
- les mycorhizes endotrophes

- La Symbiose

C'est une association intime entre des bactéries (rhizobium) et les racines des légumineuses. Les rhizobiums pénètrent dans les racines à travers les poils absorbants, il y aura multiplication intense du méristème secondaire et formation de nodosités.

Les bactéries cherchent les carbohydrates et fournies l'azote à la plante.

Espèces de rhizobium

Rhizobium leguminesarum

Légumineuses

Pois, fève, vesce, lentille, pois-chiche

”	meliloti	Mélilot, medicago (luzerne), trigonella (helba)
”	phaseoli	Phaseolus (Haricot)