

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la recherche scientifique

Université de Jijel
Faculté des sciences
Département d'Ecologie
& Environnement



جامعة جيجل
كلية العلوم
قسم علم البيئة و المحيط



67.11/08

1/09

Mémoire de fin d'étude

En vue l'obtention du diplôme d'étude supérieur

Option : biologie et physiologie végétale

Thème :

Développement cellulaire, structure
et croissance de la racine

Jury :

Mr : Mayache B. : Presidents
Mr : Sebti M. : Examineur
M^{me} : Benfridja L. : Encadreur



Présenté par :

Biad Abdel Fettah.
Boukerche Aida.

Session juin 2008.

Remerciements

*Avant toute chose, nous remercions dieu tout puissant
de avoir aidé et éclairé le chemin pour
la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions notre encadreur madame Benfridja Lila
pour ses conseils et son aide tout au long de notre travail.*

*Nous remercions nos professeurs de
tronc commun ou de spécialité
a toutes leurs assistances et encouragements et éducations.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude au
chef département monsieur Bouldjedri Med
qui nous a écouté, aidé pour bien avoir cette formation.*

*Nous tenons à remercier également Mr sebti et Mr Mayache qui ont accepté
d'examiner et de jurer ce travail.*

*Nous remercions toute personne qui nous a aidé
de près ou de loin pour terminer notre travail de fin d'étude. .*

Merçi a tous.

Aiei Fettah

Aida

Dedicace

*Je Dédie ce modeste travail aux personnes
qui sont les plus chers au monde :*

*A ma cher mère : « Hadjira » pour sa sacrifice durant toutes
les longues durée d'études que dieu la protège et la me garde
jusqu'à la fin de mon existence.*

*Un grand gracieux pour qui remplace mon père et
un grand remerciement pour son aide, encouragement et surcharge.*

*A toute ma famille :
Riad, Naima, Hichem, et la pousse Sabrina.*

A toute qui prend le nom Biad et Chebira.

Au Binôme Aida Boukerche.

*A tous mes amis d'étude :
Saïd, Fares, Ael, Aissam, Nabila, Ghania, Karima, Ghania.....*

*A : Kassem, Lakhder, Houari, Med, Lamine, Waheb, Nabil, ...
Atout la promo de B.V.2008.*

A/el Fettah

Dedicace

Au nom d'allah le tout puissant, le très miséricordieux

Au deux personnes les plus chères à mon cœur :

mes parents « mon père SAOUDI et ma mer Noura ».

Pour leur confiance, leurs prières et leur sacrifices.

*Qu'ils trouvent ici l'expression de toutes mon affection et ma reconnaissance
pour tout ce que je leur dois.*

A ma très chère sœur NABILA.

A mes très chères frères : SAMI et le poussin KARIM.

Au benom : BIAD ABDEL FETTAH.

A mes chères tantes : FOUZIA, HABIBA, SALIHA, SAMIA.

A mes chères oncles : ZINE EDDINE, MOUHAMED, MOKHTAR.

*A toutes mes cousines : RADIA, AMINA, NAIMA, LINDA, AMEL,
NASSIMA, FATIHA et FATIMA.*

A mes très chères amis : MOUNIA, GHANIA, RIMA, SIHEM.

A toute la famille Boukerche et Ben aida.

A toute la promo 2008.

Aida

Sommaire :

TITRE	PAGE
Introduction.....	1
Chapitre I : Généralités.	
I-1- Définition de la racine.....	3
I-2- Morphologie de la racine.....	3
I-2-1 : Type des racines.....	3
a : Racine principale.....	4
b : Racine latérale.....	4
I-2-2 : Les systèmes racinaires.....	4
a : Système pivotante.....	4
b : Système fasciculé.....	4
I-3- Rôles des racines.....	5
Chapitre II : Anatomie structurale de la racine :	
II-1- Structure.....	7
II-1-1 : Structure de la racine principale.....	7
a : La coiffe (Structure et rôle).....	7
b : La zone de production, d'élongation et de différenciation.....	8
• La zone méristématique subapicale.....	9
▪ Le centre quiescent.....	9
▪ Le méristème proximal.....	9
▪ Le cylindre axial.....	9
• La zone d'élongation.....	9
• La zone de différenciation ou zone pilifère.....	9
• La zone subéreuse.....	11
• La zone de ramification.....	11
• La zone d'épaississement secondaire.....	11
II-1-2 : Structure de la racine latérale (adventive).....	11
II-1-3 : Récapitulation sur les tissus.....	13
a) Tissus de revêtement.....	13
b) Tissus parenchymateux.....	13
c) Tissus de soutien.....	13
d) Tissus conducteurs.....	14
e) Tissus sécréteurs.....	14
II-2- Comparaison entre les racines des monocotylédones et de dicotylédones.....	14

Chapitre III : Croissance des racines :	15
III-1- Croissance primaire (méristème primaire).....	
III-1-1 : formation de l'écorce.....	15
✓ Lépiderme.....	15
✓ L'exoderme.....	15
✓ Un parenchyme cortical.....	15
✓ Un endoderme a cadre de caspary.....	16
III-1-2 : formation du cylindre centrale.....	17
✓ Un péricycle.....	17
✓ Des tissus conducteurs primaires.....	17
✓ Un parenchyme médullaire.....	20
III-2- Croissance secondaire (méristème secondaire).....	20
III-2-1 : formation du pachyte.....	21
III-2-2 : formation du periderme.....	22
Chapitre IV : Développement et diversité.	
IV-1-Developpement.....	23
IV-1-1 : Notion du développement.....	23
IV-2-2 : Interactions sol-racine.....	23
a) L'eau dans le sol.....	23
b) Mécanisme de l'absorption.....	25
➤ Relation entre la structure, la distribution des racine et l'alimentation hydrique.....	26
➤ La persistance de l'eau dans le sol.....	26
c) Mécanisme du transfert dans le sol et dans les racines.....	27
d) Gravitropisme.....	27
IV-3-3 : les principaux facteurs influents le développement du système racinaire.....	28
a) facteurs physiques.....	28
◆ La résistance mécanique.....	28
◆ La texture du sol.....	28
◆ La porosité.....	28
◆ La structure du sol.....	28
b) Facteurs chimiques.....	29
◆ les éléments minéraux (fertilisation).....	29
◆ pH.....	31
◆ Aération.....	31
◆ Composés phytotoxiques.....	31
◆ Blessures mécaniques.....	31
◆ Régie de l'eau.....	32
◆ Température.....	32

IV-2- Diversité.....	33
IV-2-1 : Racines ayants des réactions avec le sol.....	33
a) Les racines contreforts.....	33
b) Les racines échasses et les racines piliers.....	33
c) Les racines Lianes ou racines étrangleuses.....	33
IV-2-2 : Racines spécialisées de petites tailles.....	34
a) Les racines tubéreuses	34
b) Les pneumatophores	34
c) Les racines suçoirs.....	34
IV-2-3 : Autres types de racines spécialisées.....	35
Chapitre V : Adaptation et importance des racines.	
V-1-Notion de l'adaptation.....	37
V-2-Types d'adaptations.....	37
V-3-Les racines et la symbiose.....	38
♣ Mycorhizes	38
♣ Les nodosités des légumineuses	40
♣ Racines coralloïdes de Cycadales.....	41
V-4-Importance : écologique et thérapeutique.....	41
Conclusion.....	42

*LISTE
DES
TABLEAUX*

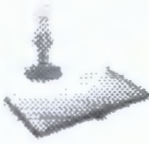
Liste des tableaux :

- ✓ Tableau I : Comparaison anatomique entre les monocotylédones et les dicotylédones.....P14.
- ✓ Tableau II : effet de l'application localisée du phosphore sur la longueur totale des racines latérales et sur le poids sec racinaire.....P29.
- ✓ Tableau III : effet d'une carence en phosphore sur la croissance de la tige et des racines.....P30.

*LISTE
DES
FIGURES*

Liste des figures :

- ✓ Fig. 1 : Différents formes de racine pivotante.....P 4.
- ✓ Fig. 2 : Racine fasciculé.....P 4.
- ✓ Fig. 3 : Racine en coupe longitudinale.....P 7.
- ✓ Fig. 4 : Coiffe d'une racine.....P8.
- ✓ Fig. 5 : Schéma montre l'évolution de la zone pilifère au cours
de la croissance d'une jeune racine.....P 10.
- ✓ Fig. 6 : présentation de l'organogenèse (sortie d'une racine latérale).....P12.
- ✓ Fig.7: structure primaire d'une racine complète.....P15.
- ✓ Fig. 8 : Endoderme dans une racine d'hellébore (Dicotylédones).....P16.
- ✓ Fig.9 : Endoderme dans une racine d'iris (Monocotylédones).....P16.
- ✓ Fig.10: Structure d'une racine de Dicotylédones - l'Hellébore-
F/(Renonculacées).....P17.
- ✓ Fig. 11 : Structure d'une racine de Monocotylédones, l'iris (Iridacées).....P18.
- ✓ Fig. 12: Différenciation des tissus conducteurs dans une racine à deux pôles
vasculaires. (X = Xylème, P = Phloème).P18.
- ✓ Fig.13 : structure secondaire d'une racine complète.....P21.
- ✓ Fig. 14 : Quelques exemples des racines en diversité morphologiques.....P35.
- ✓ Fig. 15 : Elle présente la symbiose en type mycorhize.....P39.
- ✓ Fig. 16 : l'apparition des nodules sur les racines de l'haricot.....P40.



Le monde végétal reste mal connu malgré sa richesse et sa diversité. Pourtant, les plantes, premier maillon dans le cycle du carbone ou dans les chaînes alimentaires, sont indispensables à la vie animale sur la planète. Les plantes sont au cœur des préoccupations de nos sociétés : santé, nutrition, environnement. [1].

Les végétaux fournissent à l'homme, non seulement la base de sa nourriture, mais aussi de nombreux matériaux pour la construction et l'habillement. Ils ont déjà fourni la base de nombreux médicaments et représentent une source potentielle de nouvelles molécules à découvrir et à valoriser. En tant qu'objet de recherche, les plantes et leurs organes (tiges, feuilles et racines), sont devenues des modèles biologiques incontournables pour appréhender le vivant dans sa diversité. En outre, il est désormais commun de dire que nous assistons actuellement à une révolution en biologie concernant leur reproduction, leur développement, leur métabolisme, leur statut hydrominéral et leur capacité de réponse aux contraintes environnementales, de même que des interactions avec les facteurs biotiques du milieu. [1]

La racine représente un modèle simple pour comprendre le développement cellulaire. Il faut bien citer qu'elle est en contact avec le milieu et elle subit des modifications morphologiques et structurales en réagissant avec les différentes conditions climatiques comme la température et les conditions édaphiques comme la porosité.

D'un autre côté, les racines sont souvent le siège de symbioses avec les bactéries et les champignons du sol, en particulier pour le métabolisme de l'azote. Elles peuvent présenter des adaptations afin de faciliter le développement de la plante dans un environnement particulier (exemple des racines du palétuvier). Dans certains cas, elles servent aussi à stocker des nutriments (exemple du radis, la betterave, le navet, etc.). Certaines racines de plantes sont comestibles ou à usage médicinal, d'autres au contraire sont hautement toxiques. Les racines sont aussi les organes de pénétration des herbicides racinaires, employés pour lutter contre les adventices. [1].

On estime donc avec ce travail. Mettre en évidence la différenciation morphologique et cytologique de la racine présenter l'importance économique, écologique ou médicinale de cette dernière, aussi présenter la structure histologique et le développement des zones durant l'âge.



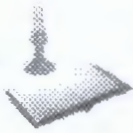
L'adaptation ; c'est-à-dire sa réaction aux contraintes externe, de quelle manière les changements visibles de l'aspect général des racines se réalise, et enfin les utilisations des racines en plusieurs domaines.

Donc, notre travail comporte une étude bibliographique et se devise en cinq chapitres :

- Chapitre I : Généralités.
- Chapitre II : Anatomie structurale de la racine.
- Chapitre III : Croissance des racines.
- Chapitre IV : Développement et diversité.
- Chapitre V : Adaptation et importance des racines.

CHAPITRE

-I-



I : Généralités :

I-1 : Définition de la racine :

.En botanique, la racine est l'organe souterrain d'une plante servant à la fixer au sol et à y puiser l'eau et les éléments nutritifs , nécessaires à son développement. [1].

Les racines des plantes sont des touffes, mais pas aussi attirants que les feuilles vertes et les fleurs fraîches. Elle se cache dans la terre humide et sombre. En générale la plus part des plantes possèdent chacune « une grande armée souterraine »formée de nombreuses racines, celles-ci s'appelle le système racinaire. [2].

C'est l'organe qui sert a absorber l'eau et les éléments minéraux et les conduits vers la tige et toutes autres parties de la plante et le système racinaire est nécessaire au développement du système végétatif qui est le responsable de l'alimentation organique racinaire. Mais aujourd'hui il y a possibilité de développer la racine artificiellement d'une façon continue sans tige par la croissance des apex racinaires dans des solvants nutritifs (vitamines, éléments minéraux, organiques, nécessaires au développement de la racine). [3].

I-2 : Morphologie de la racine :

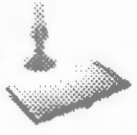
Les racines sont distinguées en deux types : pivotantes (racine principale) et adventives (racine latérale). Ces deux types se distingues à un aspect générale dont l'ensemble constitue des différents systèmes racinaires donnant la diversité morphologique des racines.

I-2-1- Types des racines :

La racine pivotante (droite) croît pour donner la tige, se ramifie pour donner des racines secondaires ; eux-mêmes donnent des radicules., sans oublier qu'il y a aussi :

- les Radicules (filiforme issus des racines adventives).
- Rhizomes (tige terrestre ressemble au racine).
- Poils absorbants (poils sert a l'absorption de l'eau).
- Stolons.
- Thalles (corps végétatifs sans axe centrale).

Ses différents types ressemblent aux racines mais ne sont pas des vraies racines. [4].



a) Racine principale :

Issue de radicule après la germination de la graine, elle forme ce qui est connu sous le nom de racine pivotante, se détache d'elles des racines latérales plus petites de tailles et d'âges, de la base vers le haut, prennent différentes formes et zones.

b) Racine latérale :

Les racines secondaires (latérales) issues du péricycle situé autour du faisceau conducteur, permettent d'accroître l'étendue du tissu racinaire. Leur morphologie est comparable à celle de la racine principale. Les plus fines racines secondaires sont appelées les radicelles, et comportent généralement beaucoup de poils absorbants. [5].

I-2-2 : Les systèmes racinaires :

L'ensemble des racines d'une plante s'organise selon deux grands types de systèmes principaux et naturellement de tous les intermédiaires possibles :

a) Système pivotant : C'est principalement le cas chez les dicotylédones et les gymnospermes. Il existe une racine principale à gravitropisme positif et des racines secondaires latérales. [1].

On peut trouver différentes formes de systèmes pivotants. (Voir - fig.1 -).

b) Système fasciculé : C'est principalement le cas chez de nombreuses Monocotylédones. Les nombreuses racines ne dérivent pas d'une racine principale mais ont une origine commune. Elles croissent parallèlement en faisceau. [1]. (Voir- Fig.2-

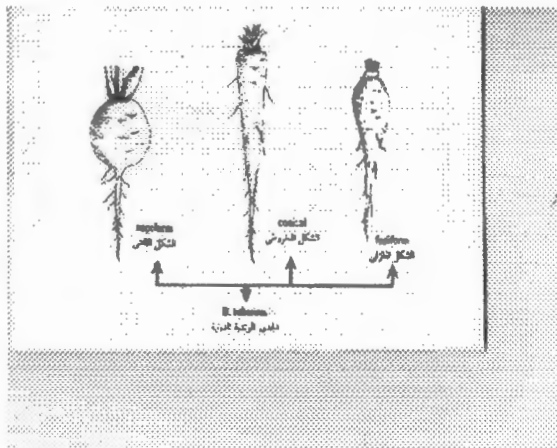


Fig. 1 : Différents formes de racine pivotante.

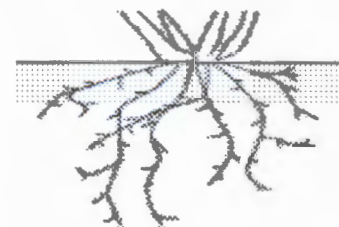


Fig. 2 : Racine fasciculé.



I-3- Rôles des racines :

La racine est un organe vital de la plante, qui se forme très tôt lors du développement de la plante, dès le début de la germination. Elle a plusieurs rôles au sein de la plante :

- Ancrage au sol (sol plus ou moins meuble) ou sur une paroi ; selon la granulométrie du substrat, la racine se développe et se ramifie plus ou moins. L'aspect du système racinaire change généralement d'une espèce de plante à une autre : un chêne a des racines développées en profondeur, alors qu'un peuplier a un système racinaire de surface. [1].
- Absorption de l'eau et des nutriments du sol, et leur transport au reste de la plante pour sa croissance et aux feuilles pour la photosynthèse. Le transport est réalisé par l'évaporation foliaire tractante en principe (évapotranspiration), mais aussi par la pression racinaire due à l'absorption active d'eau (visible lors de la gustation au niveau des hydathodes foliaires). [1].
- Support d'associations symbiotiques : complexes avec les micro-organismes (bactéries et champignons) qui vont, par exemple, aider à la solubilisation du phosphore, à la fixation de l'azote atmosphérique et au développement de racines secondaires. [1].

L'apparente harmonie des associations mycorhiziennes expliquant que la notion de symbiose ait été invoquée pour leurs interprétations sur le plan biologique ; ils seraient cependant osés de dévier ce terme de son sens étymologique restreint de *vie en commun*, impliquant simplement l'idée d'une coexistence intime et durable, pour lui attribuer la signification d'union mutualiste entre commensaux susceptible de s'entraider. [6].

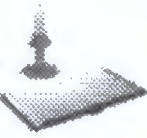
- Création de sol : Les molécules et enzymes sécrétés par les racines et leurs manchons symbiotiques contribuent à la formation du sol. Les racines de nombreux arbres sécrètent des acides organiques assez puissants pour ronger les pierres calcaires et en libérer le calcium et d'autres minéraux utiles pour les espèces qui produisent et exploitent l'humus. [1].



- **Communication** : Certaines espèces d'arbres peuvent anastomoser leurs racines à celles d'arbres de la même espèce et ainsi mettre en commun des ressources hydriques et nutritives. Ces anastomoses peuvent aider une souche ou un arbre gravement blessé à survivre et à mieux résister à l'érosion des sols, pentes et berges. Quand la connexion n'est pas directement physique, des communications via les tissus mycorhiziens peuvent exister. L'anastomose ne doit pas être confondue avec la production d'un nouvel arbre (clone) à partir d'une racine. On a découvert que des linéaires d'arbres, des bosquets, voire des parties importantes de forêts pouvaient être anastomosés, ce qui laisse supposer qu'il s'agit d'un avantage évolutif important, car l'anastomose est suspectée de pouvoir aussi - à priori - être l'occasion du passage rapide de pathogènes d'un arbre à l'autre lorsque l'un des arbres est infecté. [1].

CHAPITRE

-II-



II-1- Structure : Selon les parties la structure se repartie en deux :

Racine principale et racine latérale.

II-1-1 : Structure de la racine principale :

Issue de radicule après germination de la graine, elle forme ce qui est connu par le nom de : « racine pivotante ». Elle a un axe principal, qui devienne mince graduellement dès la sortie de ses racines latérales. Plus petit de la taille et de l'âge, de la base vers le haut, il prend différents formes et zones. [7].

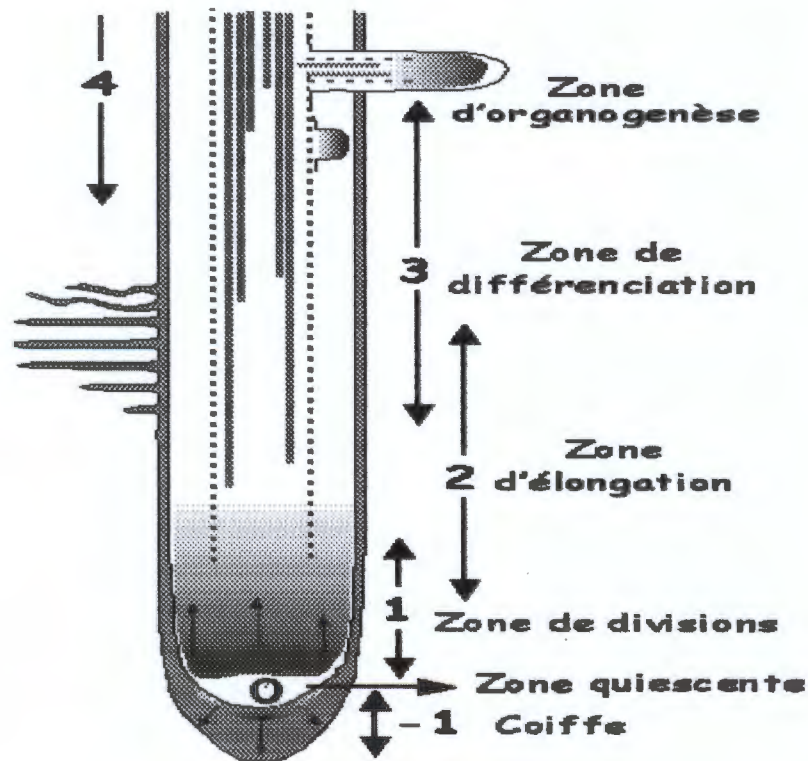
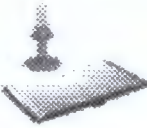


Fig. 3 : Racine en coupe longitudinale. [1].

a) La Coiffe : Structure et rôle

La coiffe, petite calotte qui entoure l'extrémité de la racine, a plusieurs rôles extrêmement importants, manchon de cellules parenchymateuses vivantes recouvrant l'apex racinaire. Ses cellules superficielles se desquament au fur et à mesure de la progression de la racine dans le sol.



Elle protège la zone méristématique et constitue le site de perception de la gravité. Les cellules externes de la coiffe secrètent des polysaccharides hydratés enrobant l'extrémité racinaire. Ces sécrétions constituent le mucilage qui joue un rôle de lubrifiant, permet les relations avec les microorganismes du sol, ainsi qu'un contact étroit de la racine avec les particules du sol, à la faveur de l'absorption des ions.

Elle est elle-même confrontée à ces heurts dangereux. Pour assurer sa fonction elle est sujette à un constant renouvellement. Des divisions cellulaires situées contre le méristème apical assurent le renouvellement de ses cellules pendant que les cellules apicales les plus externes se desquament progressivement. Malgré ce renouvellement continu, elle garde une forme et une taille constante. Sa situation privilégiée à la pointe de la racine et dans l'axe de sa croissance l'amène à jouer un rôle majeur dans l'orientation de la croissance de la racine. C'est elle en effet qui représente le capteur de la gravité et qui permet de modifier le sens de croissance de la racine en fonction de sa position. [5, 8,5].

La figure suivante présente les différents partis d'une coiffe.

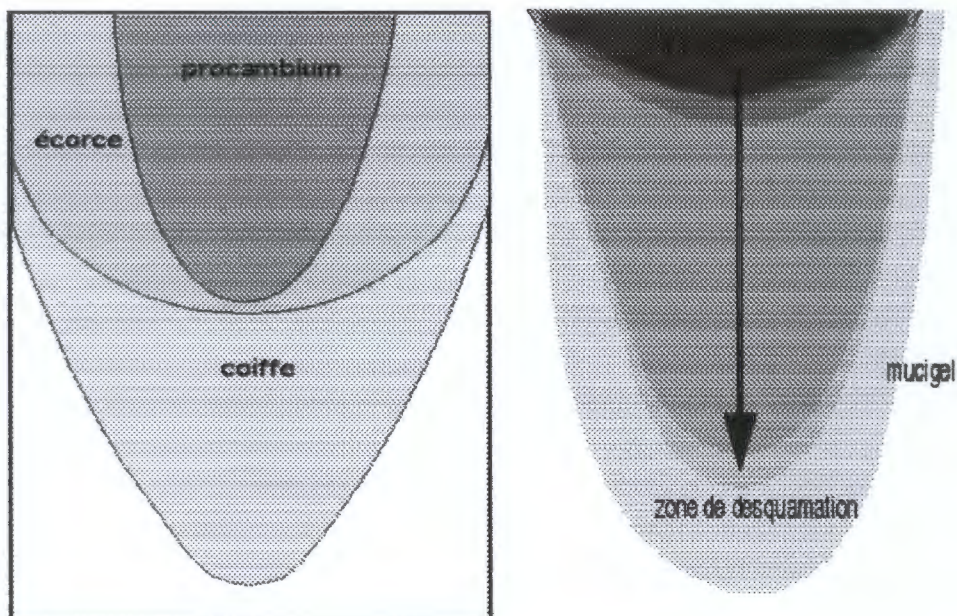
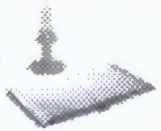


Fig.4 : Coiffe d'une racine. [1]

b) La zone de production, d'élongation et de différenciation :

Elle est vue en section longitudinale, l'apex racinaire présente des fils cellulaires, appartenant chacun à un tissu donné qui conduit aux zones suivantes :



- **la zone méristématique subapicale :**

Les cellules méristématiques sont des cellules "jeunes" à fort pouvoir de division. Elles sont en général isodiamétriques, à fort rapport nucléoplasmique (le noyau est très important par rapport au cytoplasme). Le cytoplasme contient des organites peu différenciés (proplastides non différenciés en amyloplastides, très petites vacuoles) et une grande densité en ribosomes, témoin d'une activité de synthèse protéique importante. [9].

Cette zone est partiellement masquée par la coiffe et se compose de trois parties :

- le centre quiescent : situé sous la coiffe dans l'axe de la racine, ses cellules se divisent peu ; leur activité métabolique est faible. Son rôle est de régénérer la zone méristématique en cas de dommage, de guider l'organogenèse de la racine et de maintenir l'état indifférencié des cellules initiales.
- Le méristème proximal : situé latéralement par rapport au centre quiescent, ses cellules qui se divisent activement, sont à l'origine des tissus de l'écorce de la racine.
- Le cylindre axial : Il est de procambium, dérivant du centre quiescent, ses cellules sont étroites et allongées selon l'axe, en origine du cylindre central de la racine. Apparente du système vacuolaire. D'autres phénomènes de différenciation plus complexes interviendront lorsque la cellule aura atteint sa taille définitive. [1,9].

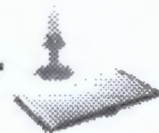
- **La zone d'élongation :**

Commence au niveau du méristème proximal et se poursuit sur quelques millimètres. Les cellules qui ont cessé de se diviser s'allongent selon l'axe de la racine. Les zones de division et d'élongation se recouvrent partiellement. L'élongation s'accompagne de phénomènes de différenciation comme des modifications de l'écorce de la racine. [9,1]

- **La zone de différenciation (ou zone pilifère) :**

Après les étapes de division et d'élongation, les cellules vont se différencier, c'est à dire se modifier structurellement en se spécialisant physiologiquement. Une seule étape de différenciation ne peut donc servir de modèle. Dans un organe aussi simple que la racine, les cellules, selon leur position par rapport à l'axe, les caractéristiques du tissu méristématique (procambium, méristème de coiffe) dont elles sont issues et leur proximité vis à vis du milieu extérieur, vont se spécialiser différemment. On peut séparer artificiellement certains types cellulaires :

- ♦ Les cellules de surface (rhizoderme pour les auteurs français, épiderme dans les ouvrages anglo-saxons) : elles vont se différencier en cellules protectrices vis à vis du milieu extérieur et pour certaines d'entre-elles en cellules absorbantes (poils absorbants).



◆ Les cellules de l'écorce : elles vont se différencier en cellules de parenchyme cortical qui jouera un rôle important dans l'accumulation de réserves au niveau de ses vacuoles et de ses amyloplast. Certaines d'entre elles (les plus profondes : l'endoderme) joueront un rôle clé dans le transfert de substances.

◆ Les cellules du procambium : elles vont se différencier en partie en cellules conductrices (tubes criblés conducteurs de la sève élaborée et trachéides et vaisseaux, conducteurs de la sève brute), en cellules d'accompagnement et en cellules maintenues avec un fort pouvoir méristématique (péricycle). Dans ce dernier cas, cette absence de différenciation ou différenciation retardée permettra la formation de racines secondaires (organogénèse) ou la réalisation de cambium et donc la formation de tissus conducteurs secondaires.

Dans les racines jeunes, les poils absorbants, comme leur nom l'indique, représentent le lieu principal d'absorption de l'eau et des sels minéraux par les racines. Ceci est bien compréhensible quand on imagine l'énorme surface de contact de ces innombrables cellules avec le milieu. Ces poils sont constitués chacun d'une cellule unique différenciée à partir d'une cellule du rhizoderme. Leur croissance est très rapide mais leur durée de vie est courte. La zone pilifère semble rester à une distance précise de la pointe de la racine. [1]. L'expérience suivante montre l'évolution de la zone pilifère au cours de la croissance d'une jeune racine :

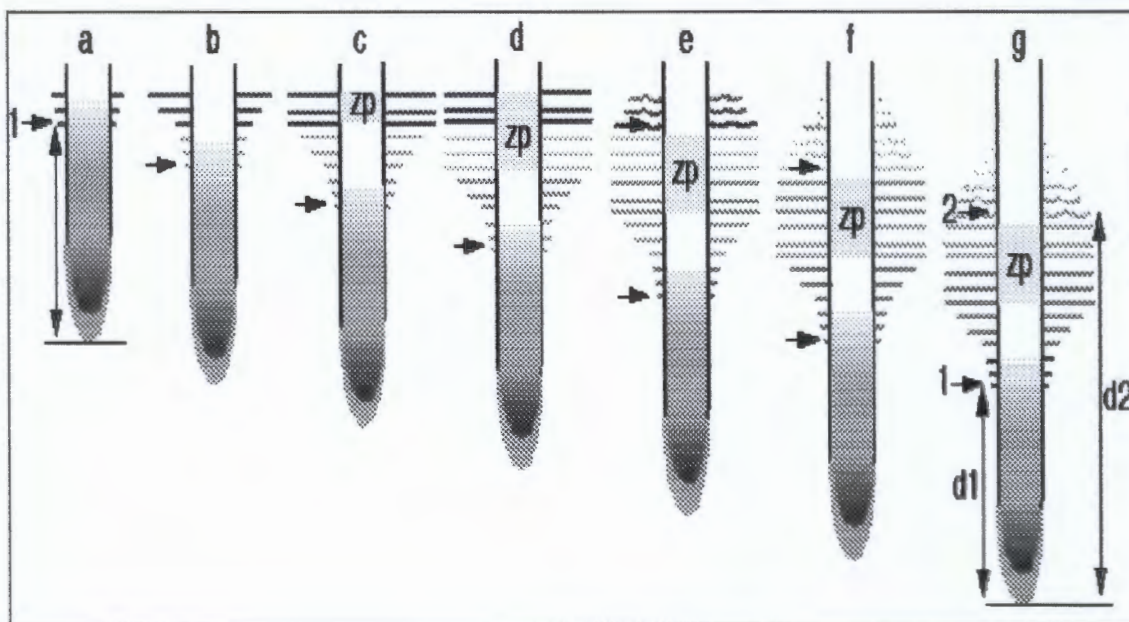
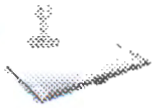


Fig. 5 : Evolution de la zone pilifère au cours de la croissance d'une jeune racine. [1].

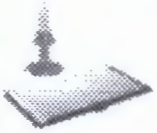


La coiffe est figurée en bleu, la zone de division en rouge et la zone d'élongation en orange. Ces trois zones gardent une taille constante. La racine grandit grâce à l'activité de la zone de division et de la zone d'élongation.

- Les poils absorbants se différencient en (1) juste au dessus de la zone d'élongation. Comme la racine s'allonge et que la zone d'élongation se déplace, la zone de début de différenciation des poils se déplace de la même façon. Les poils différenciés au cours du temps sont dessinés avec des couleurs différentes en a, b, c, d, e, f et g. [1].
- Observons les poils rouges initiés à la position (1) en a. Ils grandissent en b, deviennent fonctionnels en c et d, commencent à se détruire en e et disparaissent complètement en f. Au cours de cette évolution, les poils rouges se trouvent de plus en plus loin de la pointe de la racine mais restent à la même distance de la base de la racine.
- Il en est de même de tous les autres poils formés. Les nouveaux poils fonctionnels en e (verts) ont été formés en c et ceux qui sont fonctionnels en g (bleu foncé) ont été formés en e. [1].
- **La zone subéreuse** : la racine différenciée ne comporte plus de poils absorbants, elle est délimitée par un épiderme subérifié hydrophobe. [9].
- **La zone de ramification** : à quelques centimètres de l'apex racinaire, émergent des racines latérales. C'est aussi à distance de l'apex racinaire que peuvent se mettre en place des symbioses racinaires ou des bourgeons adventifs. [9].
- **La zone d'épaississement secondaire** : l'écorce primaire arrive à ce niveau à cause de la formation endogène de tissus secondaires. [9].

II-1-2 : Structure de la racine latérale (adventive) :

Les racines latérales dites secondaires, sont formées à quelques distances de l'apex racinaire. Elles rayonnent autour de l'axe de la racine principale. Elles sont formées par la différenciation du péricycle situé en face d'un pôle de xylème primaire. La division des cellules péricycliques aboutit à un massif méristématique qui s'organise rapidement en méristème apical. Sa croissance se réalise par extrusion au travers des tissus corticaux de la racine. Cette extrusion mécanique est accompagnée d'une digestion enzymatique des parois cellulaires. La jeune racine fait ensuite saillie à l'extérieur.



Sa structure est alors tout à fait conforme à celle de la racine principale. Dès que la jeune racine est formée, elle présente comme la racine principale, une zone de division, une zone d'élongation et une zone de différenciation. A ce niveau, les cellules de son procambium se différencient en tissus conducteurs de la même manière que dans la racine mère. Comme la jeune racine a été initiée près d'un pôle vasculaire, la jonction entre ses faisceaux conducteurs et ceux de la racine mère s'effectue sans problème. Une fois la jeune racine secondaire formée, elle se développera exactement comme la racine mère sauf pour une caractéristique, son orientation par rapport à la pesanteur. La plupart des racines secondaires auront un gravitropisme intermédiaire entre le gravitropisme positif des racines principales et le gravitropisme négatif des tiges. Cette caractéristique leur permettra de croître dans une direction privilégiée. [5,8]



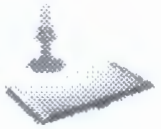
Mise en place d'un bourgeon racinaire au niveau du péricycle en face d'un faisceau de xylème. On observe l'interface entre la nouvelle racine et le parenchyme cortical traversé.



La jeune racine secondaire est complètement sortie de la racine principale au travers du parenchyme cortical et du rhizoderme déchirés.

On reconnaît les territoires caractéristiques d'une jeune racine, en particulier le méristème subapical et la coiffe.

Fig. 6 : présentation de l'organogenèse (sortie d'une racine latérale.) [1].



II-1-3 : Récapitulation sur les tissus :

Selon leurs morphologies et fonctions, les tissus se diffèrent et se classent en différents types présentant différents aspects expliquant cette diversité.

Donc on peut trouver les cellules parenchymateuses (parenchyme : dérive du grec signifie littérairement «verser au milieu, remplir»). Même si le système fondamental n'a pas simplement un rôle de remplissage ; au contraire, les parenchymes accomplissent des fonctions de première importance. Leurs caractéristiques générales sont : la plasticité fonctionnelle et la capacité à conserver leurs potentialités méristématiques ce qui leur permet de mettre en action telle ou telle fonction dans de multiples cas ; ils constituent ainsi la plus grosse source de méristème secondaires. Les parenchymes peuvent être d'origine primaires ou secondaires. [10].

a) Tissus de revêtement :

Tous les tissus de revêtement quelque soit leurs types et leur spécialisation, ont, en générale, des fonctions protectrices et sont presque tous en contact avec le milieu extérieur. Les tissus de revêtement d'origine primaire comprennent l'épiderme, le rhizoderme, l'exoderme et l'endoderme. Le seul d'origine secondaire est le siége (dans les racines secondaires). [10]

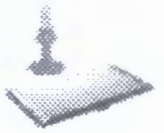
b) Tissus parenchymateux :

Les tissus parenchymateux constituent ce que l'on appelle le système fondamental dans les divers organes de la plante. Il existe plusieurs types de parenchymes.

- Chlorophylliens : se localise dans l'écorce externe des racines aériennes.
- De réserves : se trouve dans l'écorce de la racine et l'écorce axiale et transversale du bois et du liber dans la racine secondaire.
- Aérifères : se localise dans les racines dans le milieu peu aéré.
- Conducteurs : parenchyme transversal du bois et du liber dans la racine secondaire. [10].

c) Tissus de soutien :

Leur rôle est de faire face à divers types de forces auxquelles les organes, voire la plante entière, risque d'être soumise. En générale, ils sont abondants dans la tige, où ils sont localisés dans les parties périphériques que dans les racines, où ils sont réunis dans la portion centrale. L'épaississement de la paroi et l'absence d'espace intercellulaire sont des caractéristiques communes aux deux types de tissus de soutien : Le collenchyme et le sclérenchyme. [10].



d) Tissus conducteurs :

L'importance structurale et évolutive des tissus spécialisés dans la conduction (Tissus vasculaires et criblés) est à l'origine du terme trachéophyte plantes vasculaires employé pour les plantes qui dominent dans la végétation des terres émergées. Ces deux appellations se réfèrent, en particulier à la présence des vaisseaux, éléments conducteurs du tissu vasculaire. Avec d'autres types de tissus, ils forment respectivement le xylème et le phloème, le bois et le liber, à leurs tours associés en différents types de faisceau dans les feuilles et dans les structures primaires de la racine et des tiges herbacées. Ils sont généralement disposés en couronnes circulaires concentriques dans le corps primaire des tiges et des arbres et dans les tiges et les racines secondaires ou avec divers développements selon la plante. [10].

e) Tissus sécréteurs :

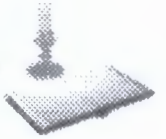
Ces tissus sont distribués de manières divers dans la plante (Certaines externes, d'autres internes) et leur niveau d'organisation est tout aussi variable : Ils forment de simple poils glandulaires des structures pluricellulaires complexes ou un système complexe de canaux. Généralement, on distingue ce qui expulse les substances produites (cellules ou tissus glandulaires) et ceux qui retiennent le matériel en question dans le protoplasme qui l'a fabriqué (cellules ou tissus sécréteurs). [10].

II-2 : Comparaison entre les racines des monocotylédones et les dicotylédones :

En peut résumer quelques cas de différenciations au tableau suivant, présentant quelques notes dont les racines des plantes de monocotylédones se diffèrent à celles des dicotylédones. [11].

Tableau I : Comparaison anatomique entre les monocotylédones et les dicotylédones.

Racines des monocotylédones :	Racines des dicotylédones :
<ul style="list-style-type: none"> * Ecorce mince. * Une assise subéreuse protectrice s'est différencier. * Absence de cuticule et poiles. * xylème large de deux ou trois couches de cellules et ceinture le cylindre central. 	<ul style="list-style-type: none"> * Ecorce large et homogène. * Assise pilifère disparaît rapidement. * Cellules parenchymateux grands et parfois sclérifiée. * Cylindre central de petite taille. * Les faisceaux de liber sont réduits à quelques vaisseaux de type clos.



III-1 : Croissance primaire : (méristème primaire) :

La plupart des plantes croissent par leur partie apicale ; c'est la **croissance primaire** ou **principale**, qui permet la croissance verticale. [1]

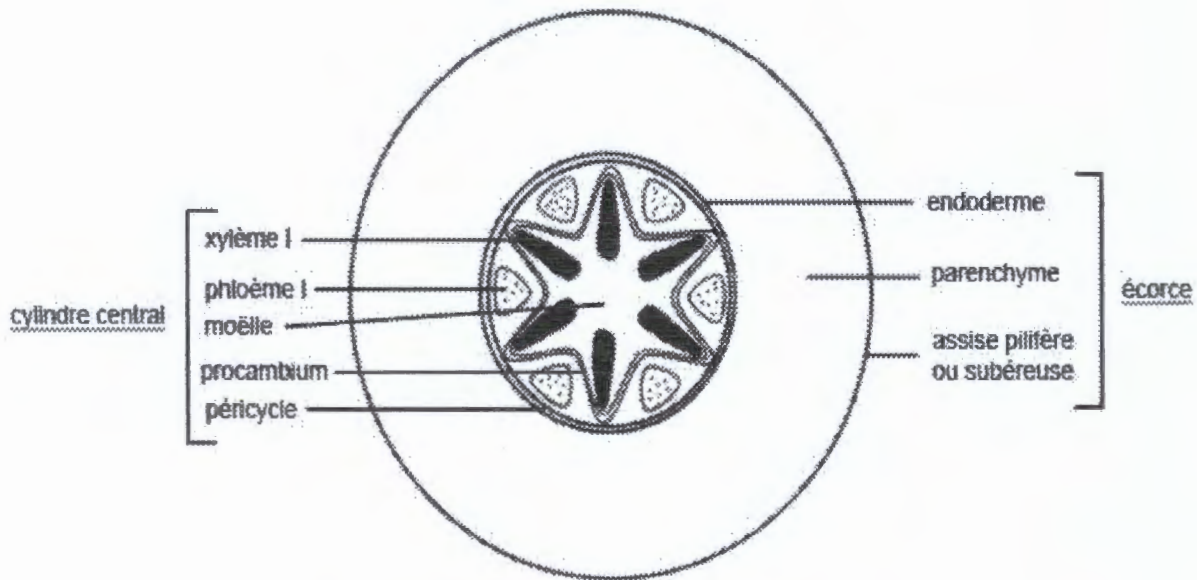
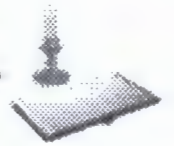


Fig.7: structure primaire d'une racine complète. [1].

III-1-1 : Formation de l'écorce :

- ✓ L'épiderme : Appelé aussi rhizoderme. il porte des poils absorbants au niveau de la zone pilifère, il protège la surface de la racine, mais offre une faible résistance au passage d'eau et de solutés.
- ✓ L'exoderme : Aussi compact de cellules qui se développent à partir de l'assise externe de l'écorce. Les parois cellulaires sont subérifiées et couvertes d'un dépôt interne de cellulose, qui peut se lignifier ensuite. Elle réduit la perte d'eau de la racine vers le sol et forme une barrière contre l'attaque de micro-organismes pathogènes.
- ✓ Un parenchyme cortical : Au cellules non chlorophylliennes, mais riche en amyloplast. Les larges méats permettent une circulation d'air dans la racine qui progresse parfois dans un sol où le dioxygène est rare. [9].



✓ Un endoderme à cadre de Caspary :

Assise la plus interne de l'écorce. Le cadre de Caspary constitue une barrière imperméable, s'opposant au transport d'eau et de solutés par les parois (voie apoplastique). L'endoderme contrôle ainsi les mouvements d'eau et de solutés entre l'écorce et le cylindre centrale. [9]

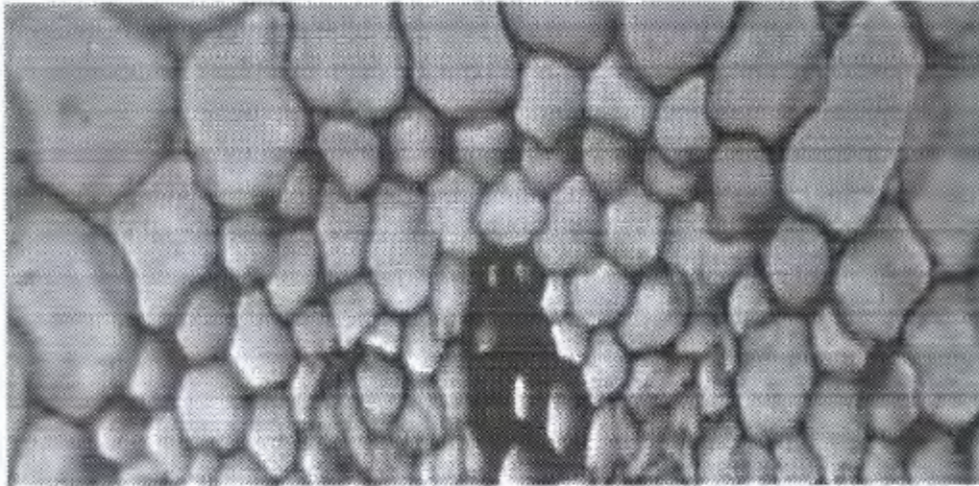


Fig. 8 : Endoderme dans une racine d'hellébore (Dicotylédones). [1].

La couleur de la lignine colorée par le vert d'iode a été forcée graphiquement. Cela permet de mettre mieux en évidence les anneaux de Caspary. [1].

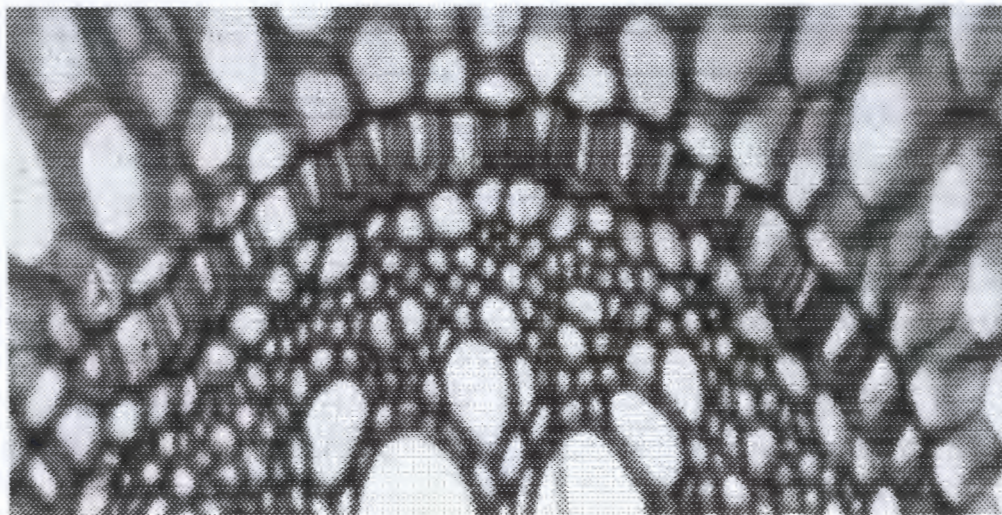
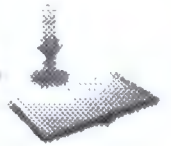


Fig.9 : Endoderme dans une racine d'iris (Monocotylédones). [1].

Les "anneaux" de Caspary lignifiés forment cette fois une cupule (fer à cheval) qui s'oppose à tout transit. Celui-ci ne peut se réaliser qu'au niveau de certaines cellules dépourvues d'épaississement lignifié. [1].



III-1-2 : Formation du cylindre centrale Ou moelle :

Il comporte :

Un péricycle : Qui est formé d'une ou plusieurs assises de cellules parenchymateuses à paroi mince. Ces cellules gardes longtemps la capacité de se diviser. Leur rôle est de former des racines latérales et les méristèmes secondaires (phloème et une portion du cambium). [9].

✓ Des tissus conducteurs primaires :

Les racines de dicotylédones possèdent de 2 à 5 faisceaux de xylème primaire alors que les racines de monocotylédones en présentent plus de 6 et souvent 12 à 20. La différenciation des tissus conducteurs se réalise dans le procambium, situé dans le cylindre central et délimité par le péricycle et l'endoderme. Dans un grand nombre d'espèces de dicotylédones des divisions supplémentaires se réalisent entre le phloème et le xylème primaire, donnent naissance à un cambium qui produira des **tissus conducteurs secondaires**.

Comparons l'anatomie de deux racines de plantes herbacées, une dicotylédone, l'hellébore (Renonculacées) et une monocotylédone, l'Iris (Iridacées). [1].

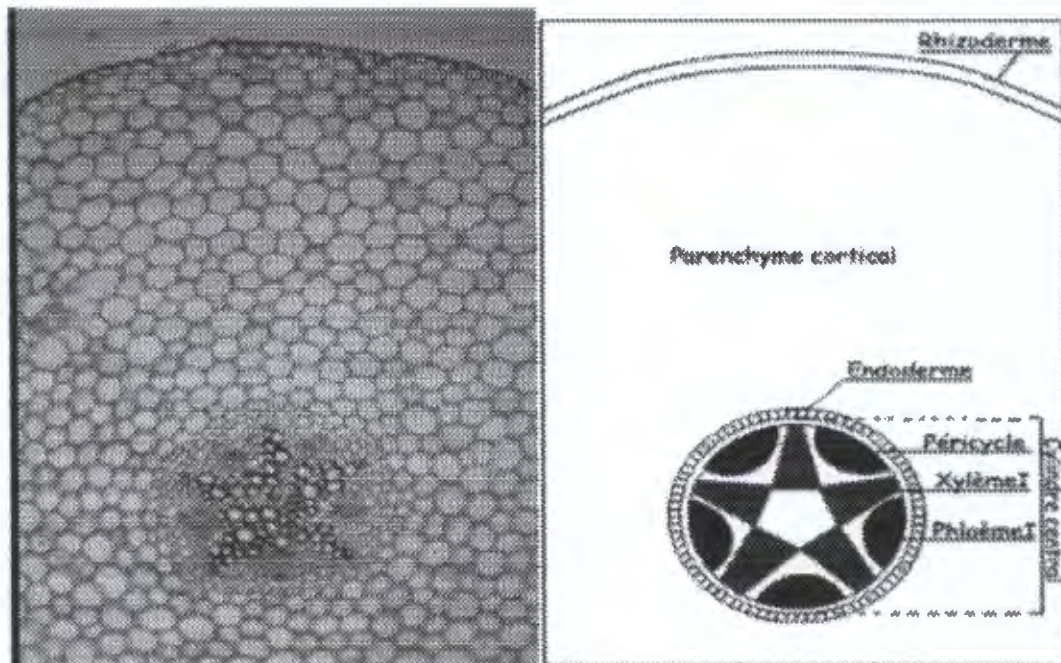


Fig.10: Structure d'une racine de dicotylédones, l'Hellébore (Renonculacées).[1]

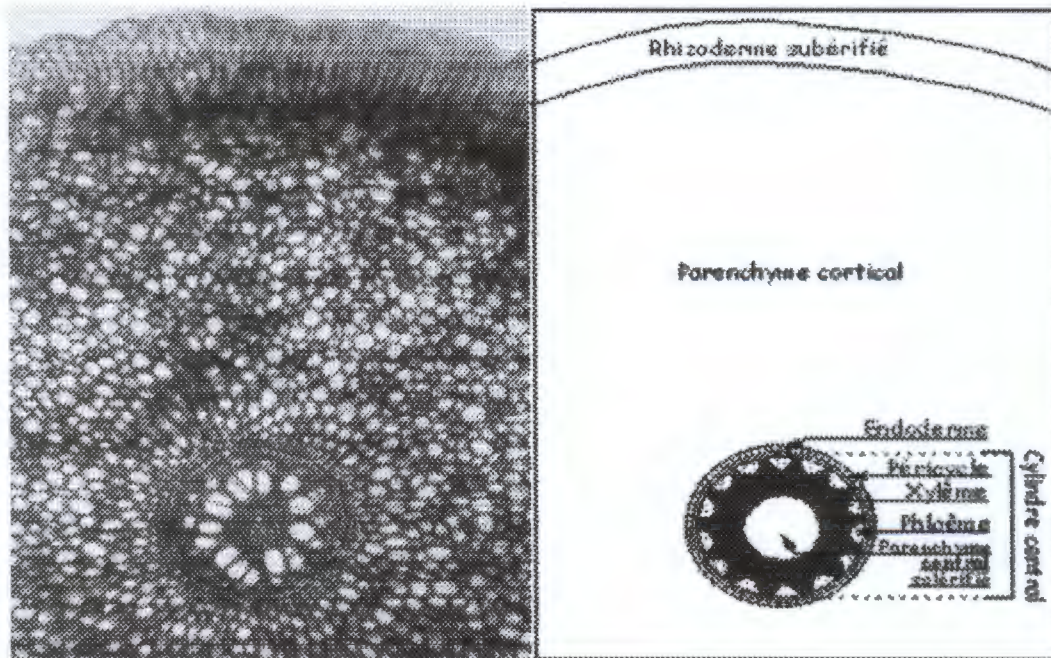
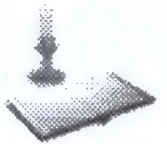


Fig. 11 : Structure d'une racine de monocotylédones, l'iris (Iridacées). [1].

Donc sur cette présentation, si l'on fait le tour du cylindre central en suivant le péricycle, on rencontre alternativement les faisceaux de phloème et de xylème (disposition alterne des tissus conducteurs) comme la figure suivante le montre :

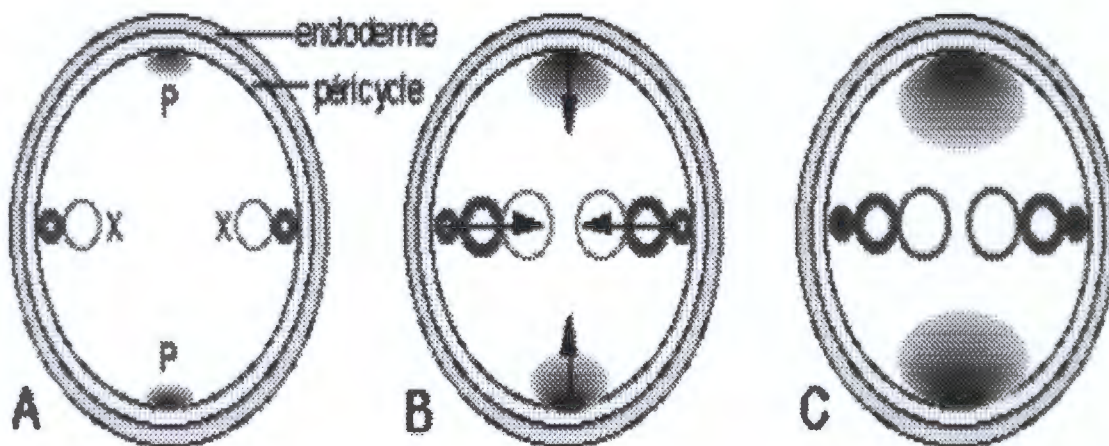
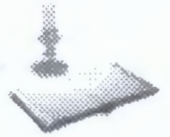


Fig. 12: Différenciation des tissus conducteurs dans une racine à deux pôles vasculaires

(X = Xylème, P = Phloème). [1].



Les racines de dicotylédones possèdent deux, trois, quatre ou cinq faisceaux de xylème primaire. Les racines de monocotylédones en possèdent en général plus de six. Il y a toujours autant de faisceaux de phloème. La différenciation des faisceaux se réalise toujours vers le centre (différenciation centripète) et les faisceaux de xylème et de phloème sont toujours disposés en alternance. [1].

Dans un grand nombre d'espèces de dicotylédones, des divisions supplémentaires se réalisent entre le phloème et le xylème primaire, donnent naissance à un cambium qui produira des tissus conducteurs secondaires. [12].

Chez les plantes vasculaires le phloème est le tissu conducteur de la sève élaborée qui est une solution riche en glucides tels que le saccharose, le sorbitol et le mannitol. Le phloème a aussi un rôle de réserve avec les parenchymes et un rôle de soutien avec les fibres libériennes. Dans les troncs des arbres, le phloème peut faire partie de l'écorce, pour cette raison son nom provient d'un dérivé du mot grec « *phylos* » qui signifie écorce. [1].

Deux origines méristématiques :

On distingue :

- Le phloème primaire issu de la différenciation du procambium.
- Le phloème secondaire (ou liber) issu de la différenciation du cambium (assise génératrice libéro-ligneuse).

Dans les racines cette formation est centripète, alors que dans les tiges elle est centrifuge c'est à dire: pour une formation centripète le phloème va se former de l'extérieur vers l'intérieur du cylindre central et inversement pour une formation centrifuge (intérieur vers extérieur). On retrouve le même type de formation pour le xylème. Plusieurs types cellulaires constituent le tissu phloémien : Des tubes criblés, cellules vivantes allongées, qui ont des parois longitudinales et transversales possédant des pores appelés cribles. Ces cellules n'ont pas de noyau mais un contenu hyaloplasmique particulier avec des protéines allongées. Le plasmalemme persiste permettant des échanges.

- Des cellules compagnes accolées aux tubes criblés.
- Des cellules parenchymateuses jouant un rôle de réserve et de sécrétion.
- Des fibres libériennes, cellules dont la paroi est épaisse et lignifiée ou cellulosique. [1].



Le mouvement de sève dans le phloème est bidirectionnel, tandis que dans les cellules de xylème, il est continu (ascendant). [1].

Le tissu xylémique (du grec *xylon*, "bois") est un ensemble comprenant le xylème, du parenchyme de réserve, des cellules associées ainsi que des rayons libéro-ligneux. Ce tissu a la capacité de transporter de grandes quantités d'eau et de nutriments depuis le sol jusqu'à l'usine photosynthétique : les feuilles.

Le xylème est composé de cellules mortes. Ainsi, les solutés n'ont pas besoin de franchir de membrane plasmique pour transiter dans la plante ce qui lui permet des gains substantiels d'énergie en évitant notamment l'utilisation de pompe ATP dépendante. Le xylème est constitué de deux parties, le métaxylème (grosses cellules) et le protoxylème (cellules de taille réduite). Seuls chez quelques végétaux, comme chez les gymnospermes, subsiste une paroi transversale dans la trachéide perforée de cribles. Ces trachéides se nomment trachéides scalariformes. Le xylème a différents stades de maturité en fonction des dépôts de lignine à la périphérie de ses parois. Ainsi, on distingue les trachéides annelées, spiralées, réticulées pour aboutir au stade le plus évolué qui est le vaisseau ponctué. Ce dépôt de lignine permet d'obtenir un tube très résistant capable de transporter la sève brute par un flux sous tension. La sève est dite ascendante, car elle monte le long du xylème.

Les fibres associées au xylème primaire restent souvent vivantes à maturité et emmagasinent diverses substances. Elles servent au soutien de la plante. [1].

✓ Un parenchyme médullaire :

Occupe parfois le centre du cylindre central, mais souvent le xylème primaire s'étend dans le centre de la racine. [9].

III-2 : Croissance secondaire : (méristème secondaire) :

Chez les végétaux ligneux, Angiospermes dicotylédones et gymnospermes, les racines âgées sont plus épaisses que les jeunes racines. Ceci résulte de la production de tissus concentriques par les méristèmes secondaires. [1].



Cette structure ne se met en place que chez les plantes pluriannuelles (mais pas chez les monocotylédones). C'est l'apparition d'un cambium continu, qui apparaît d'abord, en coupe, sous une forme étoilée, qui devient progressivement circulaire avec la croissance de la racine en épaisseur. Le cambium vasculaire (ou assise libéro-ligneuse) va créer les tissus de conduction secondaires que sont le xylème II et le phloème II. Le cambium cortical (situé vers la périphérie de la racine (ou assise subéro-phellodermique), crée quant à lui une couche externe de suber (ou liège) ainsi qu'une couche plus interne de phelloderme, toutes deux assurant la protection de la racine.

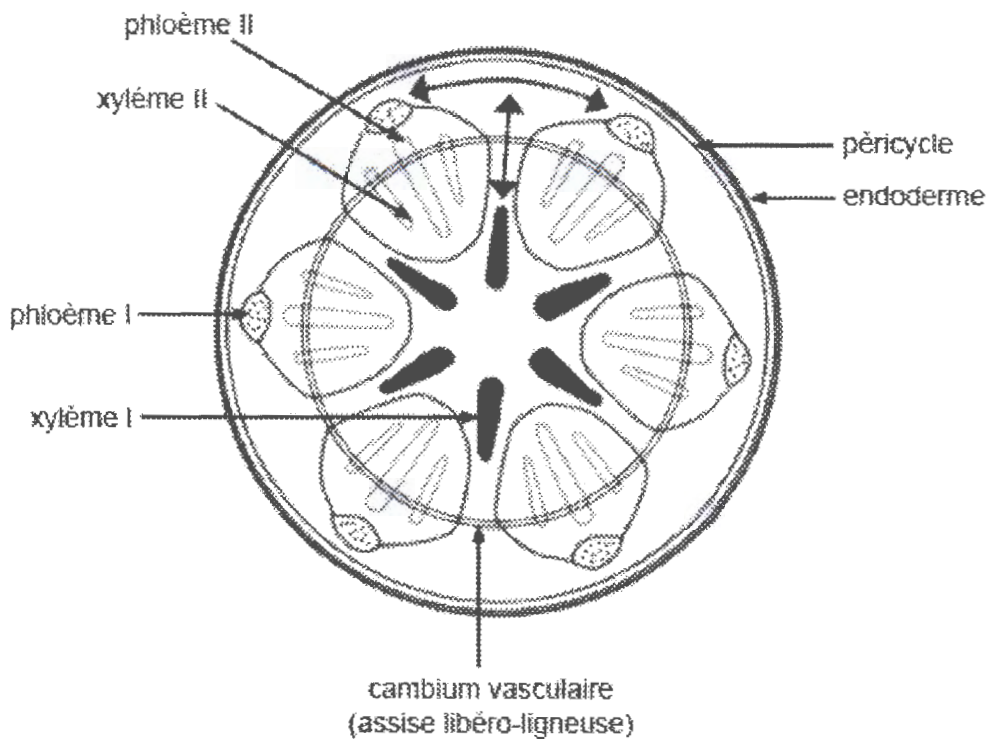


Fig. 13 : structure secondaire d'une racine complète. [1].

III-2-1 : Formation du pachyte :

Dans les portions de racines qui ont cessé de s'allonger, le cambium est initié par les divisions de cellules procambiales restées méristématiques en face des massifs de phloème primaire. Ces arcs cambiaux forment un pachyte discontinu. Peu après, le péricycle se différencie en face du protoxylème, formant des zones méristématiques qui se raccordent aux arcs cambiaux. Le cambium devient continu avec une forme étoilée. Il produit un pachyte continu et prend rapidement une forme circulaire. La croissance en épaisseur écrase le phloème primaire en périphérie. [9].



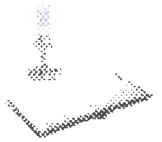
III-2-2 : Formation du périderme :

Chez les végétaux ligneux, la différenciation du péricycle produit aussi un phellogène qui forme un liège sur sa face externe puis un phelloderme (peu importante) sur sa face interne. Le périderme est donc produit en profondeur dans la racine, par conséquent, l'écorce primaire, de l'épiderme à l'endoderme inclus.

Les racines des dicotylédones ligneuses forment pachyte et périderme, celle des dicotylédones herbacées produits parfois du pachyte, mais pas de périderme. Les racines de monocotylédones ne présentent pas ces épaisissements secondaires. [9].

CHAPITRE

-IV-



IV-1 : Développement :

IV-1-1 : Notion du développement :

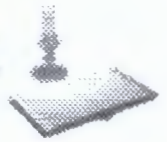
La racine représente un modèle simple pour comprendre le développement cellulaire. En effet, au niveau du méristème caulinaire, le développement de la tige feuillée se réalise dans les trois dimensions de l'espace, auxquelles il faut ajouter la dimension temporelle. Dans la racine, au contraire, le développement se réalise dans une seule dimension de l'espace. Il est ainsi possible de suivre de manière rectiligne, les étapes successives de la vie des cellules, à partir de la cellule méristématique, c'est-à-dire la division, la croissance puis la différenciation des cellules. Au niveau de l'organe, après ces étapes de différenciations primaires, se produiront dans certains cas, une nouvelle organogenèse (racines secondaires) et une croissance diamétrale due à des méristèmes secondaires. [1].

IV-1-2 : Interactions sol-racine :

Tous les organismes vivants du sol ont besoin d'eau pour la constitution de leurs cellules et pour leurs fonctionnements physiologiques, ce qui donne à l'eau un rôle écologique considérable. Les exigences diffèrent selon les organismes ; les plantes par l'absorption racinaire, sont certainement les plus grands consommatrices d'eau et les flux correspondants dus aux transferts par écoulement de la phase liquide, sont très importants. Bien que sa consommation soit plus petite que celles des plantes ; la microflore du sol a besoin d'eau fortement retenue. Les transferts d'eau entre le sol, les cellules et les mycéliums se font par diffusion moléculaire sous l'action de gradient de potentiel osmotique. [13].

a) L'eau du sol :

Chez les plantes terrestres, l'absorption de l'eau s'effectue essentiellement à partir du sol grâce aux poils absorbants, très nombreux (200 à 500 par cm^2 jusqu'à 2000 par cm^2 chez les graminées, au total souvent plus d'un milliard par plante ; 14 milliard chez le seigle). Ils ont une existence transitoire (quelques jours ou quelques semaines) et sont renouvelés au fur et à mesure de la croissance. Ils sont d'ailleurs fragiles et disparaissent dans un milieu trop concentré, trop acide ou mal oxygéné.



Les parties non subérifiées des jeunes racines absorbent également l'eau. Souvent d'ailleurs la zone apicale est entourée d'une mince couche de mucilage qu'elle a sécrété, et qui constitue une phase humide intermédiaire régulant les échanges d'eau comme elle peut être d'ions entre le sol et la racine (chez certaines espèces, notamment la plus part des arbres : conifères, hêtres, chênes). Il n'y a pas ou peu de poils absorbants, mais alors l'absorption de l'eau est facilitée par la présence autour des racines de mycorhizes, manchons feutrés par les mycéliums de champignons symbiotiques.

Les plantes aquatiques n'ont pas de poils absorbants ; les algues et autres plantes sans racines (ceratophyllum), absorbent l'eau par toute leur surface ; les végétaux avec racines (élodée) surtout par ces organes ; il y a encore migration de l'eau vers les tiges. Ainsi, bien que l'absorption par les poils absorbants soit le mode le plus fréquent, il n'est pas exclusif. Elles ne possèdent pas de mécanisme spécifique d'absorption, mais seulement présentent des caractères morphologiques particulièrement favorables aux échanges d'eau : paroi pectocellulosique très mince, vacuole volumineuse, surface considérable.

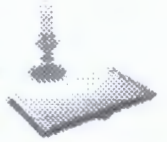
L'absorption est sous l'étroite dépendance de l'activité physiologique de la plante. La transpiration crée un appel retransmis le long de la tige et de cellule à celle grâce aux forces de cohésion de l'eau ; c'est lui qui joue pour une fleur coupée ou un rameau mis dans l'eau. Cet appel à un double effet : il exerce directement - sur l'eau des racines - une tension vers le haut, il diminue le gonflement des poils absorbants et donc la contre pression du turgescence.

Ainsi toute variation de la transpiration se répercutera-t-elle en partie sur l'absorption ?

Mais l'activité de la racine intervient aussi, comme le prouve le fait qu'une racine ne peut convenablement absorber l'eau que si elle est aérée.

Dans un sol trop lourd ou trop humide, l'asphyxie des racines gêne l'absorption, à tel point que certains arbres à système racinaire pivotant (chêne) donnent des signes de dessèchement lorsque l'extrémité de leurs dèmes dans la nappe phréatique. Les arbustes vivants dans la mangrove, des petites fleurs côtière africaines, présentent des adaptations qui leur permettant de vivre dans la vase ; racines aériennes des palétuvier, pneumatophores (ramifications verticales des racines faisant saillie au dessus du sol) des avicennia ; racines en crosse des Mitrogyna, etc. [13].

Les racines de riz reçoivent leur oxygène au travers du chaume très conducteur des gazes.



Les irrigations ne doivent pas être trop rapprochées et laisser entre elles un temps suffisant pour permettre le ressuage et l'aération du sol : un délit de 07 à 10 jours entre des irrigations d'une journée et en générale conseillée. Si l'irrigation est conduite par ruissellement à la surface du sol, celui-ci doit être nivelé et la pente régulière (de l'ordre de 1 %), pour éviter la formation de flaques. En culture en bacs (aquiculture stricte ou culture sur gravier), il est bon d'effectuer de temps à autre des siphonages qui facilitent l'aération du milieu (par exemple pendant 2^h par jour).

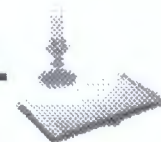
La température du sol a une influence marquée sur l'absorption, la diminution est sensible de 05 à 10 °C, et même de 15 ou 20 °C pour certaines plantes des pays chauds (cotonnier, citrouille). Ceci confirme la relation entre l'absorption de l'eau et le métabolisme. [14].

b) Mécanisme de l'absorption :

L'absorption de l'eau est un processus passif, au sens thermodynamique du terme, dû à la différence négative entre le potentiel hydrique et celui du sol. Elle est toutefois sous l'étroite dépendance du métabolisme et doit être considérée comme une véritable fonction physiologique.[13]

Le facteur énergétique de la biodisponibilité de l'eau est le potentiel hydrique de l'eau dans le sol. Pour pouvoir être absorbée, l'eau doit être mobile, donc peu ou modérément retenue. En général pour les plantes cultivées, la valeur de [-1.5 Mpas] est prise comme repère pour qualifier l'eau disponible d'un point de vue énergétique des plantes. Comme celles qui sont adaptées au climat aride sont cependant capables d'utiliser l'eau à des potentiels plus petits que cette limite. Les graines ne peuvent pas germer (ex : du Mais,), et les plantes sont soumises à un stress hydrique (elle fanent). Outre qu'il en résulte un arrêt de la croissance et du développement, il peut aussi se produire une altération irréversible des tissus. On a tous vu une plante fanée ne pas redevenir turgescente. La teneur en eau correspondant à cette limite est donc particulièrement important et sa croissance pour un rôle donné nécessite de disposer de la fonction caractéristique d'hydratation.

Il ne suffit pas que l'eau ne soit pas trop fortement retenue, il faut encore qu'elle soit accessible, c'est-à-dire qu'elle se trouve à proximité racines vivantes. Mise a part quelques situations particulières comme celle des milieux sableux, le sol a plutôt une structure hétérogène en raison de la présence d'agrégat et de motte de tailles et de compacité très diverses. Pour que la plante puisse s'alimenter correctement en eau, ses racines doivent être répartis dans le sol de la manière la plus homogène possible et elle doivent explorer le plus grand volume de sol permis par le profile pédologique.



Par ailleurs, outre ses considérations sur la position relative des racines et de l'eau, il faut aussi souligner que l'eau doit rester dans le sol suffisamment longtemps pour être transportée et absorbée. Cela conduit à envisager deux facteurs importants de l'accessibilité de l'eau : la structure de l'eau en relation avec la distribution des racines et la durée de résistance de l'eau dans le sol. [14].

➤ **Relation entre la structure, la distribution des racines et l'alimentation hydrique :**

Le développement et la croissance des racines dépendent des propriétés mécaniques du sol et notamment de sa pénétrabilité. Un sol compact possède un espace poral peu accessible et généralement peu défavorable sous l'action de la puisée racinaire. La présence dans le sol de volumes plus aux moins grand de matériaux denses et peu pénétrable gêne l'enracinement des cultures et limite leurs accès à l'eau. Elle présente des résultats obtenus avec le Mais (Zia mais) semé dans la des sols possédants des structures différentes en particulier par la proposition de grosses mottes denses de structure produite par des tassements différents du sol. [15].

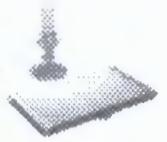
Quand le sol contiens une proportion de mottes denses, les racines n'y pénètrent pas ou très peu et ne peuvent pas accéder à l'eau qu'elles contiennent. Cela se traduit par une réaction de la plante qui réduit l'ouverture des stomates pour diminuer les pertes d'eau par transpiration. On comprend pourquoi il est important d'être attentif à la préparation du sol et à la réalisation d'un lit de semences le plus favorable possible à la foi pour la germination et pour l'enracinement ultérieur [15].

➤ **La persistance de l'eau dans le sol :**

L'eau contenue dans les pores de grandes dimensions est peu retenue par les forces capillaires et s'écoule en parties sous l'effet de la gravité. Ce constat a conduit au concept de capacité de rétention qui malgré les imperfections de sa définition est très utile. En effet, il sert à définir la quantité d'eau persistante et susceptible d'être absorbée par les plantes.

La discussion précédente conduit donc à exprimé la biodisponibilité de l'eau dans le sol comme une fonction complexe :

Biodisponibilité = Fonction de : Mobilité, accessibilité, persistance de l'eau. [15].



c) Mécanisme du transfert dans le sol et dans les racines :

Le transfert du sol vers la racine se fait en deux étapes :

- Le transport dans le sol jusqu'à la paroi racinaire :

Le flux de l'eau dans le sol vers la racine dépend du gradient de potentiel hydrique et de la conductivité hydraulique du milieu. Dans une direction O_x , le transport monodimensionnel s'écrit d'après la loi de Dray-Buchingham :

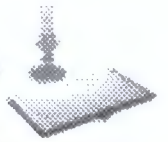
$$J = -K(\theta) \frac{\partial \Psi_T}{\partial X} .$$

$K(\theta)$ est la conductivité hydraulique, fonction de la teneur volumique en eau, θ et Ψ_T le potentiel hydrique total. A l'exception de certaines situation comme les sols salés, la principale composante du potentiel total est le potentiel matriciel.

L'équation précédente montre que, concernant le sol, l'absorption de l'eau dépend du gradient du potentiel et donc du potentiel hydrique et principalement du potentiel matriciel. L'absorption d'eau diminue quand le potentiel matriciel diminue. Cette diminution est d'autant plus marquée que la vitesse de transpiration est grande.

- Le franchissement de cette paroi : la pénétration de l'eau dans la racine ; se fait par les cellules de l'épiderme racinaire et elle a lieu principalement entre la zone de croissance qui ne possède pas de tissus vasculaires et la zone de subérisation où la membrane des cellules est imperméable. [16].

d) Gravitropisme : Les racines manifestent en général un géotropisme positif : quelque soit leur position initiales, elle oriente leur croissances vers le centre de la terre. Ce phénomène a été étudié depuis longtemps mais le mécanisme qui préside à cette réaction commence tout juste à être connu. Une racine placée en position horizontale de gravistimulation, s'allonge en se courbant vers le bas. Cette courbe est le résultat d'une croissance asymétrique des deux faces de la zone d'élongation : la face supérieur s'accroît plus rapidement que la face inférieur. Par ailleurs la gravistimulation provoque une augmentation de la division mitotique pour l'ensemble du méristème ce qui traduit une prolifération cellulaire plus intense après gravistimulation. [17].



IV-1-3-Les principaux facteurs (physico-chimiques) influents le développement du système racinaire :

Différents facteurs influent le développement de la racine d'une plante, selon le milieu, les composés chimiques trouvés dans se milieu.

a) facteurs physiques :

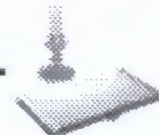
◆ la résistance mécanique des sols a la pénétration et les vois de circulations préférentielles pour la progression des dépendent de différentes caractéristiques du sol dont les principales sont la texture, la porosité, la structure et la stabilité structurale, mais aussi l'humidité du sol variable dans le temps et l'espace. [18].

◆ La texture du sol influence l'enracinement des plantes. Des observations sur le blé ont permis de constater que l'influence de la texture ne s'exerce pas seulement sur l'élongation des racines, mais également sur la rhizogénèse ; C'est-à-dire l'émission des racines secondaires dont le nombre est cinq fois plus important dans le sol sableux que dans le sol argileux ; pour la texture limoneuse, l'enracinement est intermédiaire, il se rapproche toutefois d'avantage de celui qui est observé dans le sable.

La texture modifier également la morphologie des racines, notamment au niveau des poiles absorbants est beaucoup plus importants que dans l'argiles et dans le limon.

◆ La porosité : les différences d'élongations dues à la porosité revient à deux propriétés qui en découlent : la résistance mécanique à la pénétration et l'aération du milieu dont le graduellement de longueur est inversement avec la porosité. Par contre la différence de résistance mécanique conduite à un écart nettement plus important aux longueurs des racines. La longueur des racines augmentait avec le taux de l'humidité, du fait de l'action de cette dernière sur la résistance mécanique du sol.

◆ La structure du sol : l'enracinement dans un sol argileux très bien structuré en agrégat de petite taille, peut avoir un développement similaire à celui d'un sol sableux. De même l'influence de la résistance mécanique à la pénétration peut être modifié par la structure du sol. D'une manière générale dans les sols continus, les racines sont peu nombreuses, droites et présentent des aspects filiformes. Au contraire a structure construite, elles sont sinueuses, ramifiées et garnies de nombreux poils absorbants. [18].



b) Facteurs chimiques :

- ◆ les éléments minéraux (fertilisation) :

La distribution des racines dans un sol peut être modifiée en fonction de l'emplacement des éléments minéraux. Ainsi, en ce qui concerne l'azote, une augmentation de la densité racinaire est observée dans la zone où la concentration de nitrate est plus élevée. [18].

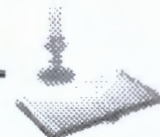
Un effet similaire à l'azote est noté avec des applications localisées de phosphore. La longueur totale des racines latérales et le poids racinaire sont supérieurs dans la zone d'application de cet élément minéral. (Tableau.I). [19].

Tableau -II- Effet de l'application localisée du phosphore sur la longueur totale des racines latérales et sur le poids sec racinaire.

Zone racinaire ^a	Longueur totale des racines latérales (cm)	Poids sec (mg)
A (basale)	14.3	3.5
B (médiane)	332.0	37.8
C (supérieur)	11.1	4.9

a : L'application du phosphore a été fait dans la zone médiane. [19].

Il est important de remarquer que la fertilisation localisée engendre, dans la zone d'application, une augmentation de la densité racinaire reliée à un développement beaucoup plus abondant des racines latérales mais non à un allongement des axes racinaires principaux. C'est dans le cas de carence minérale, qu'une augmentation de l'allongement de l'axe racinaire principale mais un retard de la formation des racines latérale est observé.

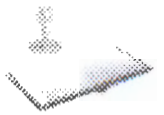


Ainsi, lors de carence en azote et en phosphore, une augmentation de la ratio Racine/Tige est observée étant donné que l'expansion du système racinaire se fait au détriment du développement des parties aériennes. Cette augmentation de l'allongement des racines est une adaptation visant une meilleure exploration du sol en quête d'éléments minéraux. Noté que dans les situations de carence minérale, les racines ont un diamètre plus petit ce qui implique la présence de racine plus fine. [19].

Tableau -III- Effet d'une carence en phosphore sur la croissance de la tige et des racines. [19].

Jours sans phosphore:	Pois sec de la tige: g / pot	Longueur des racines: m /pot	Pois sec des racines : g / pot
1	2.10	4.64	0.27
2	2.34	5.75	0.34
4	1.93	7.57	0.40
6	1.65	9.08	0.43

En présence d'une carence minérale, un second mécanisme d'adaptation visant à augmenter la surface du système racinaire pour favoriser une meilleure absorption, consiste en la formation et en l'élongation accrue des poils absorbants. [19].



◆ pH :

Le pH du sol influe le développement des racines. Un pH acide est un facteur restreignant la progression des racines dans le sol. En sol minéral acide, la toxicité en aluminium peut être un facteur qui limite la croissance racinaire. Les signes de telle toxicité se traduit par es racines fortement trapues étant donné une inhibition sévère de l'allongement de l'axe racinaire principal et des racines latérales.

En présence d'un pH élevé une conséquence connue est une toxicité due à l'ammoniac laquelle se traduit par une inhibition du développement racinaire. [19].

◆ Aération :

Le manque d'aération dans le sol restreint la croissance des racines. L'effet d'une diminution d'oxygène dans un sol peut être démontré en saturant d'eau un sol normalement aéré. Sous de telles conditions asphyxiantes, la croissance racinaire est immédiatement inhibée et la détérioration des racines existantes est notes est notée en quelques jours.

Il a également été montré que dans les conditions de culture en hydroponie, un manque d'oxygène dans la solution nutritive diminue le developement des racines. [19].

◆ Composés phytotoxiques :

Le développement des racines peut être affecté par la fraction soluble de la matière organique d'un sol. Ainsi sous des conditions caractérisées par un manque d'oxygénation et une saturation en eau, certains composés comme des acides phénoliques et des acides gras à courtes chaînes peuvent s'accumuler lors de la décomposition de composants organiques.(Exemple : paille, engrais verts). Les effets inhibiteurs de la décomposition de certains matières organiques (ex : paille d'avoine) sur la croissance des racines ne sont pas causés seulement par une concentration élevée des composés phytotoxiques puisqu'il y a une interaction avec la pH du milieu. [19].

◆ Blessures mécaniques :

Dans un sol compact le nombre de pores suffisant pour permettre la progression des racines se voit grandement réduit. Afin d'assurer leur expansion dans se type de sol, les racines doivent déplacer des particules de sol, ce qui devient un facteur grandement limitant à leur croissance.



Les blessures mécaniques peuvent se reproduire en sol compact et se traduiront par une inhibition de l'allongement de l'axe racinaire principal et un développement accru des racines latérales. Cette modification de la morphologie ne diminue pas nécessairement la surface racinaire, alors il est possible que l'eau et les éléments minéraux ne soit pas affecter dans la mesure où ceux-ci sont présents en quantités suffisantes dans la zone racinaire restreinte. [19].

◆ Régie de l'eau :

Le développement du système racinaire dans le sol est en étroite relation avec le contenu en eau. Dans les sols secs, la diminution de l'expansion du système racinaire est associée à une augmentation des blessures mécaniques, à une perte de contact entre les particules de sol et les racines ainsi qu'à une diminution du potentiel hydrique du sol. Dans les conditions de sol saturé en eau, les effets délétères sur le système racinaire sont associés à une diminution de l'aération du sol et une accumulation de composés phytotoxiques. [19].

◆ Température :

D'une façon générale, la température optimale pour le développement racinaire se situe entre 20 et 25 °C. Comme nous pouvons le constater, le développement du système racinaire est grandement influencé par un ensemble de facteurs abiotiques (facteurs climatiques et pratiques culturales). Un système racinaire bien développé ayant un renouvellement continu de racines (proportion élevée de jeunes racines) favorise une absorption adéquate de l'eau et des éléments minéraux ce qui est particulièrement bénéfique dans les sols pauvres. Dans les situations où les apports en eau et en fertilisants sont réguliers, seulement 10 à 20 % du système racinaire peuvent être requis par la croissance de la plante.

Outre les facteurs abiotiques, le système racinaire peut être confronté à la présence d'organismes pathogènes dans le milieu de culture lesquels peuvent influer sur l'expansion des racines ainsi que sur leurs apparences. Cependant, ces organismes pathogènes sont également sous la dépendance des mêmes facteurs abiotiques gérant le développement des racines.

Il s'établit donc une interaction impliquant la plante hôte, les organismes pathogènes et les facteurs abiotiques. [19].



IV-2 : Diversité :

Outre les racines pivotantes et les racines fasciculées, le système racinaire comme exemple des spermatophytes, qu'il soit adventif ou non, est assez varié, en particulier chez les angiospermes. Nous présentons quelques exemples de ce polymorphisme, la variation intéresse toutes les racines d'un individu ou seulement certaines.[20].

IV-2-1- Racines ayants des réactions avec le sol :

a) Les racines contreforts : Se sont des racines adventives transformées pour étayer le tronc ou les branches de certains arbres à enracinement superficiel.

Elles sont toujours aplaties, le ruban que chacune constitue étant perpendiculaire au sol et s'étendant souvent plus de dix mètres autour de l'arbre. En augmentant le polygone de sustentation du sujet et en remontant à la base du tronc, ces racines consolident l'individu. Elle caractérisent bon nombres d'espèces arborescentes équatoriales ou tropicales donc comme exemple on à : pandanus, certains ficus, fromager.[20].

b) Les racines échasses et les racines piliers : Contrairement au premier ; ce sont des racines adventives, jouant un rôle dans le maintiens de support, en étayant le tronc (racines échasses), ou en assurant le maintiens de branches latérales (racines piliers). Dans le premier cas, citons les pandanus (pandanacées), ainsi que les palétuviers, rizophoracées de la mangrove, mais aussi le maïs dont la chaume est maintenu par plusieurs couronnes de racines échasses. Dont le seconde, on retrouve encore des ficus.[20].

c) Les racines Lianes ou racines étrangleuses : Les banyans typiques à ce sujet. Les graines de ces *Ficus* germent sur les feuilles de diverses espèces arborescentes. Leurs racines aériennes descendent le long du tronc (ou du stipe) de leurs supports, s'anastomosant en un réseau de plus en plus dense sous lequel l'arbre fini par mourir. Des branches de ces *Ficus* se détachants d'autres racines qui rejoignent le sol. Ces piliers soutiennent le banyan qui peut être colossal (jusqu'à 500 mètres de périmètre). Ces énormes *Ficus* sont de faux arbres, car sont tronc véritable plein, mais au «tronc» plus ou moins ajouré en fonction du nombre des anastomoses entre racines étrangleuses.



IV-2-2- Racines spécialisées de petites tailles :

Ce sont principalement des racines adventives : *Crampons* du lierre (Araliacées), épines des *Macaranga* (Euphorbiacées), vrilles de lianes, comme des *struthanthus* (Loranthacées), ou de plantes aquatiques (Zannichelliacées), racines ventouses du vanillier (Orchidacées).

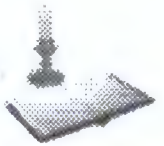
Enfin il faut mentionner aussi les racines tractrices, autres racines adventives. Le plateau d'un jeune bulbe de *crocus sativus* (Iridacées) en formation porte des racines de fort diamètre et redit transversalement.[20].

a) Les racines tubéreuses : La racine principale (panais, forme courte/ombellifères) et les racines adventives (Ficaire/Renonculacées, Dahlia/Composées) peuvent constituer les tubercules gorgés de réserves. En fait, les tubercules sont souvent *mixtes* car formés de la racine et de l'hypocotyle. (Betterave à sucre/Chénopodiacées et panais forme longue). La base de la tige s'associe à ces deux organes chez le céleri-rave (Ombellifères).[20].

Dans les racines tubérisées, ce sont ordinairement les tissus secondaires qui se dilate en parenchyme accumulant des réserves ; et suivant les espèces cette dilatation atteint l'un ou l'autre des tissus. [21].

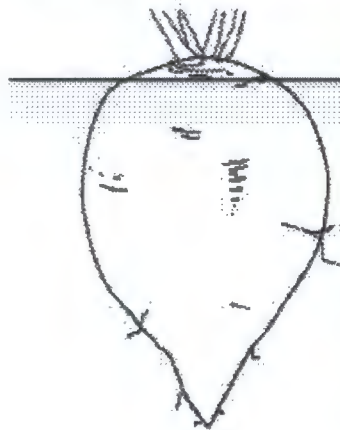
b) Les pneumatophores : des arbres de marais, littoraux ou non (mangroves ou marécage d'eau douce), ayant à subir les conditions asphyxiques du sol, produisent de longues racines spongieuses, très faiblement enterrées, sur lesquelles apparaissent des pneumatophores sortants de la vase et contribuant à l'absorption d'air qui remplira des lacunes aérifères (du grec : pneuma, atos = air et phoros = qui porte). De formes variées, ils sont portés par des arbres des mangroves comme les *Avicennia* (Verbénacées), les *Sonneratia* (Sonneratiacées), les *Bruguiera* (Rhizophoracées), des palmiers de marécages d'eau douce (*Raphia*) et par un conifère, le cyprès chauve des marécages de Floride et de Louisiane, qui doit son nom au fait qu'il perd tous ses rameaux à courtes feuilles à la mauvaise saison.[20].

c) Les racines suçoirs : seules les spermaphytes comprennent des espèces parasites rencontrées presque uniquement parmi les angiospermes dicotylédones. Si les rapports entre le parasite et son hôte ne s'établissent pas forcément par l'intermédiaire de racines, celles-ci peuvent jouer le rôle de suçoir dans certains cas. On observe tous les degrés de transformation de tous d'une parties du système racinaire en plusieurs suçoirs, ou même en un suçoir unique chez les Loranthacées, par exemple. Cette famille de 1500 espèces principalement intertropicales est représentée en France par le Gui (*viscus album*) se développant sur un grand nombre d'espèces arborescentes et *L'Arceuthobium oxycedri* des genévriers.[20]



Les racines échasses

Les pneumatophores



Les racines tubéreuses

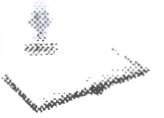


Les racines suçoirs

Fig. 14 : Quelques exemples des racines en diversité morphologiques. [1].

d) Autres types de racines spécialisées :

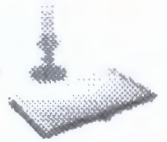
- racine pivot : chez certaines plantes, une partie des racines s'enfoncent verticalement, assurant la stabilité de la plante.
- racines adventives : ce sont des racines qui apparaissent le long d'une tige, spécialement dans les entre-nœuds.
- racines-crampons : sorte de racines adventives qui permettent à la plante de s'accrocher à son support (lierre).
- racines aériennes : développées par les plantes épiphytes pour absorber l'humidité atmosphérique.



- racines internes : ce sont des racines adventives qui peuvent se développer à l'intérieur du tronc creux d'un arbre vivant, qui vont prélever l'humus produit là par des organismes saproxylophages (si cet humus est assez humide). L'arbre peut alors paradoxalement croître vers son centre et restaurer une écorce interne. A ne pas confondre avec certains champignons qui peuvent tapisser les cavités du bois et qui ont une forme rappelant celle des racines.
- racines succulentes : adaptées au stockage de l'eau.
- racines-échasses : ce sont des racines arquées ancrées dans la vase, adaptées aux passages des marées, typiques de la mangrove (exemple emblématique : le Palétuvier). D'autres espèces tropicales poussent sur des échasses, parfois garnies d'épines, hors de zones inondées, pour des raisons évolutives non élucidées.
- racines contreforts : ce sont des racines adventives transformées pour étayer le tronc ou les branches de certains arbres à enracinement superficiel (exemple : pandanus, certains ficus, fromager). [1]

CHAPITRE

-V-



V-1-Notion de l'adaptation :

D'un point de vue écologique et physiologique le terme d'adaptation fait intervenir la notion de survie et propagation de l'espèce dans les conditions défavorables.

Elle se rapporte à des modifications de structure ou de fonctions hérissables, qui augmente l'adéquation de l'organisme dans l'environnement stressant. [16].

De point de vue organique, le degré d'adaptabilité de la plante influence directement la productivité. Et de manière générale elle désigne l'ensemble des mécanismes phénologiques, morphologiques et physiologiques que la plante met en jeu pour poursuivre et finir son cycle de production. [12].

V-2-Types d'adaptations :

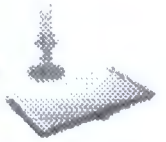
Le milieu modifie directement la morphologie et la structure des racines ; surtout les facteurs climatiques où on cite à titre d'exemple :

- **L'humidité.**
- **l'oxygène.**
- **la température.**
- **Et des sucres envoyés par les feuilles.**

Il est important de noter que le tiers des racines (en haut) des plantes est adapté à l'air, et les deux tiers en bas à l'eau. Ainsi on doit prendre garde à ne pas laisser trop humide. Certaines racines pivotantes deviennent fasciculées.[21].

les poils absorbants diminuent ou même disparaissent. D'une autre côté il y a des changements contre la sécheresse dans un milieu désertique, par exemple il y a :

- * Des racines verticales : Epine de chameau.
- * Des racines horizontales : Cactus.
- * Des racines à deux réseaux : Artemisia. [22].



Les racines sont adaptées à l'air ou alors la plante risquerait de se noyer puis mourir. Les deux tiers restants des racines peuvent être laissés constamment humides pourvu que l'eau soit suffisamment oxygénée. En effet, une eau stagnante risquerait de tuer rapidement la plante. Des racines blanches sont synonymes de bonne santé de la plante. Si elles deviennent brunes (particulièrement aux extrémités), ceci signifie que les racines commencent à s'infecter le plus souvent à cause d'un manque d'oxygène. Il faut remarquer également que les extrémités des racines (ou radicelles) absorbent la majorité de l'eau et des éléments nutritifs. Cependant, ces radicelles meurent très rapidement et nécessitent par conséquent un renouvellement permanent (lié à une oxygénation accrue des racines) si l'on veut conserver une croissance optimale de la plante. Enfin, une plante peut fonctionner correctement avec ses racines exposées à la lumière à partir du moment où les racines ne se dessèchent pas. [22].

La réduction ou la suppression du système racinaire s'observe chez diverses plantes épiphytes croissant dans les forêts chaudes du globe : Aroïdées (*Monstera*). Cactées (*Cereus*, *Epiphyllum*, *Phyllocactus*, *Rhipsalis*.....).

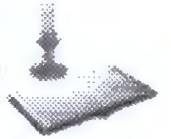
Ces Végétaux, sans communication avec le sol, vivent de l'humidité atmosphérique et de l'humus accumulé dans les fissures des écorces ou les bifurcations des branches. [23].

V-3 : Les racines et la symbiose :

La symbiose est une relation d'interactions réciproques entre deux individus. Cette symbiose se réalise ou s'effectue par l'existence de :

✿ **Mycorhizes** : Sont des associations symbiotiques contractées par les racines des végétaux avec certains champignons.

Elles favorisent l'absorption par les racines des éléments minéraux et améliorent ainsi la nutrition de la plupart des espèces végétales. Cependant, si la symbiose mycorhizienne est caractérisée par un flux d'éléments minéraux dans le sens champignon-arbre, il ne faut pas oublier qu'elle est également définie par l'approvisionnement, par la plante-hôte, de composés carbonés au champignon (saccharose, glucose et fructose). Ce dernier étant incapable d'assurer la photosynthèse du carbone [24].



comme la figure suivante le montre :

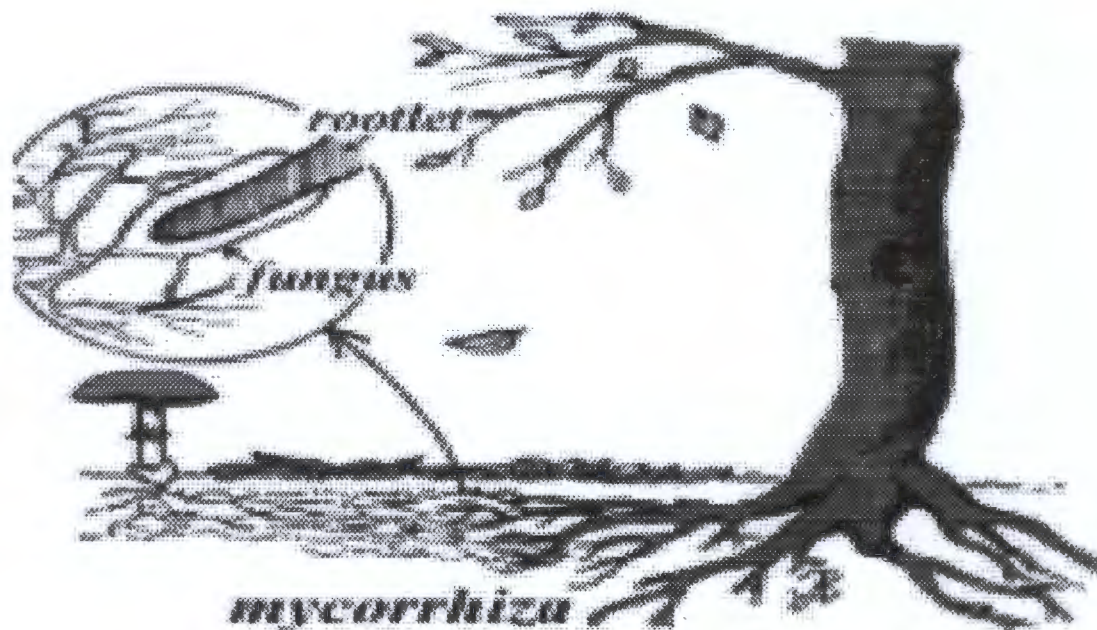


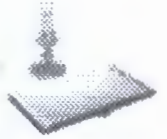
Fig. 15 : Symbiose de type mycorhize. [24].

On estime que plus de 95% des plantes à fleurs sont mycorhizées. L'origine des mycorhizes est très ancienne puisque leur présence est attestée dès le Silurien chez les Rhynia. [25].

On distingue plusieurs types de mycorhize:

➤ Les endomycorhizes :

Caractérisées par l'absence de manteau fongique autour de la racine, elles concernent essentiellement les plantes herbacées et quelques ligneuses (ex : Peupliers). Il s'agit de champignons inférieurs. Le mycélium pénètre les cellules racinaires et développe des arbuscules ou des vésicules. Il s'agit de champignons inférieurs. (famille des Zygomycètes). [25].



➤ Les ectomycorhizes :

Caractérisées par la présence d'un manteau fongique autour de la racine, elles concernent des espèces ligneuses (Myrtacées, Pinacées, Abiétacées, Fagacées, Tiliacées, Ulmacées, Salicacées), c'est-à-dire les espèces dominantes de nos forêts. Les champignons sont des ascomycètes (ex : truffes) et basidiomycètes (exemple : agarics, amanites, chanterelles, cortinaires). Le mycélium se développe entre les cellules du cortex racinaire, mais ne pénètre pas dans les cellules vivantes, formant ainsi " le réseau intercellulaire de Hartig ".

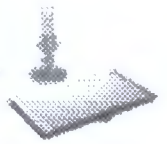
➤ Les ectendomycorhizes :

Associations intermédiaires entre les deux précédentes : un manteau externe avec des hyphes mycéliennes qui pénètrent à l'intérieur des cellules racinaire. Elles concernent les Ericacées et les Pyrolacées. [25].

✦ **Les nodosités des légumineuses** : excroissances racinaires, dont les cellules sont envahies par des *Rhizobium* (Bactéries).



Fig. 16 : l'apparition des nodules sur les racines de l'haricot. [26].

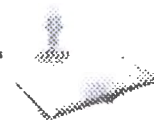


✿ **Racines coralloïdes de Cycadales** : ces racines, au lieu de s'enfoncer progressivement, croissent en direction opposée. Parvenues à quelques centimètres de la surface du sol, elles s'hypertrophient, deviennent noduleuses et en partie aérienne. Courtes et abondamment ramifiées, elles constituent des amas serrés pouvant atteindre de dix centimètres de longueurs et ressemble à des colonies de polypiers, d'où leurs nom. Une Cyanophycée l'*Anabaena cycadeae* est localisée, au niveau d'une couche de cellules corticales hypertrophiées, dans des espaces intercellulaires dilatés. [26].

V-4-Importance de la racine :

- **Ecologique** : on écologie, les racines jouent un rôle très important surtout concernant le sol par la fixation des compartiments de sol, c'est-à-dire une protection contre l'érosion de l'eau. Aussi par l'alimentation avec les éléments minéraux comme : (NO_2 , NO_3^- , NH_4^+ , ...), et le phénomène de nitrification et dénitrification grâce aux nodosités chez quelques types de plantes, et la fertilisation en transformant des racines en matières organique (Humification). par l'aération grâce au pore et espaces libres que les racines formes, ... etc.
- **Thérapeutique** : Les racines sont utilisées en plusieurs domaines dont le domaine sanitaire. On site à titre d'exemple : l'utilisation au traitement des maladies digestive, de la peau, stimulants de l'appétit, les maladies pneumatologiques, maladies antirhumatismales, maladies de la tension grâce a l'effet duretiques, l'insomnie légère. Voici quelques exemples :
 - ✓ *Angelica archangelica* : famille des Apiacées, la racine est utilisée dans les digestions difficiles, elles ont une odeur caractéristique.
 - ✓ *Articum lappa* : famille des Astéracées, utilisée dans le traitement de la peau grasse.
 - ✓ *Gentiana lutea* : famille des Gentianacée, les organes souterrains sont des stimulants de l'appétit.
 - ✓ *Althea officinalis* : famille des Malvacée, la racine est un calmant de la toux.
 - ✓ *Taraxacum officinal* : famille des Astéracée, la racine est duretique, favorise l'élimination passive de l'eau. (Antihypertension).
 - ✓ *Valeriana officinalis* : famille des Valérianacée, la racine est utilisée dans le traitement des insomnies légères. [6].

CONCLUSION:



Longtemps, la botanique considérée comme une science fondamentale, est apparue progressivement comme une science descriptive, axée sur la systématique et les inventaires, une science de conservation plus que de découverte.

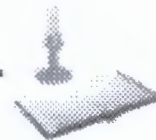
Les grands plans d'organisations de l'appareil végétatif ; suivant les axes apico-basale et radiales, sont établis très précocement, comme le montre l'étude du mutant. La fixation, dès l'embryogenèse ; des futures territoires de la plante est corrélée à l'existence d'une paroi cellulaire interdisant toute migration. Après la germination, la plante se constitue peu à peu à partir des méristèmes, mis en place à la fin de l'embryogenèse. A un pôle, le système racinaire se développe à partir des nombreuses ramifications de la racine primaire. Ce réseau ancre la plante dans le sol, assure l'apport de sève brute et le stockage des réserves. Ces phénomènes sont très importants pour le développement et la croissance de la plante. A l'autre pôle, la tige feuillée révèle une organisation modulaire. La diversité morphologique des racines permettant une meilleure adaptation aux contraintes environnementales. [27].

L'étude du méristème racinaire a permis de dégager les caractéristiques de base des méristèmes primaires : identification au cours de l'embryogenèse, cellules souches, cellules initiales, filiations cellulaires et importance de l'information de position.

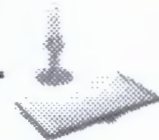
ANALYSE

BIBLIOGRAPHIQUE





- [1] : Wikimedia Fondation, Structure et croissance de la racine [en ligne], Disponible sur : < [www.fr.wikipedia.org/wiki/Racine_\(botanique\).com](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Racine_(botanique).com) > ,06/04/2008.
- [2] : Gone B.,(1859). Les racines. In : Les végétaux. Editions des sciences et techniques de Chine. PP : 28-42.
- [3] : Boubendir N et Benlacfer A.,(2006). Distinction du nombres et distribution des racines de : (*Triticum durum desf*, *Triticum aestivum.L* et *Hordum vulgare.*) dans le sol. Biologie et physiologie végétale. Université de Constantine. Np : 51.
- [4] : Hassan K.,(1980). La Racine. In : Les Plantes médicinales. Dar Elkiteb Elilmia.Bairout.PP : 7-15. ISBN : 2-7451-0060-2.
- [5] : Vimont Mathieu, Biologie végétale [en ligne], Disponible sur : < [www. Racine\Infoforets - La racine. com](http://www.Racine\Infoforets - La racine. com) >.05/04/2008.
- [6] : François L.,(1997). Plantes [CD Room]. Paris. Faculté de pharmacie de chantenay Malabry.
- [7] : Riahi S et Adjal S.,(2006). Etude des racines des végétaux. Biologie et physiologie végétale. Université Ferhat Abbas –setif-. Np : 16.
- [8] : Wilhem N.,(1998). La racine. In : Botanique générale. Boeck université. Belgique. PP : 247-258. ISBN : 2-7444-0022-4.
- [9] : Mayer S, Reeb C, Ros D R.,(2004). Le développement et les plans d'organisation des végétaux. In : Botanique. Edition maloine. Paris. PP : 66-72. ISBN : 2-224-02767-2.
- [10] : Anna S et Gian L C.,(2005). Histologie. In : Atlas de la structure des plantes. Edition Berlin. France. PP : 41-112. ISBN : 2-7011-3868-X.
- [11] : Jacque, Z.,(1998). La racine. In : Initiation à la biologie végétale. Ellipse. Paris. PP : 110-120. ISBN : 2-7298-6770-8.
- [12] : René H.,(1998). La racine. In : Physiologie végétale. Dunod. Paris. ISBN : 2-1487108.
- [13] : Raoul C.,(2003). La fonction milieu biologique des sols. In : Le sol. Propriétés et fonctions. Edition France agricoles. Paris. PP : 200-254. ISBN : 2-85557-084-0.
- [14] : René H.,(1998). L'absorption de l'eau. In : Physiologie végétale. Masson. Paris. PP : 40-53. ISBN : 2-10-003991-1.
- [15] : Jean C.,(2006). Le développement poste embryonnaire chez les végétaux. In : Biologie des organismes 3. Ellipse édition Marketing. Paris. PP : 224-228. ISBN : 2-7298-1941-X.
- [16] : William G.,(2003). La racine. In : Physiologie végétale. Edition de Boeck Université. Espagne. ISBN : 2-7445-0089-5.
- [17] : Jean V.,(2001). La racine. In : Structure et développement de la plante. Dunod. Paris. PP : 31-45. ISBN : 2-10-004239-4.



- [18] : Callot G.,(1982). Fonctionnement du système racinaire. In : Les interactions Sol- racine. Inna. Paris. PP : 193-219. ISBN : 2-85340-456-0.
- [19] : Michel Lacroix, Système racinaire de la tomate de serre, champignons phytopathogènes et environnement [en ligne], Disponible sur :
<www.lorvert-paris.com/main.php%C3%82%80CATALOGUE.com> .06/04/2008.
- [20] : Robert G et Brunod F.,(2005). La racine. In : Biologie Végétale. Dunod. Paris. PP : 57-67. ISBN : 2-22583142-4.
- [21] : Paul Ozenda,(1990). Lapareil végétatif des angiospermes. In : Biologie végétale. Masson. Paris. PP : 342-344. ISBN : 2-10-004684-5.
- [22] : Hammiche V.,(1995). La racine. In : Morphologie et systématique botanique. Office des publications Universitaires-Ben aknounge- Alger. PP : 3-7. ISBN : 9961-0-0091-9.
- [23] : Roven P H , Evert , Eichlon. Croissance de la racine. In : Biologie végétale. De Boeck. Paris. ISBN : 978-2-8041-5620-4.
- [24] : Nadia Dechamplain. Les mycorhizes [en ligne]. Disponible sur :
< www.Historique de la racine.fr >.07/05/2008.
- [25] : Office National des forêts. Les champignons [en ligne], Disponible sur :
<www.Racine\champignons\ONF - Les Champignons.com>. 06/04/2008.
- [26] : Lamari R et Bourbouche Ch.,(2005). Effets d'un herbicide de présemis (le Norflurazone) sur la morphologie la biochimie, la microflore de sol et la nodulation d'une légumineuse (le haricot). Université des sciences et de la technologie : Houari Boumediene. Alger. Np : 51.
- [27] : George D.,(200). Construction et organisation fonctionnelle de l'appareil végétatif. In : Introduction a la botanique. Eddition Bellin. Sl.pp : 245. ISBN : 2-7011-3080-8.

Thème :

Développement cellulaire, Structure et croissance de la racine.

Nom et prénoms des étudiants :

Mr Biad Abdel Fettah.
Melle Boukerche Aida.

Date de soutenance :

Le : 28/06/2008.

Résumé :

Les racines ont une grande importance dans la vie des végétaux, Ceci est évident suite à leurs différenciations et diversités écologiques, qui leur permettent la réalisation des fonctions physiologiques et mécaniques au profit du végétal suite aux différentes transformations qu'elle subit et sa composition anatomique.

Mots clés :

Racines, Développement, plante, Physiologique, composition anatomique....

Résumé :

The roots have great important in the life of the plant, and can be seen through the differences and diversity posed by the interface between thus helping to several physiological functions, the benefit of the mechanical plant accordingly, this Ithouratha different and all this is reflacted through the root zones and composition autposy.

Keywords :

Roots, Développement, plants, Physiologique, composition autposy,...

المخلص :

إن للجنور أهمية كبيرة في حياة النبات. ويتضح ذلك من خلال الإختلاف و التنوع البيئي الذي
تخضعه فيما بينها. مما يساعدها على القيام بعدة وظائف فيزيولوجية. ميكانيكية يستفيد منها النبات و هذا
تبعاً لتعوراتها المختلفة و يتجلى كل هذا من خلال مناطق الجذر و تركيبه التشريحي.

الكلمات المفتاحية :

الجنور. النمو. النبات. الفيزيولوجية. التركيب التشريحي.....