

## La physiologie et l'architecture des racines

**Dr. Pierre Rimbault**

Institut National d'Horticulture - INH, Angers (França)

Parce que le système racinaire est invisible, son importance est toujours sous-estimée. Pourtant, les racines des plantes vivaces peuvent se développer pendant plusieurs mois sans tige, tandis que rares sont les plantes (*Crassulaceae*, *Cactaceae*) dont les tiges peuvent survivre plus de quelques jours sans racines. Consacrer un congrés aux racines n'est pas un luxe, il évitera aux paysagistes de nombreuses erreurs de conception et aux entrepreneurs des erreurs de réalisation.

Les racines sont mal connues car peu accessibles et donc difficiles à étudier. Mais on en sait suffisamment aujourd'hui pour améliorer les techniques d'élevage, de plantation et de gestion des arbres, ainsi que la mise en place et l'entretien des sols. Nous verrons successivement quelques aspects de la physiologie racinaire, la morphologie du système racinaire et enfin l'influence de techniques culturales sur le développement des racines.

### Quelques aspects de la physiologie racinaire

Environnement édaphique et fonctionnement sont étroitement liés.

#### Respiration

La respiration conditionne toutes les autres fonctions. L'approvisionnement en oxygène ne se fait pas à travers la partie aérienne, mais par absorption directe dans l'air contenu dans la porosité du sol. En dessous de 15% d'oxygène, l'absorption minérale décroît. En-dessous de 12%, il n'y a plus d'initiation de nouvelles racines. En-dessous de 5%, il n'y a plus de croissance racinaire. En-dessous de 1% les racines perdent du poids et meurent.

Le maintien d'une forte microporosité générale et la constitution d'une macroporosité verticale réapprovisionnant les horizons profonds, sont les garants d'un bon développement racinaire ; la profondeur limite d'enracinement est généralement déterminée par le taux d'oxygène dans le sol.

#### Croissance et ramification

Nous avons vu l'influence de l'oxygène sur la croissance. L'effet de la température sur la croissance varie en fonction de l'espèce, le zéro de croissance allant de 4 ou 5° pour le prunier (*Prunus*) à 16-18° pour l'oranger (*Citrus*). Dans les zones froides, il faut planter les espèces exigeantes en chaleur très tard en avril, mai, voire juin.

Une baisse de l'humidité du sol, même passagère, près du point de flétrissement, suffit pour arrêter la croissance de façon durable et orienter la morphogenèse racinaire vers la croissance secondaire (en épaisseur). Il faut donc maintenir un taux d'humidité suffisant pendant les années suivant la plantation pour favoriser l'extension des racines.

La carence comme l'excès en azote ralentissent la croissance racinaire. Phosphore et potassium favorisent la division racinaire.

Le diamètre des nouvelles racines est déterminé dès leur initiation. Il semble dépendre de l'approvisionnement en oxygène et en glucides des méristèmes qui leur donnent naissance.

La texture et la structure du sol interviennent également. En sols sableux, les racines sont rectilignes et se ramifient peu. En sols argileux, elles sont sinueuses et ramifiées. L'humidité, la matière organique et notamment la tourbe sont des facteurs de ramification intense. La croissance racinaire est stoppée dans l'air : les sols lacuneux sont défavorables à la croissance racinaire. Une légère compaction par tassement puis par arrosage est nécessaire à la plantation.

### Chevelu et charpente racinaires

On distingue couramment la charpente et le chevelu. La charpente est issue de racines qui ont un gros diamètre (un à plusieurs millimètres) dès leur naissance et qui, après quelques semaines, mettent en place une forte activité cambiale. Ces racines ligneuses pérennes ont un rôle de conduction et de stockage des réserves ; elles ne sont pas mycorhizées. Le chevelu est issu de racines ayant un faible diamètre (quelques dixièmes de millimètres au plus) à l'origine. Elles ne présentent pas ou très peu d'activité cambiale, sont mycorhizées et ont une durée de vie courte, quelques semaines à quelques mois. Elles ont un rôle d'absorption. Il existe des racines intermédiaires conductrices également caduques. Toutes les racines caduques se renouvellent une ou plusieurs fois par an pendant plusieurs années à peu près aux mêmes points sur la charpente. Leur décomposition contribue fortement au maintien du taux de matière organique dans le sol.

### Absorption et mycorhizes

L'absorption dépend du taux d'oxygène, de l'humidité et de la température du sol. La racine épuise le sol dans son environnement immédiat beaucoup plus vite que la capacité de réapprovisionnement par migration des ions. La racine étend sa zone d'exploration par croissance, mais surtout grâce aux champignons mycorhiziens qui multiplient par cent, voire par mille, la surface d'échange avec le sol. Le champignon se nourrit des hydrates de carbone fournis par la racine, et lui apporte en retour eau et sels minéraux. La mycorhization est efficace surtout en sols pauvres et secs, elle peut être inhibée ou détruite par excès de fertilisation.

Il existe une synergie entre l'absorption d'azote et celle de phosphore. Dans les sols pauvres, il est donc intéressant d'associer ces deux éléments lors de la fertilisation.

### Excrétion

La racine excrète des ions  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , selon la nature et la quantité des ions absorbés, afin de conserver son équilibre électrochimique. Ainsi, une fertilisation azotée sous forme de nitrates  $NO_3^-$  augmente le pH du sol tandis qu'une fertilisation sous forme d'ions ammonium  $NH^+$  l'acidifie. La racine excrète également diverses substances organiques, généralement des acides. Elle a donc une influence sur le pH et souvent sur la structure du sol.

### Synthèses

Chez la majorité des arbres, l'azote n'est massivement envoyée sous forme minérale dans la partie aérienne que si la fertilisation et l'absorption sont excessives ; en conditions normales, c'est la racine qui synthétise une grande partie des acides aminés que les feuilles utiliseront dans la synthèse des protéines.

Les apex des racines en croissance sont avec les graines le lieu de synthèse des cytokinines. Ces substances de croissance, complémentaires ou antagonistes des auxines synthétisées par les apex de tiges en croissance, sont le véritable moteur de la morphogénèse des tiges.

### Mise en réserves

Les produits de la photosynthèse sont stockés, principalement sous forme d'amidon, dans les parties pérennes de l'arbre, en particulier la base du tronc, la souche et la base des grosses racines. Ces réserves peuvent être hydrolysées pour être utilisées dans la croissance aérienne et racinaire, ou transformées en polyphénols, barrières chimiques contre les insectes et champignons agresseurs.

Le système racinaire ne sert pas qu'à alimenter la plante en eau et à l'ancrer dans le sol ; il apparaît comme la moitié complémentaire de la partie aérienne dans toutes les fonctions de la plante.

## La morphologie du système racinaire

La morphologie du système racinaire est extrêmement importante car elle conditionne une grande partie du développement et du fonctionnement de l'arbre.

### Racines superficielles et racines profondes

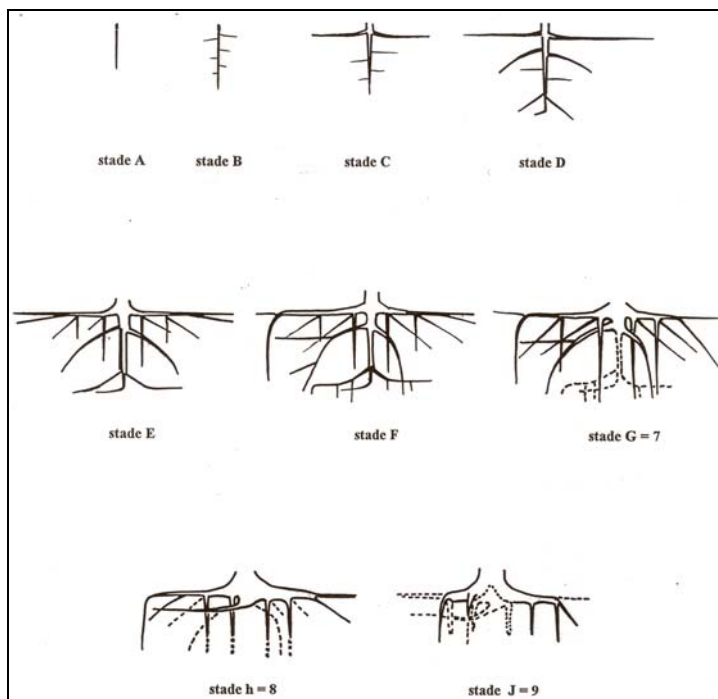
Nous avons déjà fait une distinction morphologique et fonctionnelle entre charpente et chevelu racinaires. Il est utile de distinguer également les racines horizontales qui colonisent les 20 à 50 premiers centimètres du sol et les racines plus profondes.

Un étage de racines superficielles peut parfois se développer sur le sol minéral, sous la litière de feuilles en décomposition : bouleau, épicéa (*Betula*, *Picea*) ; mais généralement les racines superficielles se développent dans les premiers horizons minéraux. Ceux-ci sont aérés, riches en matière organique et en éléments minéraux. Ils se réchauffent rapidement au printemps mais se refroidissent rapidement à l'automne, sont trop chauds et trop secs en été et trop froids en hiver. Les racines qui peuplent densément ces horizons ont une activité intense d'absorption hydrominérale au printemps et à l'automne, elles assurent l'essentiel de la pousse et des réserves. Les racines profondes assurent l'alimentation hydrique, donc la survie de la plante, en été et pendant les périodes de gel. Certaines racines profondes croissent et se ramifient chaque année, mais peuvent rester sans alimenter la plante pendant de nombreuses années.

### Racines et ancrage

La stabilité de l'arbre ne dépend pas seulement de l'extension des racines, mais aussi de la densité de colonisation et de la cohésion entre sol et racines. En cas de tempête, les racines s'extirpent facilement des sols peu cohérents, tels que les sables et les sols gorgés d'eau : l'arbre est arraché même si l'extension racinaire est importante. Par contre, si la cohésion entre sol et racines est forte, la stabilité de l'arbre dépend de l'ensemble racines + sol, et la masse à soulever est alors de plusieurs dizaines de tonnes. C'est le cas des sols rocheux fissurés bien colonisés.

### Les stades de développement



Chez la majorité des espèces, le système racinaire passe par les mêmes stades de développement.

Stade A.- La croissance du pivot se poursuit pendant quelques semaines.

Stade B.- Des racines secondaires se développent sur le pivot qui reste fortement dominant.

Stade C.- Quelques racines de la base du pivot, souvent aussi des racines adventives à la base du tronc, se développent rapidement à l'horizontale.

Stade D.- Pour différentes raisons, le pivot perd sa dominance et se ramifie. Les racines horizontales et de nouvelles racines obliques accélèrent leur croissance et forment ensemble le système fasciculé.

Stade E.- Les racines fasciculées émettent des racines verticales.

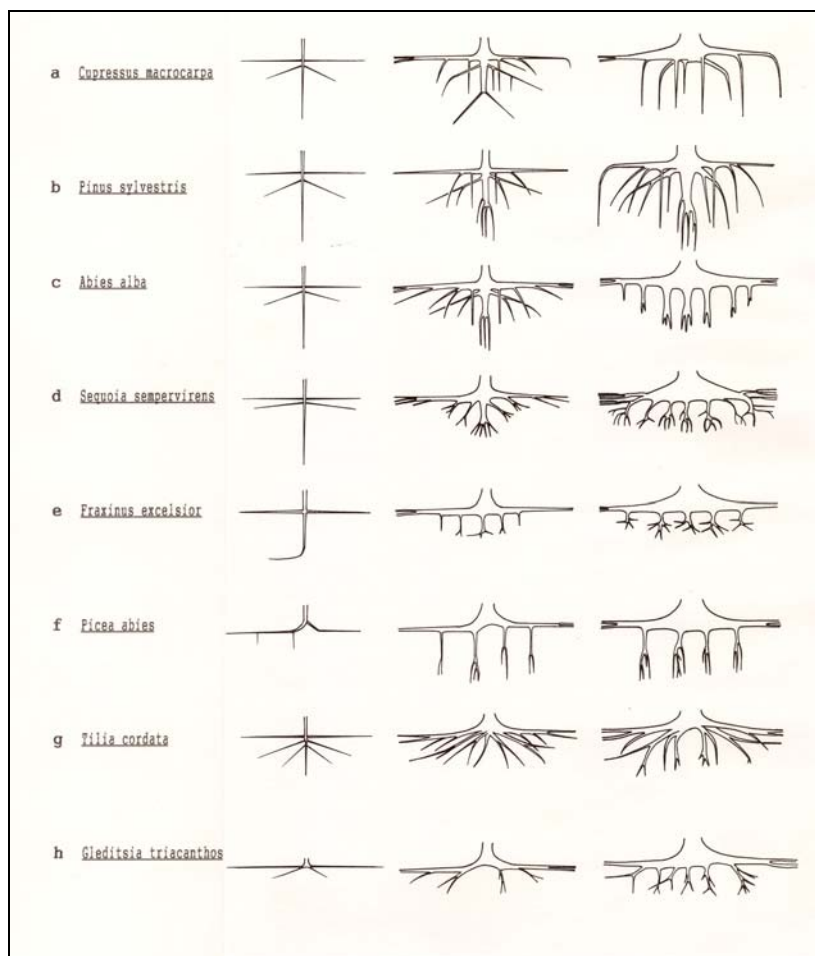
Stade F.- Les ramifications du pivot atteignent leur profondeur maximum. Elles sont rejointes par les ramifications verticales du système fasciculé.

Stade G.- Le pivot disparaît physiologiquement, il peut même disparaître physiquement. Il est remplacé par les nombreuses racines pivotantes du système fasciculé. Le système racinaire est à son apogée, la partie aérienne atteint son maximum d'extension et de densité (stade aérien 7).

Stade H.- Les racines obliques, les extrémités profondes des racines pivotantes meurent progressivement. Le chevelu ne se renouvelle plus aussi intensément. Le système racinaire est redevenu superficiel, sensible aux moindres variations de l'environnement, il est trop faible pour entretenir la masse de la partie aérienne dont la croissance stagne puis régresse (stade aérien 8, début stade 9).

Stade J.- Chez certains vieux individus, le développement de nouvelles branches très vigoureuses à proximité du tronc (réitérations totales) (fin stade 9 et stade 10) réactive certains secteurs du cambium qui induisent à leur tour le développement de nouvelles racines à la base des charpentières racinaires, et même à la base du tronc. Parallèlement à la réorganisation de la partie racinaire, l'arbre refait totalement ou partiellement un nouveau système racinaire en équilibre avec la partie aérienne. Le plus souvent, l'arbre est composé de plusieurs ensembles tige-racine physiologiquement indépendants.

## Diversité des architectures racinaires



Il existe des variations à partir de ce schéma général. Chez certaines espèces : séquoia et sapin (*Sequoia*, *Abies*), le pivot, très développé dans les stades jeunes, est progressivement supplanté par les pivots secondaires du système fasciculé. Chez le noyer européen (*Juglans regia*) et le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le pivot peut rester important toute la vie de l'arbre. Chez l'épicéa et le frêne (*Picea*, *Fraxinus*) au contraire, le pivot s'horizontalise très vite et compose avec deux ou trois racines adventives au collet un système horizontal qui émet aussitôt des pivots secondaires. Chez le tilleul (*Tilia*), le pivot a un développement faible et l'arbre développe rapidement un système racinaire fasciculé très puissant qui dure toute la vie de l'arbre.

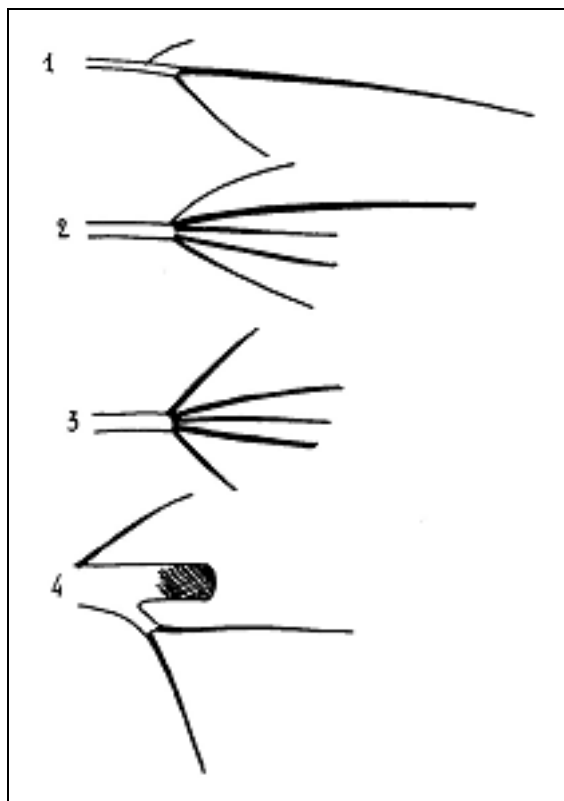
La nature du sol influence fortement la morphologie. Les sols aérés et profonds favorisent l'expression du développement type, tandis que les sols hydromorphes ou superficiels obligent l'arbre à développer précocement un système racinaire horizontal à racines verticales.

En résumé, on peut dire que le système racinaire tout au long de sa vie passe par trois schémas : pivotant, fasciculé, horizontal à racines pivotante, mais selon les espèces et le type de sol, la durée relative de ces trois stades varie énormément.

### **Influence des techniques culturales sur le développement des racines**

Les arbres plantés ne suivent pas toujours les schémas précédents. Les tailles répétées et les transplantations successives altèrent le développement de la partie aérienne et celui du système racinaire. Nos observations nous permettent de schématiser l'influence des transplantations selon trois lois.

### Diamètre de la racine sectionnée



La racine sectionnée réagit en développant plusieurs racines à proximité plus ou moins immédiate de la coupe.

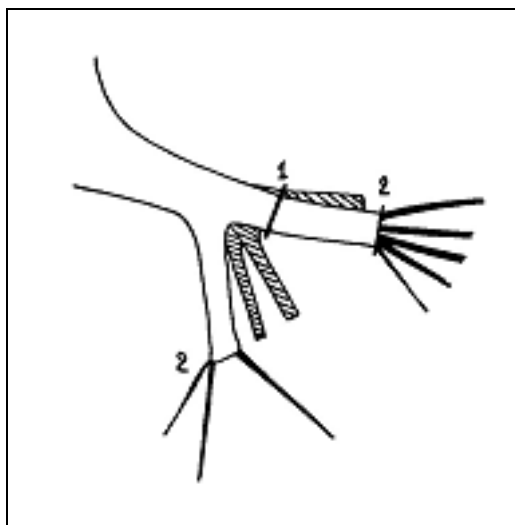
Si la racine sectionnée a moins d'un centimètre de diamètre, l'arbre restitue généralement un axe principal.

Si la racine a un à deux centimètres de diamètre, l'arbre sélectionne deux ou trois racines : la coupe a provoqué une ramification.

Si la racine a quelques centimètres de diamètre, aucune racine ne prend le relais et chacune se développe peu.

Les grosses racines sectionnées ne réagissent généralement pas sur coupe, au moins durablement. C'est une racine située en amont, de petit diamètre et située sur la face supérieure, qui prend le relais.

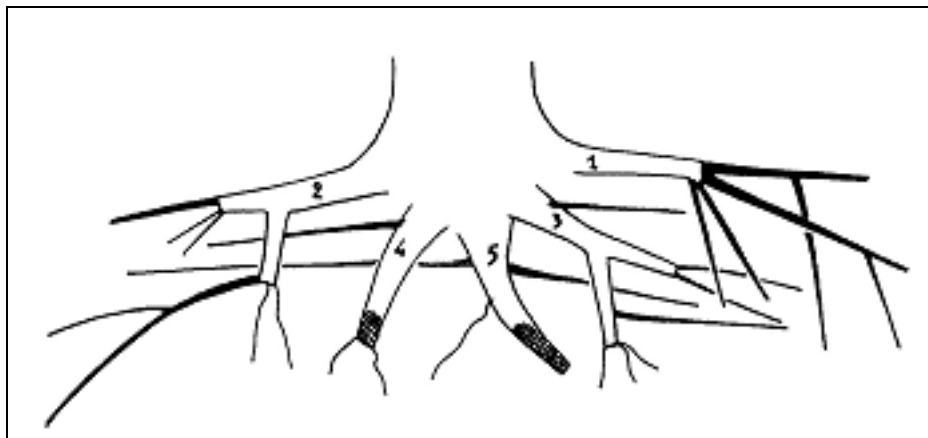
### Succession de plusieurs transplantations



Si les deux premières transplantations suivant le semis sont effectuées dans de bonnes conditions, l'arbre étant encore très jeune (quelques années), celui-ci restitue une architecture racinaire typique de l'espèce, éventuellement un peu plus ramifiée.

Si plusieurs autres transplantations se succèdent, dans le cas de certains gros sujets par exemple, la capacité de sélection des axes s'amenuise, l'architecture est détruite, le système racinaire tend vers le type « poireau » ! La stabilité de l'arbre peut en être affectée, car aucune vraie charpente ne se développe. Heureusement, la partie aérienne se développe également de façon très modeste.

### Croissance différentielle des racines superficielles et profondes



Lors de la plantation définitive de gros sujets, les deux lois précédentes ne s'appliquent pas de la même façon à toutes les racines.

Les racines horizontales et superficielles se développent très rapidement, elles colonisent d'abord les horizons supérieurs avant d'émettre des racines verticales ou de se verticaliser elles-mêmes.

Les racines obliques et verticales profondes réagissent d'autant plus faiblement qu'elles sont éloignées de la surface. Certaines ne réagissent même pas, et plusieurs années après la plantation, le plan de coupe est intact, sans ramification ni nécrose. Il existe probablement des différences spécifiques : le pivot sectionné du noyer (*Juglans*) finit par réémettre des racines verticales, tandis que le frêne (*Fraxinus*) et le hêtre (*Fagus*), ne réagissent pas.

## Conclusion

Voici brièvement résumées quelques données sur les systèmes racinaires. Lorsque des questions précises sont posées, nous manquons souvent d'éléments pour répondre avec précision et certitude, tellement les études sont rares.

Nous voudrions terminer par deux exemples montrant la vulnérabilité du système racinaire, talon d'Achille de l'arbre.

L'automne dernier, lors d'une visite d'un chantier de plantation important et de deux plantations récentes, nous avons constaté sur les trois sites des compactations inadmissibles des sols liées au roulement des engins de terrassement, compactations qui respectivement allaient compromettre et avaient définitivement compromis l'avenir des arbres.

Très récemment, lors de deux expertises, nous avons condamné à l'abattage deux séquoias (*Sequoiadendron giganteum*) plus que centenaires, l'un dépérissant, l'autre de très bonne croissance. Ils présentaient au niveau du collet une pourriture importante. Origine de cette affection ? Dans les deux cas une tranchée avait été réalisée à quelques mètres de l'arbre : il y a 50 ans pour le premier, 20 ans pour le second.

Il est probable que les transplantations excessives, la mauvaise préparation des sols, les blessures aux racines soient, avec les tailles drastiques de la partie aérienne, les quatre principales causes d'altération et de disparition des arbres d'ornement.