

Étude des relations entre systèmes racinaires et stabilité des arbres

(à la suite de la tempête de décembre 1999)

par **Christophe Drénou**

IDF – Antenne de Toulouse
7, chemin de le Lacade, 31320 Auzeville-Tolosan

Le déracinement des arbres au cours d'une tempête est un problème dynamique mettant en jeu les actions combinées du vent, du poids de la partie aérienne, de la résistance à la fracture du sol et de l'architecture des racines (Doll, 1988). Le fait qu'une racine soit cassée ou tirée dans le sol dépend de sa force de tension et de l'adhérence au sol, cette dernière variant avec l'humidité saisonnière, le type et le degré de ramification du système racinaire (Bell *et al.*, 1991 *in* Atger, 1994).

Si le sol est sec, les résistances à l'arrachement semblent peu liées à l'espèce. En revanche, si le sol est gorgé d'eau juste avant une tempête (ce qui était le cas pour de nombreuses régions le 26 décembre 1999), la stabilité de l'arbre est à rechercher dans la forme de son système racinaire (Bouchon, 1987). Celle-ci dépend de trois facteurs principaux :

- l'essence : chaque espèce, depuis le jeune plant jusqu'au vieil arbre, possède sa propre séquence génétique de développement ;
- le sol : chaque sol présente aux racines des conditions particulières d'expansion, liées à ses caractéristiques nutritionnelles et à ses propriétés physiques de pénétrabilité ;
- la concurrence : en peuplement forestier, les densités variables de plantation, le statut social et le régime des éclaircies influencent la morphologie des racines.

L'étude des relations entre systèmes racinaires et stabilité des arbres revient à se poser plusieurs questions :

1. Quelle est la typologie des architectures racinaires selon les essences ?
2. Quelle est la variabilité de cette typologie selon les sols, l'âge des arbres et la concurrence entre racines ?
3. Quels sont les systèmes racinaires les plus performants en termes de mécanique d'ancrage des arbres ?
4. Quels enseignements peut-on en tirer en termes de sylviculture (choix des essences, densité de peuplements...) ?

Sur la base d'une approche bibliographique, quelques éléments de réponses sont apportés. Ils conduisent à plusieurs hypothèses de travail.

Typologie des architectures racinaires

Dans des conditions de croissance libre satisfaisantes, le diamètre de la couronne racinaire est nettement supérieur à celui du houppier d'un arbre adulte (Cutler et Richardson, 1989). Cette surface racinaire globale ne doit pas être confondue avec la notion d'assise racinaire, surface plus réduite sur laquelle s'exerce le poids de l'arbre. L'assise racinaire correspond le plus souvent à la zone de plus

grand épaissement des racines (soit environ 1 à 4 mètres de rayon autour du tronc : Helliwell, 1989 *in* Atger, 1994).

La majorité des auteurs s'accordent à reconnaître que la plus grosse proportion du système racinaire des arbres est superficielle, ce qui correspond généralement aux 60 à 100 premiers centimètres du sol.

Il est courant de regrouper les essences selon que leur système racinaire est dit pivotant, fasciculé ou traçant (Köstler *et al.*, 1968), mais cette classification statique est insuffisante car un même arbre, au cours de son développement, peut passer d'une catégorie à l'autre. C'est le cas, par exemple, d'*Abies alba*, d'abord pivotant, puis devenant traçant par mortalité naturelle du pivot (Lucot, 1995 ; Raimbault, 1991 ; Becquey, rapport IDF).

Chez certaines essences (*Platanus acerifolia*, *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*), une deuxième couronne racinaire prend naissance tardivement près du collet et vient compléter l'infrastructure déjà existante. Cette seconde vague de racines permet d'optimiser l'occupation du sol par l'ajout de racines dans des espaces laissés vacants par le système racinaire initial (Lucot *et al.*, 1992 ; Atger *et al.*, 1994 ; Köstler *et al.*, 1968).

Il existe chez les arbres plusieurs catégories de racines ligneuses :

- le pivot primaire vertical issu de la graine, il est généralement de taille modeste, se courbe ou disparaît ;
- issues du pivot primaire, les racines charpentières horizontales et obliques qui forment la couronne racinaire primaire ;
- des pivots secondaires verticaux issus des racines charpentières et généralement situés à proximité du collet ;
- des racines charpentières secondaires naissant tardivement à proximité du collet et à la base des fourches formées par les racines charpentières initiales.

Notons que ces racines peuvent se souder entre elles et que cette fusion peut également s'opérer entre racines d'individus voisins de la même espèce (cas du platane).

Cf fig. 1, ci-après.

Influence des sols sur les racines

Caractéristiques physiques du sol

Dans les sols argileux où la densité du matériau est très élevée, les racines ne pénètrent que dans les fissures ou dans les traces d'anciennes racines en voie de décomposition (Ruark *et al.*, 1982 *in* Atger, 1994). A l'inverse, en sol sableux et drainé, le système racinaire est développé en surface avec des pivots profonds (Gilman, 1990 *in* Atger, 1994).

Lorsqu'une racine est déviée à la rencontre d'un obstacle, on observe une diminution de sa vitesse de croissance qui se traduit par un affaiblissement du contrôle qu'exerce la racine sur ses formations latérales. Il y a alors stimulation de la ramification. Lorsqu'un pivot est ainsi soumis à une succession d'obstacles, cela peut favoriser la multiplicité des racines verticales (Amin, 1988 *in* Atger, 1994).

Les racines poussant dans des zones compactées sont plus courtes et plus épaisses qu'en sol non compacté. La compaction peut contraindre les pivots à pousser à l'horizontale (Hunt *et al.*, 1991 ; Perry, 1989 *in* Atger, 1994).

L'apport de sol supplémentaire au-dessus du collet (remblais) est néfaste car il induit un déficit en eau et une altération des mouvements de gaz dans le sol. Cela peut être fatal pour les essences incapables de produire des racines adventives au-dessus du collet (cas du marronnier, par exemple ; obs. perso.).

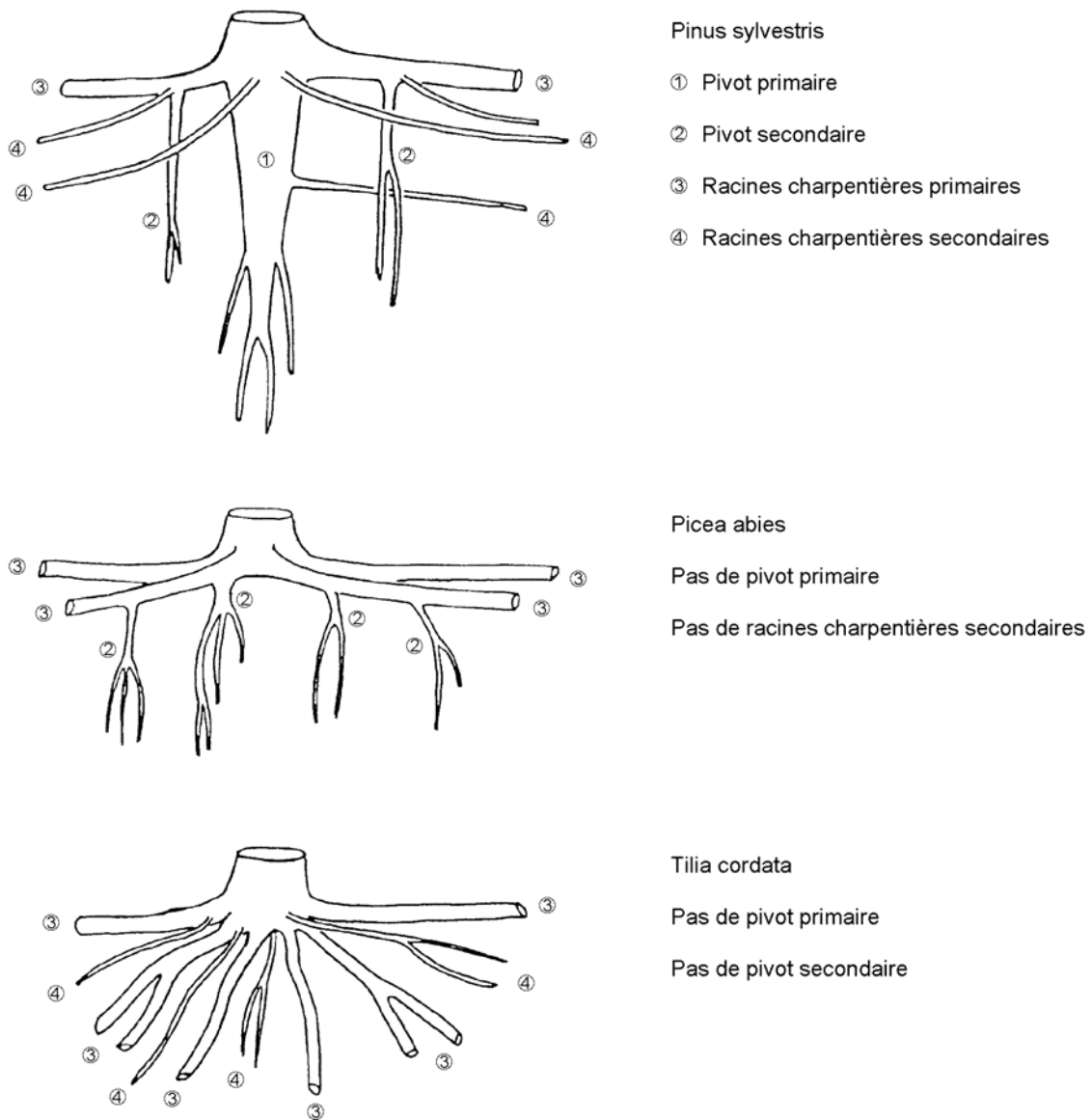


Figure 1. Exemple de quelques architectures racinaires
(d'après Kölster *et al.*, 1968).

L'eau dans le sol

Dans les sols inondés, mal drainés et mal oxygénés, les racines ont un développement superficiel et leur pénétration verticale est limitée (Kazarjan, 1969). Les systèmes racinaires de *Populus nigra* et de *Salix alba* sont pivotants en milieu drainant et sont traçants si l'eau affleure en surface (Foussadier, 1998). L'exigence des arbres vis-à-vis de la profondeur de la nappe phréatique varie selon les essences (Wouters, 1999).

En situation de déficit hydrique, le système racinaire grandit outre mesure à la recherche de l'humidité et la vigueur des organes aériens s'affaiblit fortement. Le rapport racine/tige augmente donc fortement (Kazarjan, 1969).

La richesse minérale du sol

Il n'y a pas d'attraction des racines vers les zones riches du sol, mais une ramification abondante à l'arrivée sur ces zones. Généralement le rapport racine/tige est plus élevé en sol pauvre qu'en sol riche parce que l'abondance des minéraux et de l'azote en particulier stimule plus l'allongement des tiges que celui des racines. La longueur racinaire par unité de surface foliaire diminue donc avec l'augmentation de la fertilité du sol (Head, 1974 *in* Atger, 1994).

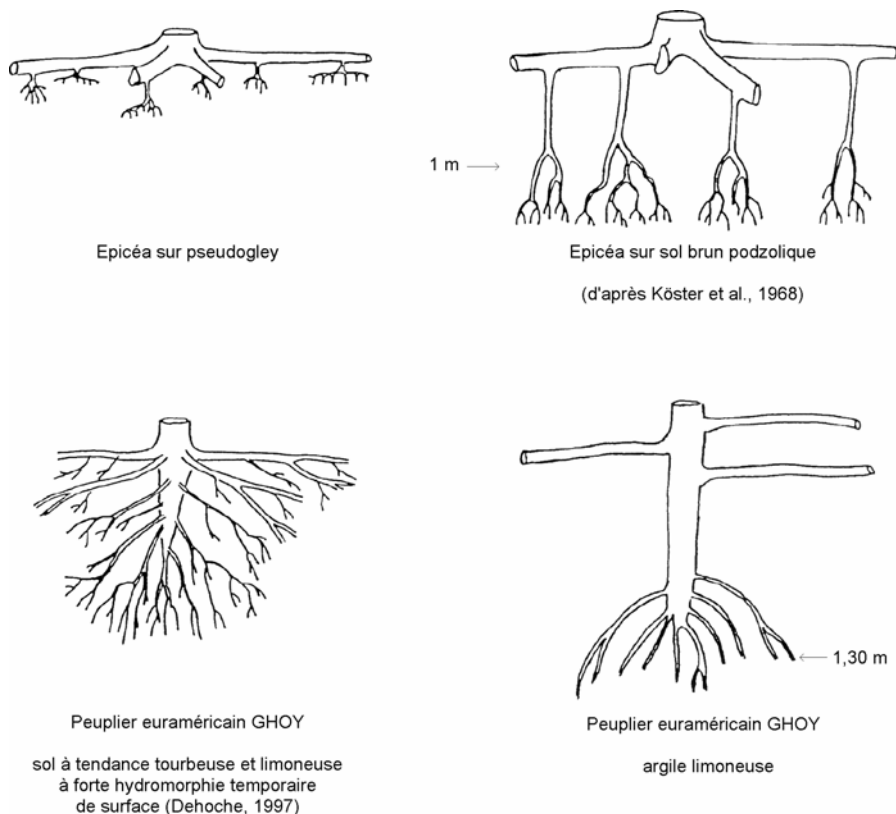


Figure 2. Influence du sol sur les racines, quelques exemples

Les effets de concurrence entre racines

La couche arable où s'étendent les racines n'est, en général, pas très profonde. Il semble donc qu'il y ait concurrence élevée entre les racines d'une même plante et aussi entre individus voisins. En lisière, les systèmes racinaires sont dissymétriques, plus développés du côté extérieur au peuplement, quelle que soit son orientation (Becquey, notes IDF).

Dans une formation monospécifique ou plurispécifique, le système racinaire des arbres dominants est mieux développé, ramifié et plus symétrique, et montre un rapport biomasse sèche racine/tige plus élevé que celui des arbres dominés. Les arbres dominants occupent les premiers le sol et les dominés se développent souvent dans une ou deux directions seulement (Eis, 1978 *in* Atger, 1994). La majeure partie des assimilats synthétisés par les arbres dominés est dépensée pour la croissance vers la lumière, ce qui retarde la formation des branches et affaiblit les racines (Kazarjan, 1969).

La concurrence entre arbres voisins peut induire le développement vertical de racines normalement horizontales chez des arbres isolés (Atger, 1994).

L'éclaircissement du milieu dû à des coupes d'arbres voisins conduit à une nette amélioration de la croissance des racines (Kazarjan, 1969).

Les racines d'arbres voisins peuvent se souder (obs. perso. sur platane et douglas).

Racines et stabilité des arbres

Pour les arbres de parcs, Mattheck *et al.* (1994) ont enregistré le rayon du tronc et celui de l'assise racinaire pour un très grand nombre d'individus déracinés, toutes espèces confondues. Ils s'aperçoivent que le nuage de points obtenus se situe en dessous d'une courbe caractéristique (fig. 3).

Le mouvement de bascule de l'assise racinaire sous la force du vent est limité par la présence de racines verticales, par les racines horizontales s'étendant dans le sol et par le poids du sol (Helliwell, 1989 *in* Atger, 1994).

La rigidité de l'assise peut être accrue par le développement de racines adventives et par la fusion de ses racines entre elles (Atger *et al.*, 1994).

La stabilité d'un arbre dépend non seulement du nombre de racines latérales rayonnant à partir du tronc, mais aussi de l'angle qu'elles font entre elles, de leur épaisseur et de leur conicité. L'effet stabilisant des racines est amoindri par l'ampleur des angles qui les séparent (Bell *et al.*, 1991, *in* Atger, 1994).

Lorsque le sol autour des racines n'est pas stabilisé et que le rapport tige/racine est grand, l'arbre en se balançant peut creuser un trou en forme de cône inversé autour du collet. Ceci inhibe le développement racinaire de la région du collet normalement la plus efficace pour la stabilisation (Sutton, 1978 *in* Atger, 1994).

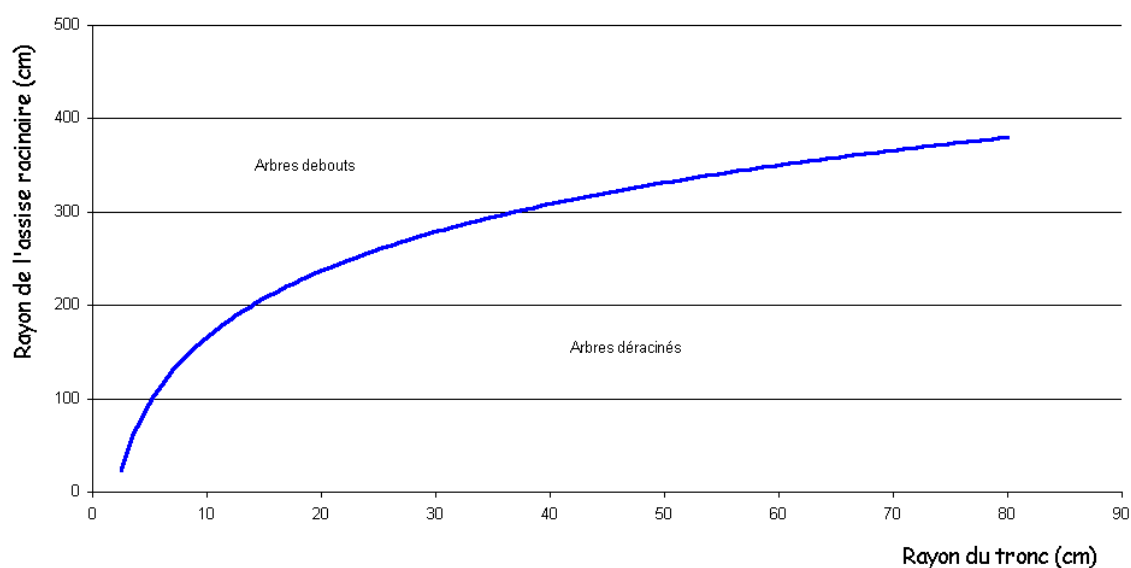
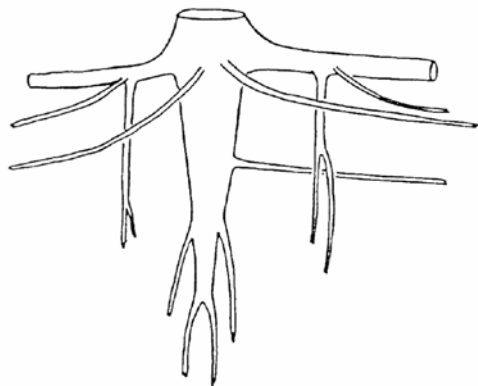


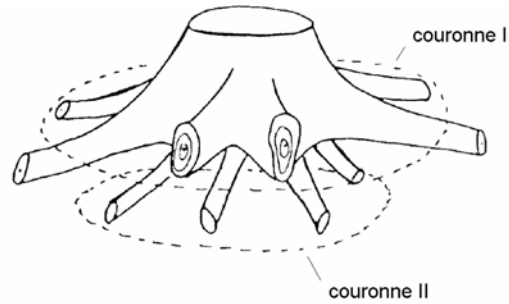
Figure 3 : Les déracinements d'arbres dans les parcs
(d'après Mattheck *et al.*, 1994).

La stabilité de l'arbre, évaluée par l'ampleur de la force à appliquer pour avoir toujours la même déviation du tronc, est maximale pour les plants germés sur place car ils ont un système racinaire plus volumineux que les plants introduits. Elle est minimale pour les plants élevés en conteneur qui ont le système racinaire le moins développé (Lindgren *et al.*, 1978 *in* Atger 1994).



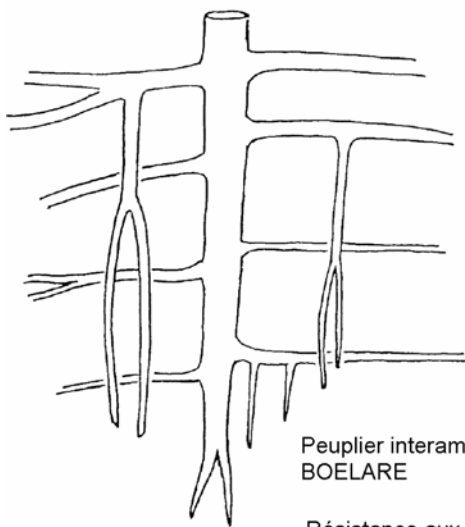
Pinus sylvestris

90 % volis et 10 % chablis
en 1982 (Jacquet, 1983)

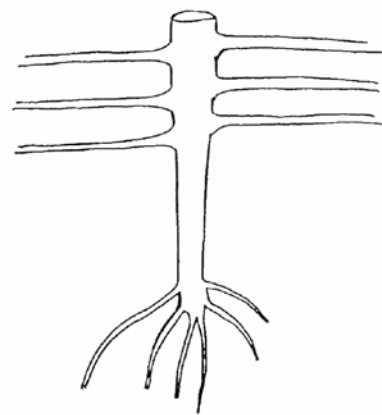


Pseudotsuga menziesii

20 % volis et 80 % chablis
en 1982 (Jacquet, 1983)



Peuplier interaméricain
BOELARE



Peuplier euraméricain GHYOY

Résistance aux chablis : BOELARE > GHYOY (Dehoche, 1997 ; Paillassa, 2000)

Figure 4 : Quelques exemples

Hypothèses de travail

A la lumière des données précédentes, plusieurs facteurs de stabilité des arbres méritent d'être testés sur le terrain.

Tableau I. Facteurs de stabilité des arbres

Système racinaire	Milieu souterrain
- grande assise racinaire	- germination sur place
- grosses racines à faible conicité	- faible densité
- nombreux pivots profonds	- sol non compacté
- racines charpentières rayonnant autour du tronc selon des angles fermés	- nappe phréatique profonde
- présence d'une couronne secondaire de racines adventives près du collet	- sol non fertilisé
- racines anastomosées	

Références bibliographiques

- AMIN T., 1988. *Etude du développement de l'appareil radical de jeunes plants de chênes méditerranéens en vue de l'amélioration de la reprise pour le reboisement*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Droit Economie et Sciences, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme, Aix Marseille, 128 p.
- ATGER C., 1994. *Les systèmes racinaires des arbres - Revue bibliographique*. Séquoia, Châteauneuf-du-Rhône, 150 p.
- ATGER C., 1992. *Essai sur l'architecture racinaire des arbres*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 287 p.
- ATGER C., EDELIN C., 1994. Stratégies d'occupation du milieu souterrain par les systèmes racinaires des arbres. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 49, 343-356.
- BELL H.J., DAWSON C.J., WRIGHT C.J., 1991. *Tree stability. In Hodge : Research for practical arboriculture*, York, 2-4 April 1990, Forestry commission bulletin, 97, 94-101.
- BOUCHON J., 1987. Etat de la recherche relative aux dégâts forestiers dus aux tempêtes. *Revue Forestière Française*, 4, 301-311.
- CUTLER D.F., RICHARDSON I.B.K., 1989. *Tree roots and building* (2nd édition). Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex, 71 p.
- DEHOUCHE Y., 1997. L'enracinement des peupliers. *Forêt-Entreprise*, 117, 50-56.
- DOLL D., 1988. *Les cataclysmes météorologiques en forêt*. Thèse de Doctorat de l'université de Lyon II.
- EIS S., 1978. Natural root forms of conifers. In E. Eerden & M. Kinghorn : *Proceedings of the « Root form of planted trees » Symposium*. Victoria, British Columbia, May 16-19, 1978. pp. 23-27.
- FOUSSADIER R., 1998. *Régénération et dynamique de la végétation alluviale dans l'espace interdigé*. Thèse de Doctorat, Université J. Fourier, Grenoble.
- GILMAN E.F., 1990. Tree root growth and development. 1. Form, spread, depth and periodicity. *J. Environ. Hort.*, 8(4), 215-220.
- HAED G.C., 1974. Shedding of roots. In T. Kolowski : *Shedding of plant parts*. Academic Press, New York, pp. 237-293.
- HELLIWELL D.R., 1989. Tree roots and the stability of trees. *Arboricultural journal*, 13, 243-248.
- HUNT B., WALMSLEY T.J., BRADSHAW A.D., 1991. Importance of soil physical conditions for urban tree growth. *Research for practical arboriculture*, York, 2-4 April.
- JACQUET B., 1983. *Chablis de novembre 1982 dans les jeunes peuplements de résineux de la région du Livradois-Forez*. Rapport de stage ENITEF, section TS, 18^e promotion.
- KAZARJAN V.O., 1969. *Le vieillissement des végétaux supérieurs*. Navka, Moscou, traduction A. Riedacker, polycopié, 229 p.
- KOESTLER J.N., BRUECKNER E., BIBELRIETHER H., 1968. *Die Würseln der Waldbäume*. Paul Parey, Hamburg, 284 p.
- LUCOT E., 1995. Le système racinaire du chêne pédonculé et du sapin pectiné. *Société Forestière de Franche-Comté, bulletin trimestriel*, XLVI, 5/6, 173-180.
- LUCOT E., BRUCKERT S., 1992. Organisation du système racinaire du chêne pédonculé (*Quercus robur*) développé en conditions édaphiques non contraignantes (sol brun lessivé colluvial). *Annales des Sciences Forestières*, 49, 465-479.
- MATTHECK C., BRELOER H., 1994. *The body language of trees : a handbook for failure analysis*. HSMO, London.
- PERRY T.O., 1989. Tree Roots : Facts and fallacies. *Arnoldia*, Del Tredici Peter, Harvard, 49(4), 2-21.
- RAIMBAULT P., 1991. Quelques observations sur les systèmes racinaires des arbres de parcs et d'alignement. Diversité architecturale et convergence dans le développement. In C. Edelin : *L'arbre, biologie et développement*. Naturalia Monspeliensia, hors série, Montpellier.
- RUARK G. A., MADER D.L., TATTAR T.A., 1982. *The influence of soil compaction and aeration on the root growth and vigour of trees. A literature review*. Part I. AB Academic publishers, Arboricultural journal, 6, 251-265.
- WOUTERS (DE) P., 1999. L'eau et les arbres. *Silva Belgica*, 106(5), fiche n° 2, 8 p.