

# Tempête et racines

Michael Drexhage\*, François Lebourgeois, Bernard Jabiol\*\*, Max Bruciamacchie\*\*\* (1)

*Malgré les problèmes économiques et sylvicoles posés par les chablis, la tempête est une occasion unique pour apporter des éléments d'information sur les systèmes racinaires d'arbres forestiers adultes, poussant dans des conditions stationnelles variées et soumis à des régimes sylvicoles différents.*

**L**es deux ouragans de fin décembre 1999 ont causé de graves dégâts dans les massifs forestiers français renversant, d'un seul coup, des volumes de bois équivalant à plusieurs années de récolte, offrant une occasion unique d'étudier les systèmes racinaires des arbres adultes. Cet article propose une synthèse rapide des connaissances sur l'architecture de ces systèmes racinaires et présente le projet actuellement mené par l'Unité Mixte de Recherches Inra-Engref (Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois : LERFOB).

## Architecture des systèmes racinaires et facteurs de stabilité

Le mode de croissance des systèmes racinaires est fixé génétiquement pour chaque essence et s'exprime librement en l'absence de contraintes liées aux caractéristiques du sol. Ainsi, pour des arbres adultes, Köstler et al. (1968) et Polomski et Kuhn (1998) définissent cinq grands types (3 simples et 2 mixtes) selon la présence et l'importance des pivots (primaires et secondaires), des racines horizon-

tales, obliques et verticales (tableau 1 et Figure 1).

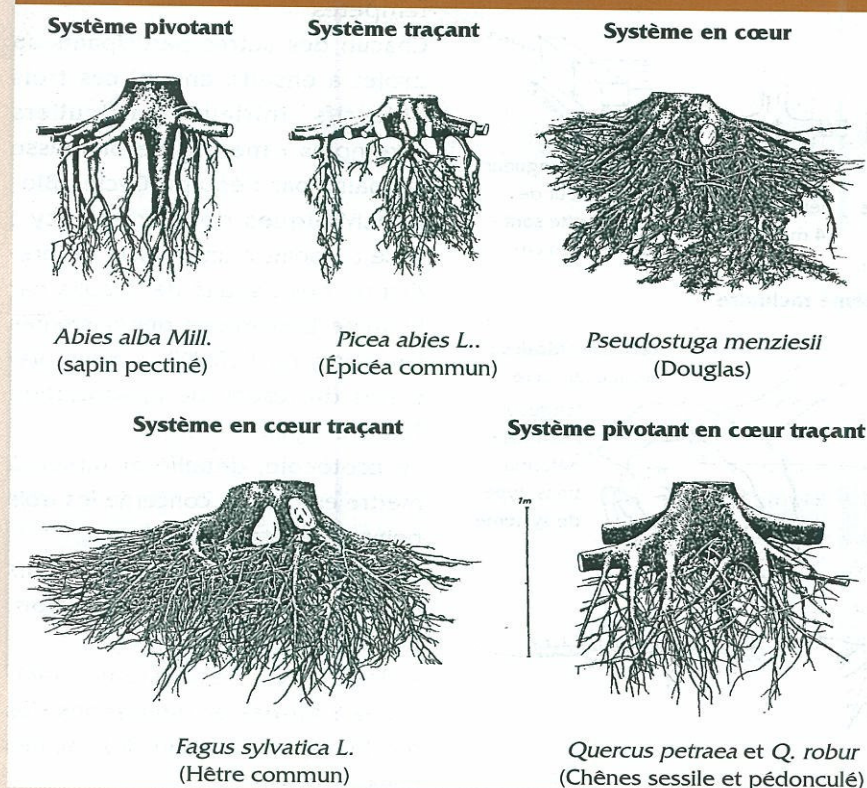
Cependant, on sait que cette morphologie peut varier fortement selon les contraintes du milieu : le système racinaire, parfois décrit comme superficiel pour certaines espèces, peut être – en fait – l'expression de contraintes empêchant le développement des racines en profondeur : obstacle physique (dalle), forte pierrosité, compaction, engorgement et absence d'oxygène... (Figure 2). Il faut toutefois souligner que, pour une contrainte donnée, la réponse de chaque espèce est souvent différente (par exemple chênes à enracinement profond et hêtre à enracinement superficiel sur sols hydromorphes).

Malgré le rôle essentiel du système racinaire dans l'ancrage des arbres et dans l'exploitation des réserves du sol, son développement selon les essences et les types de contraintes est encore très peu connu et toujours très peu pris en compte dans la conduite sylvicole. Concernant la stabilité des arbres, deux ensembles de propriétés mécaniques jouent un rôle important. Le premier est lié aux forces qui tendent à faire basculer l'arbre (Bouchon 1987). Ces propriétés dépendent de l'architecture aérienne : prise au vent offerte par la cime, bras de levier (hauteur totale), résistance du bois à la rupture... Le second correspond aux facteurs qui s'opposent à l'arrachement : résistance mécanique du sol (texture,

Tableau 1

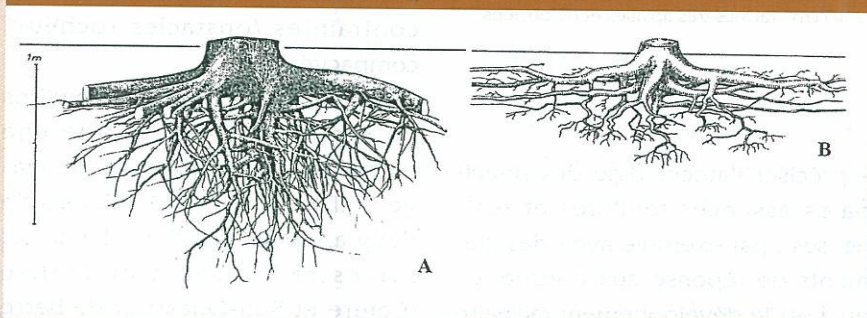
Type de système racinaire	Type de racines	Espèce
Pivotant	Pivots et racines horizontales	Sapin, pin, ormes, tous les arbres juvéniles
Traçant	Racines horizontales et pivots secondaires	Épicéa, frêne, tremble, sorbier
En cœur	Racines horizontales, obliques et verticales	Douglas, mélèze, bouleau, tilleul, charme, aulne
En cœur traçant	Racines horizontales, obliques, verticales et pivots secondaires	Hêtre, érables
Pivotant en cœur traçant	Tous les types	Chênes

Figure 1



Principaux types d'architecture racinaire pour des arbres adultes poussant sur des sols sans contraintes (d'après Köstler et al., 1968).

Figure 2



Enracinement comparé du chêne en croissance libre (A) et avec horizon compact en profondeur (B) (d'après Köstler et al., 1968).

humidité...), poids et volume du complexe racines/terre (motte), résistance à la flexion et à la cassure des racines principales et architecture du système. Il définit la qualité de l'ancrage qui dépend donc d'une part, des caractéristiques du sol et, d'autre part, des grosses racines appelées aussi racines charpentières (Coutts et al. 1999).

## Les enseignements des tempêtes précédentes

Après la tempête de 1982 en France et celle de 1990 en Allemagne et en Suisse, les travaux de Bouchon (1987), Aldinger et al. (1996) et Schmidt-Haas et Bachofen (1991)

donnent des résultats parfois contradictoires concernant le classement des espèces selon leur sensibilité au vent du fait, en particulier, de la grande variabilité des conditions géologiques et de sol, de la prise en compte à la fois des chablis d'hiver et d'été, des vitesses de vent propres à chaque tempête...

Par exemple, **de l'espèce la moins résistante à la plus résistante :**

- Épicéa < pin sylvestre < sapin pectiné < épicéa de Sitka < douglas < pin laricio < mélèze (Bouchon 1987)

- Épicéa < sapin pectiné < pin sylvestre < hêtre et chêne (Aldinger et al. 1996)

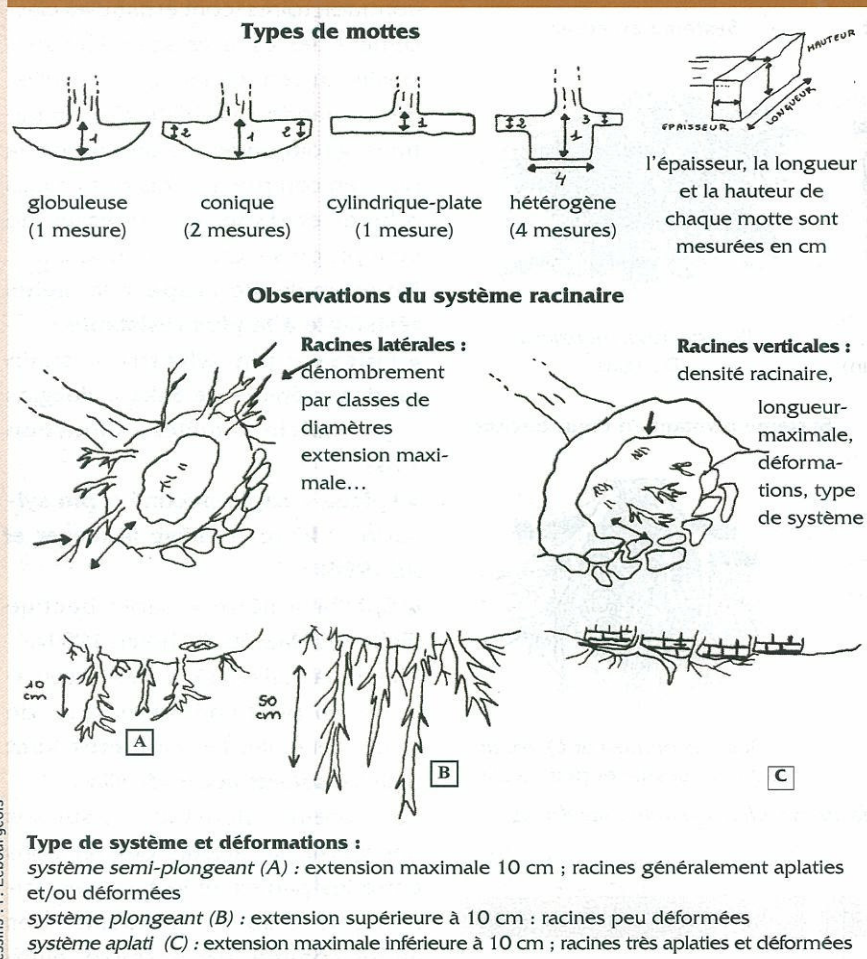
- Épicéa = hêtre = sapin pectiné (Schmidt-Haas et Bachofen 1991). Malgré la variabilité de ces observations, on peut considérer que, de façon générale, les **conifères sont moins résistants que les feuillus.**

Les auteurs allemands et suisses ont fourni par ailleurs des relations entre les parties aériennes, l'enracinement, le sol et la stabilité des arbres comme, par exemple, entre le diamètre à 1,30 m et l'importance de la motte pour le hêtre, l'épicéa, le sapin, le pin sylvestre et le chêne ou entre le niveau trophique du sol et l'importance de la motte. En France, les études sur les caractéristiques des systèmes racinaires selon les contraintes liées au sol sont rares (Lucot et Gaiffe 1995).

## Les études en cours

Face au manque de données et aux interrogations des gestionnaires, la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt (DERF) du ministère de l'Agriculture a soutenu financièrement des études qui profiteraient du champ d'expérience que représen-

Figure 3



Dessins : F. Lebourgeois

*Protocole (simplifié) de description des chablis.*

tent les parcelles dévastées. Dès février 2000, l'équipe Écosystèmes Forestiers et Dynamique du Paysage du LERFOB a lancé une étude dans les différentes forêts appartenant à l'Engref (Bois du Chapitre, Forêt de Brin) et sur quelques placettes expérimentales en forêt de Haye. Un protocole détaillé de description des parties aériennes et souterraines a été établi (Figure 3). À partir de ce protocole, des études supplémentaires ont été lancées : autres équipes du LERFOB et de l'Inra, IDF, ONF, Université de Rennes... Les trois grands objectifs de l'étude lancée en février étaient de :

- préciser l'autécologie des principales essences feuillues et résineuses ; par exemple avoir des éléments de réponse aux questions : quel est le développement racinaire de différentes essences dans une même station ? quel est le développement racinaire d'une essence donnée dans différentes stations forestières ?
- enrichir les connaissances récupérables dans la littérature, entre les caractéristiques dendrométriques des parties aériennes et des parties souterraines ;
- avancer dans la connaissance de l'effet des structures forestières sur l'architecture souterrai-

ne et sur la vulnérabilité aux tempêtes.

Chacun des autres participants au projet a ensuite enrichi ces trois objectifs initiaux particuliers (exemples : mesure de biomasse racinaire par l'équipe Cycles Biogéochimiques de l'Inra-Nancy ; mise au point d'un modèle de prédiction des risques de chablis par l'Équipe Dynamique des Systèmes Forestiers du LERFOB, sur les placettes du réseau de l'Association Futaie Irrégulière (AFI)).

Le protocole, détaillé et rapide à mettre en œuvre, concerne les trois points suivants (Figure 3) :

- description des arbres et de leurs parties aériennes : localisation, dégâts, dendrométrie ;
- description des systèmes racinaires : formes et dimensions des mottes, quantification des racines fines et grosses ;
- description du sol dans la motte : quantité, forme et disposition des éléments grossiers, nature des matériaux (texture), nature des contraintes (obstacles rocheux, compacité...).

Chacune des équipes partenaires du projet a pris en charge une partie de l'effort d'échantillonnage. L'IDF a mesuré 231 chablis de douglas, pins maritime, laricio et sylvestre sur sable podzolisé (Centre et Sud-Ouest) et de hêtre sur limon et calcaire en Lorraine. L'échantillonnage de l'université de Rennes comprend 50 à 70 chablis de hêtre et douglas sur limon acide (Bretagne). L'équipe Phytoécologie (Inra-Nancy) a échantillonné des chablis de chênes sessile et pédonculé et hêtre sur près de 300 placettes sur limons et sables hydro-morphes (Lorraine). Pour les équipes du LERFOB, l'échantillonnage est réalisé dans 9 forêts.



Chêne



Hêtre



C



D

© F. Lebourgeois

Photos A à D : Exemple de « mottes » de chêne (A) et de hêtre (B) observées au Bois du Chapitre (54) dans un contexte de sol superficiel sur calcaire. Les dimensions des mottes photographiées sont :

pour le chêne : épaisseur = 60 cm ; longueur = 2,5 m ; hauteur = 2 m ; Surface (disque) = 4 m<sup>2</sup> ; Volume = 2,4 m<sup>3</sup> (type cylindre) ;

pour le hêtre : épaisseur = 60 cm ; longueur = 4 m ; hauteur = 3 m ; Surface = 9,4 m<sup>2</sup> ; Volume = 5,7 m<sup>3</sup> ;

Les photos C et D correspondent à des déformations observées pour un chêne (C ; racines déviées et déformées) et un hêtre (D ; racines aplaties ; système semi-plongeant selon le protocole).

## Conclusions

Le traitement des données est en cours et il est encore trop tôt pour donner des conclusions définitives sur les réponses aux contraintes des systèmes racinaires des différentes espèces. Dans un contexte de sol superficiel sur calcaire (Bois du Chapitre), la contrainte de profondeur s'impose indifféremment à toutes les espèces. En revanche, le volume des mottes du hêtre est nettement supérieur à celui des autres espèces feuillues (photos A à D). Sur les argiles hydromorphes de la forêt de Brin, les observations confirment très nettement les comportements

différents du hêtre (système racinaire limité dans les 70 cm de limon surmontant les argiles) et des chênes (prospection très profonde dans les argiles, jusqu'à 210 cm (moyenne = 140 cm)). Le traitement des données apportera des informations complémentaires beaucoup plus précises, ainsi que des éléments de prédiction des types de systèmes racinaires et de la stabilité en fonction du sol et de la sylviculture. ■

(1) \*Équipe Croissance et Production-LERFOB, Inra-Nancy, 54280 Champenoux cedex, France.

\*\*Écosystèmes Forestiers et Dynamique du Paysage-LERFOB, Engref, 54042 Nancy cedex, France.

\*\*\*Dynamique des Systèmes Forestiers-LERFOB, Engref, 54042 Nancy cedex, France.

## Bibliographie

- Aldinger E., Seemann D., Konner V., 1996. Wurzeluntersuchungen auf Stummwuffflächen 1990 in Baden-Württemberg. Mitteilungen Versuchsanstalt Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, 38, p. 11-25.
- Bouchon J., 1987. État de la recherche relative aux dégâts forestiers dus aux tempêtes. Revue Forestière Française, XXXIX, 4, p. 301-312.
- Coutts M.-P., Nielsen C.C.N., Nicoll B.-C., 1999. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. Plant and Soil, 217, p. 1-15.
- Köstler J.N., Brückner E., Bibelriether E., 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg, Allemagne, 284 p.
- Lucot E., Gaiffe M., 1995. Méthode pratique de description des sols forestiers caillouteux sur substrat calcaire. Étude et Gestion des Sols, 2(2), 91-104.
- Polomski O., Kuhn N., 1998. Wurzelsysteme. Ed. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL/FNP) Birmensdorf. Verlag Paul Haupt, Bern Suisse, 290 p.
- Schmidt-Haas P., Bachofen M., 1991. Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schw. Zeitschrift f. d. Forstwesen, 142, 6, p. 477-504.