

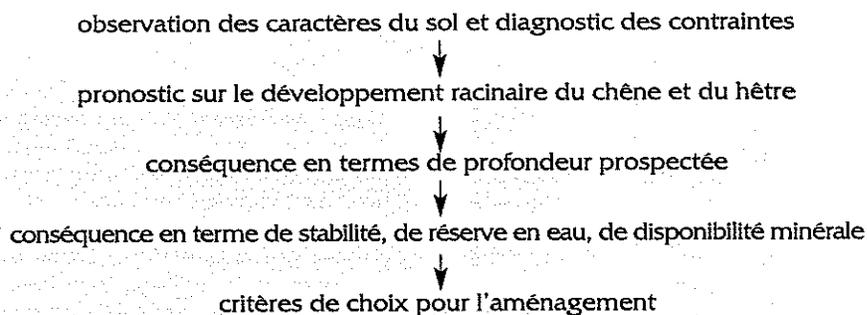
Ancrage et stabilité du chêne et du hêtre en Lorraine

F. Lebourgeois*, B. Jabiol*, G. Archevêque*, M. Bruciamacchie, M. Drexhage***, F. Colin*** (1)**

Depuis la tempête de 1999, le problème de la stabilité des peuplements forestiers est remis sur le devant de la scène. Parmi les facteurs importants à prendre en compte, les contraintes du sol, à travers leurs effets sur l'ancrage des arbres, jouent un rôle central.

Dans un précédent article de Forêt-entreprise (n°139 ; Drexhage *et al.*, 2001), nous avons présenté une synthèse des connaissances sur l'architecture des systèmes racinaires ainsi que les objectifs de l'étude menée par notre Unité Mixte de Recherches suite aux événements de fin 1999. Ces objectifs étaient d'abord de préciser la réaction de différentes essences forestières (chênes et hêtre essentiellement) face à une contrainte

du sol donnée. Ensuite, d'enrichir les connaissances sur les relations entre les caractéristiques dendrométriques des parties aériennes et celles des parties souterraines. Cet article présente les principaux résultats de cette étude (Lebourgeois *et al.*, 2002 ; Lebourgeois et Jabiol, 2002). Les données ainsi rassemblées pourront être utilisées de façon simple dans une démarche de pronostic accessible à tout propriétaire capable de réaliser une observation de sol :



Motte plate de hêtre (station 2).

Les hêtres chablis : les plus gros, les plus hauts...

La comparaison des arbres debout et chablis montre que les hêtres chablis ont des diamètres et/ou des hauteurs généralement supérieurs à ceux des arbres encore debout (Tableau 2). Au Bois du Chapitre (Stations 4 à 6), 58 % des hêtres chablis ont un diamètre supérieur à 50 cm contre seulement 30 % pour les arbres debout. Pour les hauteurs, 81 % des chablis dépassent 20 m contre 55 % pour les arbres debout. À Amance et Brin, 45 % des chablis ont un diamètre supérieur à 40 cm (21 % pour les debout) et 40 % une hauteur supérieure à 24 m (25 % pour les debout).

Dans les trois massifs étudiés, il apparaît une différence de « comportement » selon la hauteur des hêtres. Pour les arbres de moins de 25 m, toutes les caractéristiques dendrométriques mesurées sont supérieures chez les chablis. Ce sont des arbres plus grands, plus gros, avec des hauteurs d'extension maximale des houppiers plus élevées (prise au vent plus importante). Pour les plus grands hêtres (27 à 28 m), les caractéristiques dendrométriques ne sont plus aussi discriminantes malgré une tendance à

| Station 2 (Amance-Brin) Structure régulière | | | | |
|--|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | Haut. > 25 m | | Haut. < 25 m | |
| | Chablis | Sains | Chablis | Sains |
| Ht (m) | 27,2 | 28,0 | 23,3 | 21,4 |
| Dia (cm) | 45,0 | 39,4 | 36,3 | 27,4 |
| Hbh* (m) | 14,3 | 14,9 | 11,7 | 9,7 |
| Heh* (m) | 22,7 | 22,4 | 19,0 | 16,6 |

| Station 4 à 6 (Bois du Chapitre) Structure irrégulière | | | | |
|---|--------------|-------|--------------|-------------|
| | Haut. > 25 m | | Haut. < 25 m | |
| | Chablis | Sains | Chablis | Sains |
| Ht (m) | 28,2 | 28,8 | 22,2 | 19,0 |
| Dia (cm) | 62,4 | 60,1 | 48,5 | 34,7 |
| Hbh* (m) | 11,6 | 11,9 | 10,0 | 7,7 |
| Heh* (m) | 17,8 | 19,1 | 16,3 | 12,7 |

Tableau 2 : Comparaison des caractéristiques des hêtres chablis et sains échantillonnés dans les forêts d'Amance-Brin (Station 2) et au Bois du Chapitre (Stations 4 à 6). Les chiffres en gras indiquent des différences significatives entre chablis et sains au seuil de 5 %.

* : lire encadré bas de page.

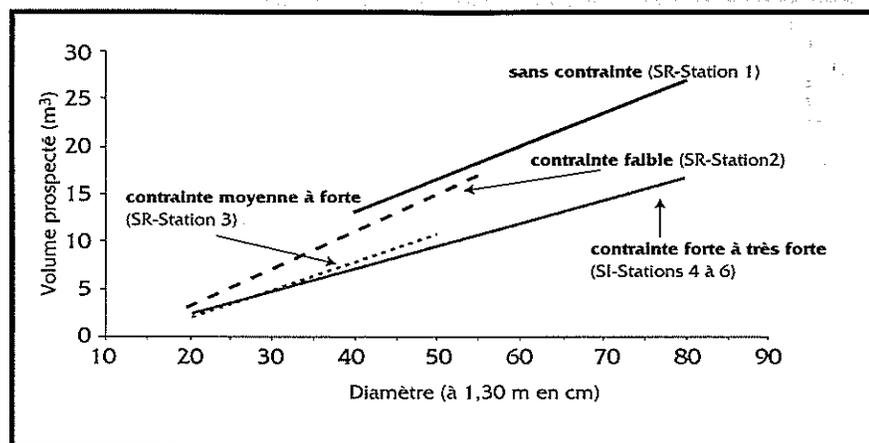


Figure 1 : Relation entre le volume de sol prospecté (en m³) et le diamètre à 1,30 m des hêtres selon le niveau de contrainte du sol rencontré (voir tableau 1). Seules les droites d'ajustement des données sont présentées. Les coefficients de corrélation varient de 33 à 52 %. SR = structure régulière ; SI = structure irrégulière.

un diamètre supérieur des chablis.

Pour les chênes, aucun des paramètres dendrométriques relevés n'a permis de discriminer les arbres encore sur pied des arbres chablis.

Les caractéristiques « sol-racines » dépendent de la dimension des arbres...

Pour les deux espèces, les caractéristiques du complexe « sol-racines » et les volumes de sol prospecté dépendent avant tout de la taille de l'arbre (Figure 1 et

Plus de 700 arbres mesurés sur huit types de stations

Des mesures ont été effectuées dans les deux régions naturelles de la plaine lorraine (trois forêts) et des plateaux calcaires (deux forêts) sur plus de 700 arbres et douze espèces. Le hêtre et les chênes sont néanmoins majoritaires avec respectivement 312 et 177 arbres. Les mesures ont porté à la fois sur les parties aériennes (hauteur totale, Ht ; diamètre à 1,30 m, Dia ; hauteur de la base du houppier, Hbh ; hauteur de l'extension maximale du houppier, Heh...), le compartiment souterrain (forme et surface des complexes « sol-racines » (mottes), volume de sol prospecté (Vp), nombre et déformation des racines...) et les contraintes du sol. Le volume du sol prospecté (Vp) a été calculé à partir de l'épaisseur (E) et de la largeur (L) de la motte en tenant compte de la longueur de la plus grosse racine verticale et de la longueur maximale des racines latérales (voir protocole des mesures dans Drexhage

et al., 2001 ; Lebourgeois et al., 2002). Au total, huit types de stations présentant des contraintes édaphiques et/ou des modes de gestion différents ont été échantillonnés (Tableau 1). Trois stations (stations 1, 2 et 7) correspondent à des sols bien, à moyennement drainés sur limons, limon et argile ou marne. Une autre (station 8) correspond à un sol très mal drainé sur sable et argile. Quatre stations (stations 3 à 6) correspondent à des sols développés sur calcaire présentant des charges, des organisations spatiales et des types d'éléments grossiers différents (par exemple la présence de plaquettes horizontales dans le sol, très néfaste à l'enracinement). Pour les forêts correspondant aux stations 2 (Amance et Brin) et 4 à 6 (Bois du Chapitre) des observations ont été effectuées sur les arbres tombés mais aussi sur les arbres restés sur pied. Ceci a permis de com-

parer les caractéristiques dendrométriques des arbres chablis et « debout ». En ce qui concerne les observations des systèmes racinaux, il est important de rappeler que celles-ci ne concernent que le complexe sol-racine c'est-à-dire la motte constituée des racines et de la terre dégagée suite à la chute de l'arbre. Nous n'avons aucune information sur les racines dans la motte et donc sur l'architecture réelle du système. Seules les observations sur les racines verticales et horizontales dépassant de la motte et leurs éventuelles déformations nous renseignent sur celle-ci. Il faut également souligner que les surfaces et les volumes donnés dans le Tableau 1 ne sont que des estimations concernant essentiellement le système racinaire intensif (c'est-à-dire l'ensemble des racines situées à proximité du tronc). Ainsi, il faut davantage considérer les valeurs relatives entre les espèces ou les stations que les chiffres bruts.

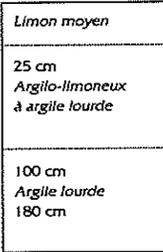
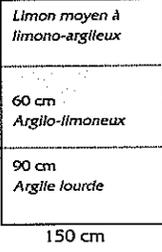
| Région naturelle Massif Peuplement | Station 1 Plateaux calcaires Haye (parcelle 459 ; Beau-Poirier) Hêtraie régulière âgée (> 100 ans) | Station 2 Plateau lorrain Amance-Brin Futaie de hêtre et chêne sessile | Station 3 Plateaux calcaires Haye (Rte Frouard) Hêtraie régulière pure |
|--|--|---|---|
| Matériau parental | Limons sur alluvions anciennes argileuses | Placage limoneux sur argile lourde et marnes du Lias | Grèze seule ou associée avec des cailloux (5-20 cm) remaniés |
| Profil de sol |  <p>substrat filtrant bon drainage vertical bonne structuration absence de traces d'hydromorphie</p> |  <p>substrat imperméable mauvais drainage vertical légères traces d'hydromorphie après 60 cm</p> |  <p>Prof. apparition des éléments grossiers 15 à 90 cm moy : 65 cm Recouv. (%) 4 à 40 %</p> |
| Contraintes à l'enrac. | Hêtre* aucune Chêne aucune | Hêtre moyenne Chêne moyenne | Hêtre moyenne à forte |
| Ht. (m) | 39,2-33,5 | 25,8 | 30,1 |
| Hbh (m) | 21,7-19,3 | 13,6 | 15,4 |
| Dia. moyen (cm) | 68 — 41,4 | 41,1 | 43,5 |
| Forme des mottes |  |  |  |
| Surface (m ²) | 13,4-5,1 | 8,2 | 7,2 |
| Vol. prospecté (m ³) | 23-10 | 11,5 | 10 |
| Profondeur enrac. | 150 à 180 cm | 70 à 80 cm | 90 à 110 cm |
| Conditions vis-à-vis de : | | | |
| eau | ☺ | ☺ | ☺ |
| éléments minéraux | ☺ | ☺ | ☺ |
| stabilité | ☺ | ☹ | ☹ |
| Conclusions | L'argile lourde bien drainée et bien structurée ne constitue aucune contrainte pour les deux essences qui présentent le même comportement. Les conditions stationnelles sont optimales et la stabilité très bonne. | L'argile lourde mal drainée et mal structurée est une contrainte absolue pour le hêtre, nulle pour le chêne. Le hêtre compense ce manque de profondeur par une extension latérale considérable. Les volumes prospectés sont comparables mais la stabilité du hêtre est plus faible. | La présence de la grèze associée à des éléments grossiers remaniés est une contrainte moyenne. L'eau n'est pas vraiment limitante dans le contexte lorrain mais la stabilité est réduite. |

Tableau 1 : Caractéristiques des 8 stations échantillonnées en Lorraine et comparaison des complexes « sol-racines » des hêtres et des chênes. Les 8 stations ont été classées par ordre croissant de contrainte.

* Dominant-dominé

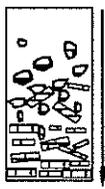
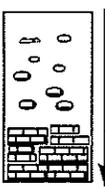
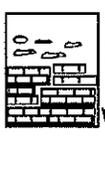
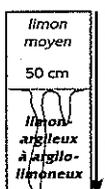
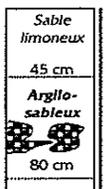
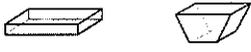
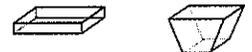
Tableau 3). L'augmentation du diamètre de l'arbre se traduit par :

- des dimensions et des volumes des mottes plus importantes ;
- un volume de sol prospecté plus important. Un arbre de 50 cm de diamètre prospecte au moins deux fois plus de sol qu'un arbre de 30 cm ;
- un plus grand nombre de racines latérales et verticales.

Le hêtre plus sensible aux contraintes du sol que le chêne

Le hêtre est beaucoup plus sensible aux contraintes du sol que le chêne mais « compense » sa moindre prospection en profondeur par une extension horizontale importante. D'une façon générale, l'enracinement du hêtre apparaît nettement

plus sensible aux contraintes du sol que celui des chênes (Tableau 1). Les limitations de prospection en profondeur liées à un engorgement très prononcé (station 8), à un mauvais drainage (station 2), à une forte compacité associée à une mauvaise structuration des horizons (station 7), à une dalle superficielle de calcaire en place (stations 5 et 6)... se traduisent par la mise en place d'un système d'autant plus traçant que la ou les contraintes sont fortes.

| Station 4 Plateaux calcaires Bois du Chapitre Structure irrégulière | Station 5 Plateaux calcaires Bois du Chapitre Structure irrégulière | Station 6 Plateaux calcaires Bois du Chapitre Structure irrégulière | Station 7 Plateau lorrain FD de St Hélène Futaie de hêtre et chêne sessile | Station 8 Plateau lorrain FD de Vitrimont Chênaie sessiliflore acidiphile | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|--|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-------------|-------------|--|-------------|-------------|------|------|-----|------|----|------|------|---|------|-----|------------|------------|---|------------------|------------------|------|------|----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------------|------------|--|------------------|--------------------|----|----|---|---|---|---|------------|--------------|--|---------------|-------------|----|------|---|---|-----|---|-------|-------------|
| <p>Forte charge en éléments grossiers sur plaquettes horizontales</p>  <p>Argilo-limoneux à Argile lourde horizon meuble et décar-bonaté. élts remaniés plaquettes en place de 5 à 30 cm apparaissant entre 40 et 50 cm (Rec. > 40%)</p> | <p>Dalle calcaire en place entre 50 et 60 cm</p>  <p>Argilo-limoneux à Argile lourde horizon meuble et décarbonaté gros blocs en place (20 à 60 cm)</p> | <p>Dalle calcaire en place entre 20 et 30 cm</p>  <p>Argilo-limoneux à Argile lourde gros blocs en place (20 à 60 cm)</p> | <p>Placage limoneux</p>  <p>substrat imperméable, mauvais drainage vertical, légères traces d'hydro. après 25 cm horizon très compact, structure massive (Fragipan), langues verticales blanchâtres</p> | <p>Alluvions anciennes</p>  <p>engorgement dès la surface horizons blanchis avec taches rouilles nettes zones indurées irrégulières avec galets Argile lourde sableuse</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="0"> <tr> <td>Hêtre moy. à forte</td> <td>Chêne moyenne</td> </tr> <tr> <td>24,6</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>10,3</td> <td>10,8</td> </tr> <tr> <td>53,9</td> <td>55,4</td> </tr> </table>  <table border="0"> <tr> <td>8,9</td> <td>5,7</td> </tr> <tr> <td>10,6</td> <td>7,3</td> </tr> <tr> <td>80 à 100 cm</td> <td>90 à 120 cm</td> </tr> </table>  | Hêtre moy. à forte | Chêne moyenne | 24,6 | 23 | 10,3 | 10,8 | 53,9 | 55,4 | 8,9 | 5,7 | 10,6 | 7,3 | 80 à 100 cm | 90 à 120 cm | <table border="0"> <tr> <td>Hêtre forte</td> <td>Chêne forte</td> </tr> <tr> <td>24,3</td> <td>23,2</td> </tr> <tr> <td>8,6</td> <td>11,3</td> </tr> <tr> <td>62</td> <td>53,5</td> </tr> </table>  <table border="0"> <tr> <td>10,2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>13,3</td> <td>7,2</td> </tr> <tr> <td>60 à 70 cm</td> <td>60 à 90 cm</td> </tr> </table>  | Hêtre forte | Chêne forte | 24,3 | 23,2 | 8,6 | 11,3 | 62 | 53,5 | 10,2 | 5 | 13,3 | 7,2 | 60 à 70 cm | 60 à 90 cm | <table border="0"> <tr> <td>Hêtre très forte</td> <td>Chêne très forte</td> </tr> <tr> <td>23,4</td> <td>20,5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>11,2</td> </tr> <tr> <td>49,3</td> <td>44,8</td> </tr> </table>  <table border="0"> <tr> <td>6,4</td> <td>3,6</td> </tr> <tr> <td>7,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>30 à 50 cm</td> <td>30 à 60 cm</td> </tr> </table>  | Hêtre très forte | Chêne très forte | 23,4 | 20,5 | 10 | 11,2 | 49,3 | 44,8 | 6,4 | 3,6 | 7,9 | 4,9 | 30 à 50 cm | 30 à 60 cm | <table border="0"> <tr> <td>Hêtre très forte</td> <td>Chêne moy. à forte</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>85</td> </tr> </table>  <table border="0"> <tr> <td>7</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>50 à 60 cm</td> <td>150 à 180 cm</td> </tr> </table>  | Hêtre très forte | Chêne moy. à forte | 60 | 85 | 7 | 5 | 6 | 9 | 50 à 60 cm | 150 à 180 cm | <table border="0"> <tr> <td>Hêtre absolue</td> <td>Chêne forte</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>42,5</td> </tr> </table>  <table border="0"> <tr> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>< 2</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>30 cm</td> <td>60 à 120 cm</td> </tr> </table>  | Hêtre absolue | Chêne forte | 30 | 42,5 | 5 | 5 | < 2 | 6 | 30 cm | 60 à 120 cm |
| Hêtre moy. à forte | Chêne moyenne | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24,6 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,3 | 10,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 53,9 | 55,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,9 | 5,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,6 | 7,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 à 100 cm | 90 à 120 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hêtre forte | Chêne forte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24,3 | 23,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,6 | 11,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 62 | 53,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,2 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13,3 | 7,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 à 70 cm | 60 à 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hêtre très forte | Chêne très forte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23,4 | 20,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 11,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 49,3 | 44,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,4 | 3,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,9 | 4,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 à 50 cm | 30 à 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hêtre très forte | Chêne moy. à forte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 à 60 cm | 150 à 180 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hêtre absolue | Chêne forte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 42,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| < 2 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | 60 à 120 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Les plaquettes en place vers 50 cm associées à une forte charge en éléments grossiers (EG) sont une forte contrainte pour le hêtre. Pour les deux essences, la stabilité est réduite. La forte charge en EG réduit la disponibilité en eau (surtout pour le chêne plus exigeant).</p> | <p>La contrainte est très forte pour les deux espèces et augmente selon la profondeur d'apparition de la dalle horizontale. Le hêtre compense sa moindre prospection en profondeur par une extension latérale deux fois supérieure à celle du chêne. Il dispose d'un volume prospecté et donc d'un réservoir en eau une fois et demi supérieur. La stabilité est très réduite pour les deux essences.</p> | <p>L'horizon limoneux très compact (fragipan) constitue une contrainte absolue pour le hêtre. Les racines sont déformées en forme de « crochets ». Pour le chêne, les pivots aplatis se développent profondément mais exclusivement dans les bandes verticales plus meubles. La stabilité est réduite pour les deux essences.</p> | <p>L'horizon sableux engorgé dès la surface est une contrainte absolue pour le hêtre. Les racines de chêne traversent les horizons engorgés mais bloquent sur les zones indurées (enracinement hétérogène du chêne). Le sol est très pauvre chimiquement. La stabilité du chêne est d'autant plus affectée que le sol est gorgé d'eau (faible résistance mécanique).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Catégorie de diamètre | Aucune contrainte (St1) | | | Contrainte faible (St2) | | | Contrainte moy. à forte (St3) | | | Contrainte forte à très forte | | |
|-----------------------------------|-------------------------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|-------------------------------|---------|---------|-------------------------------|---------|---------|
| | > 50 cm | [50-40] | < 40 cm | > 50 cm | [50-40] | < 40 cm | > 50 cm | [50-40] | < 40 cm | > 50 cm | [50-40] | < 40 cm |
| Dia. (cm) | 64 | 44 | | 54 | 44 | 30 | | 44 | 34 | 63 | 46 | 28 |
| Ht (m) | 39 | 37 | | 27 | 26 | 24 | | 30 | 25 | 25 | 25 | 19 |
| Vp (m³) | 21 | 16 | | 16 | 12 | 8 | | 10 | 6 | 13 | 8 | 4 |
| Nb de racines latérales > 20 mm | 8 | 6 | | 9 | 6 | 4 | | 11 | 11 | 20 | 13 | 4 |
| Nb de racines latérales 10-20 mm | 14 | 11 | | 12 | 11 | 7 | | 10 | 13 | 18 | 15 | 7 |
| Nb de racines verticales > 20 mm | 8 | 8 | | 3 | 2 | 2 | | 11 | 12 | 21 | 14 | 5 |
| Nb de racines verticales 10-20 mm | 29 | 28 | | 28 | 27 | 24 | | 12 | 11 | 35 | 28 | 8 |

Tableau 3 : Caractéristiques dendrométriques des hêtres et des « mottes » par classes de diamètre des arbres selon les contraintes du sol rencontrées. Pour les racines, les classes indiquent les diamètres (voir Tableau 1 et Figure 1).

Les mottes apparaissent très plates mais leurs surfaces augmentent considérablement. Les racines sont souvent très déformées. Au contraire, en l'absence de contrainte (station 1), les mottes sont « globuleuses » et les racines saines présentent des décroissances régulières (architecture en « cœur » très dense associant des racines horizontales et obliques). La contrainte ne modifie pas la forme de la relation « volume prospecté-taille des arbres » mais change la pente des ajustements linéaires (Figure 1 et Tableau 3). Pour des hêtres de 45 cm de diamètre, le volume prospecté passe ainsi de 16, 12, 10 et 8 m³ selon l'importance de la contrainte rencontrée.

• **Sur le plan trophique**, ces modifications ne semblent pas jouer un rôle essentiel pour la croissance du hêtre car les milieux étudiés sont généralement riches en éléments minéraux (sauf station 8 où le hêtre n'est absolument pas à sa place).

• **Sur le plan hydrique**, la quantité d'eau disponible est généralement estimée par un calcul qui ne prend en compte que la seule profondeur d'enracinement observée (Lebourgeois et Jabiol, 2002). Appliqué ici, il conduirait à estimer cette quantité juste suffisante pour les stations les plus superficielles du plateau calcaire. Cependant, l'eau disponible dépend avant tout du volume de terre prospecté, c'est-à-dire qu'il faudrait également intégrer dans ce calcul l'extension horizontale du système racinaire. Ainsi, il est tout à fait possible que la très forte augmentation des surfaces des mottes compense en grande partie le manque de prospection en profondeur et donc assure, en moyenne, une alimentation en eau très satisfaisante. Ceci d'autant plus que le contexte climatique lorrain est très



Motte globuleuse de chêne sessile (station 2).

favorable à la croissance du hêtre qui peut s'installer et présenter une très forte dynamique même sur les stations à approvisionnement en eau réduit (Becker, 1979). Cependant, il est important de souligner que cette différence de prospection observée pourrait avoir des conséquences notables sur l'état sanitaire et/ou la vitalité des arbres en cas d'années ou succession d'années plus sèches que la moyenne (problème à considérer dans le cadre des changements climatiques et de leurs effets potentiels sur les variations en durée et en intensité des épisodes secs) (Lebourgeois *et al.*, 2001).

• **Sur le plan de la stabilité**, les choses sont très différentes. La stabilité du hêtre est très fortement réduite même sur les stations à contraintes modérées. Par exemple, la station 2 est très favorable à la croissance du hêtre ; elle ne présente aucune contrainte sur le plan hydrique et trophique et, du point de vue de la production forestière, il était tout à fait raisonnable d'envisager cette essence. Cependant, l'analyse des chablis montre que l'horizon argileux compact sous-jacent marqué par des traces d'hydromorphie n'est pas prospecté par le hêtre : les racines sont aplaties à la partie supérieure de cet horizon et les mottes se sont véritablement « décollées » à ce niveau. Ainsi, sur

cette station, près de 50 % des hêtres sont chablis alors que pour les chênes prospectant sans problème jusqu'à 150 à 180 cm (pivots non déformés à décroissance régulière), le pourcentage de dégâts (essentiellement arbres cassés) se cantonne à 10 %.

En ce qui concerne le chêne, il apparaît globalement moins sensible (Tableau 1) aux contraintes du sol notamment vis-à-vis de l'engorgement où de la présence d'horizons compacts à mauvais drainage (stations 2, 7 et 8). Si les pivots apparaissent parfois déformés, l'enracinement est généralement plus profond avec des mottes de forme « globuleuse ». Pour le chêne, la contrainte la plus forte correspond aux sols très superficiels à dalle calcaire (stations 5 et 6) pour lesquels l'enracinement reste superficiel (mottes aplaties avec des pivots réduits très déformés). Contrairement au hêtre, nous n'avons jamais observé en cas de forte contrainte à la prospection en profondeur, une « compensation horizontale » du chêne. Ainsi, les surfaces des mottes sont généralement inférieures de moitié à celles du hêtre. Même s'il n'est pas possible de le quantifier avec précision, les limitations de la prospection racinaire doivent avoir davantage de répercussions sur le plan hydrique et tro-

phique pour les chênes que pour le hêtre car les chênes (surtout le chêne pédonculé) sont réputés plus exigeants vis-à-vis de ces facteurs édaphiques (Becker, 1979).

Conclusion

Même si nous n'avons pas pu réaliser dans tous les cas des comparaisons précises, nos mesures associées à nos observations directes suggèrent :

- une stabilité plus grande du chêne sur limon argileux mal drainé (station 2), sur sol engorgé sableux (station 8) et sur fragipan [2] (station 7) ;
- une très bonne stabilité des deux essences sur sol sans contrainte (station 1). Dans ce cas, hêtre et chêne présentent d'ailleurs des complexes « sol-racines » tout à fait comparables (mottes « globuleuses » avec des profondeurs d'enracinement supérieures à 150 cm ; racines non déformées à décroissance régulière) ;
- une stabilité réduite et comparable des deux essences sur sol superficiel sur dalle calcaire (mottes aplaties).

Les observations de chablis nous ont donc permis d'évaluer le niveau de contrainte représenté par certains caractères du sol pour deux espèces forestières. Confronté à des contraintes de même type, le forestier pourra ainsi faire des hypothèses concernant les possibilités d'enracinement de ces espèces, en déduire des conséquences en termes de réserve en eau disponible et de stabilité, ce qui lui donnera des éléments pour le choix des objectifs. Les matériaux étudiés ne sont en effet pas exceptionnels en région lorraine, et les contraintes rencontrées peuvent l'être dans d'autres types de matériaux y compris bien sûr dans d'autres régions. Il est seulement

indispensable que le gestionnaire prenne le temps de définir clairement sur le terrain les caractères des sols susceptibles d'influencer les enrachements. L'alimentation hydrique pourrait jouer dans les années à venir un rôle de plus en plus important dans le comportement des peuplements forestiers.

Pour le praticien, il n'est bien sûr pas possible de modifier fortement les niveaux de contraintes du sol. En revanche, le gestionnaire peut moduler la structure des peuplements et les régimes d'éclaircies selon les types de stations et de contraintes de façon à « gommer » quelque peu les contrastes naturels entre sites, et à minimiser la compétition pour l'eau lors de périodes à déficits pluviométriques importants. ■

(1) *Écosystèmes Forestiers et Dynamique du Paysage, UMR Inra-Engref 1092 Lerfob, Engref, 54042 Nancy cedex.

**Dynamique des Systèmes Forestiers, UMR Inra-Engref 1092 Lerfob, Engref, 54042 Nancy cedex.

***Équipe Croissance et Production, UMR Inra-Engref 1092 Lerfob, Inra-Nancy, 54280 Champenoux cedex.

(2) Horizon à forte densité apparente, compact voire durci (« pan ») mais fragile (« fragi »), situé à 60-120 cm.

Résumé

Cet article compare les complexes sol-racines de chablis de chênes et de hêtres adultes observés suite à la tempête de décembre 1999 dans huit types de stations présentant des contraintes édaphiques différentes. D'une façon générale, les hêtres chablis sont plus gros et plus hauts que les arbres debout. Le hêtre apparaît nettement plus sensible aux contraintes du sol que le chêne, ce qui se traduit par la mise en place d'un système d'autant plus traçant que la ou les contraintes sont fortes (augmentation de la surface du complexe sol-racine). Les chênes sont globalement moins sensibles, notamment vis-à-vis de la contrainte liée à l'engorgement. Même si les racines apparaissent déformées, l'enracinement est généralement plus profond et les mottes résultant du déracinement moins « aplaties ».

Mots-clés : chênes, hêtre, Lorraine, stabilité, système racinaire.

Remerciements

Cette étude a été soutenue financièrement par la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt (DERF) du Ministère de l'Agriculture (projet ECOFOR n°2000-42) et la région lorraine (projet FORBOIS 1420A).

Bibliographie

- **Becker (M.).** Une étude phyto-écologique sur les plateaux calcaires du Nord-Est (Massif de Haye, 54). Utilisations des correspondances dans la typologie des stations. Relations avec la productivité et la qualité du hêtre et du chêne. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 36, n°2, 1979, p. 93-124.
- **Drexhage (M.), Lebourgeois (F.), Jabloul (B.), Bruclamacchie (M.).** Tempête et Racines. Dossier : stabilité des peuplements forêt-entreprise, n°139, 2001-3, p. 46-49.
- **Lebourgeois (F.), Archevêque (G.), Bruclamacchie (M.), Collin (F.), Drexhage (M.), Jabloul (B.), 2002.** Analyse des systèmes racinaires d'essences feuillues et résineuses dans différentes situations sylvicoles et stationnelles. Rapport Scientifique Final, Projet FORBOIS 1420 A. — Nancy : ENGREF-LERFOB, juin 2002, 72 p.
- **Lebourgeois (F.), Granler (A.), Bréda (N.).** Variations climatiques en France : +1,2°C depuis 40 ans. *Forêt-entreprise*, n°139, 2001-3, p. 53-47.
- **Lebourgeois (F.), Jabloul (B.).** Enracnements comparés des chênes (sessile et pédonculé) et du hêtre sur différents matériaux. *Réflexions sur l'autécologie des essences*. *Revue Forestière Française*, vol. 54, n°1, 2002, p. 17-42.
- **Riou-Nivert (Ph.).** Facteurs de stabilité des peuplements et gestion de l'équilibre. *Forêt-entreprise*, n°139, 2001-3, p. 17-25.