

ENRACINEMENTS COMPARÉS DU CHÊNE SESSILE, DU CHÊNE PÉDONCULÉ ET DU HÊTRE. RÉFLEXIONS SUR L'AUTÉCOLOGIE DES ESSENCES

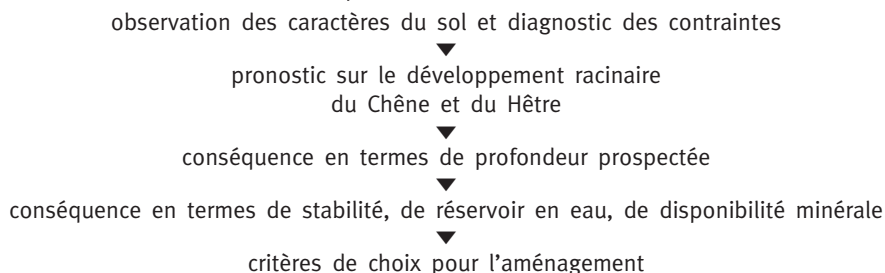
FRANÇOIS LEBOURGEOIS - BERNARD JABIOL

Même si, depuis quelques années, plusieurs études ont apporté des éléments d'information sur le développement du système racinaire selon les essences et les types de contraintes, nos connaissances restent à l'heure actuelle très empiriques. Il est clair que, sur une station donnée, l'architecture racinaire dépend avant tout de la réaction de l'espèce aux contraintes du sol qui modifient parfois radicalement sa morphologie spécifique ; celle-ci ne peut s'exprimer que dans un sol sans contrainte (système traçant, pivotant, fasciculé...) (Köstler *et al.*, 1968). Les études les plus nombreuses ont été menées sur des semis ou des jeunes plants en milieux contrôlés. Dans ces conditions, les réponses des Chênes (sessile, pédonculé, rouge), du Hêtre ou encore du Sapin pectiné apparaissent effectivement différentes face à la présence d'éléments grossiers, d'un horizon compact ou engorgé, etc. (Belgrand, 1983 ; Lévy *et al.*, 1986 ; Lucot, 1994 ; Lucot et Gaiffe, 1995 ; Lévy *et al.*, 1999). Les confirmations de ces observations sur arbres adultes sont très rares (Lucot, 1994), principalement en raison de la lourdeur des techniques nécessaires pour l'extraction puis pour l'étude des systèmes racinaires (Colin *et al.*, 1995 ; Drexhage *et al.*, 1999).

Face à notre méconnaissance et aux interrogations des gestionnaires, il nous a semblé important de profiter du champ d'expérience que représentaient les parcelles dévastées par la tempête de décembre 1999 pour apporter des éléments d'information sur ces aspects. Dès février 2000, une étude soutenue financièrement par la Direction de l'Espace rural et de la Forêt (DERF) du ministère de l'Agriculture et la Région Lorraine, et couvrant une large gamme d'essences et de conditions pédo-climatiques et sylvicoles, a été entreprise (Drexhage *et al.*, 2001 ; Lebourgeois *et al.*, 2002). Parallèlement à ce travail de large ampleur encore en cours, nous avons réalisé des observations dans les différents peuplements forestiers d'un "réseau pédologique" couvrant les régions naturelles des plateaux calcaires de Lorraine et du Plateau lorrain et utilisé chaque année par l'ENGREF pour la formation des ingénieurs forestiers (FIF). L'existence de chablis de Chênes et de Hêtre à proximité des fosses pédologiques (décrites précisément et souvent analysées) a permis de relier "l'architecture" des systèmes racinaires aux types de contraintes locales et de comparer le comportement des espèces entre elles. Il ne s'agit cependant pas ici d'une étude fine de description exhaustive des racines et de leur architecture. La réponse à la contrainte a été analysée essentiellement à travers des descripteurs simples, accessibles facilement au praticien de terrain, c'est-à-dire le type et les dimensions des mottes résultant du déracinement (complexe sol-racines du chablis) et des racines et de leurs déformations éventuelles hors de la motte. Aucune information sur les racines dans la motte n'a été relevée.

Cet article a donc pour objectifs de comparer le comportement de trois essences (Chênes sessile et pédonculé selon la station et Hêtre) et d'associer cette comparaison à un type de contrainte de sol donné. C'est donc la réaction de chaque espèce face à cette contrainte que nous pouvons préciser.

Les données ainsi rassemblées pourront être utilisées de façon simple dans une démarche de pronostic accessible à tout forestier capable de réaliser une observation de sol :



MATÉRIEL ET MÉTHODES

Échantillonnage et mesures

Les résultats présentés correspondent à cinq types de milieux. Ce sont quatre stations bien ou moyennement drainées sur limon, limon et argile, argile de décarbonatation et une cinquième très mal drainée sur sable et argile. Le système racinaire d'au moins deux arbres renversés représentatifs et proches l'un de l'autre (un chêne et un hêtre) est présenté pour chaque site. Les arbres décrits ne correspondent pas à des exceptions même si on peut toujours objecter que le système racinaire des chablis peut être différent de celui des arbres épargnés ; la quantité des premiers, dans tous les cas étudiés, reste importante.

Pour chaque cas, la motte a été mesurée dans ses trois dimensions : largeur (horizontale lorsqu'on est face à la motte), hauteur et épaisseur. La surface des mottes ainsi que leur volume ont été estimés en considérant une forme ellipsoïdale. Le volume de sol prospecté a été calculé en ajoutant, à l'épaisseur de la motte mesurée, la longueur maximale observée des racines dépassant la motte, c'est-à-dire la seule "extension racinaire" hors motte. Nous avons considéré que la longueur totale correspondait à la profondeur maximale d'enracinement même si elle la sous-estime sans doute : en aucun cas, l'examen de l'extrémité des racines verticales n'a montré de cassures suggérant des prospections beaucoup plus profondes. Les déformations racinaires (éventuelles) ont été décrites sur la motte. Le diamètre des arbres à 1,30 m a également été mesuré mais aucune étude des systèmes aériens n'a été faite, l'objectif n'étant pas de comprendre pourquoi l'arbre était tombé. Chaque arbre a été photographié et des schémas des mottes et des systèmes racinaires ont été dessinés. Il est important de rappeler que les chiffres donnés dans le présent article sont des **estimations** approximatives. Il faut donc davantage considérer les valeurs relatives entre les deux espèces que les chiffres bruts.

Le réservoir en eau disponible pour les arbres a été estimé classiquement à partir des descriptions de sol : épaisseur des horizons, coefficients texturaux de Jamagne et charge en éléments grossiers (Baize et Jabiol, 1995) et en prenant en compte les limites d'enracinement révélées par l'examen des mottes. À chaque fois, il a été replacé dans le contexte mésoclimatique lorrain (pluviométrie annuelle de 760 mm et de 335 mm de mai à septembre pour la station de Nancy-Tomblaine).

Rappels sur les contraintes du sol sur l'enracinement

Le sol est susceptible de présenter vis-à-vis de la croissance ou du développement racinaire des contraintes multiples (Baize et Jabiol, 1995) :

- *Forte compacité*

Elle est diagnostiquée par une “résistance à la pénétration”, par exemple d’une lame de couteau ou d’une tarière, de préférence sur un sol humide. Dans un horizon “compact”, les racines peuvent difficilement croître en longueur sauf si la porosité du sol est de taille suffisante (“macro-porosité”) ; inversement, un horizon “meuble” est très prospectable.

- *Absence de macroporosité*

Cette contrainte est d’autant plus forte que l’horizon sera compact. Seule une partie de la macroporosité est accessible à l’observation sur fosse, c’est celle liée à l’activité des animaux fouisseurs et celle liée à l’organisation du sol en agrégats qui définit la **structure** : une structure en agrégats (polyédrique, grumeleuse...) est associée à une forte porosité et est donc favorable à la croissance racinaire. Une structure **massive** (sans agrégats, aspect d’une motte de beurre) associée à une compacité forte représente une contrainte importante.

Remarques importantes :

– **une structure en agrégats ne peut pas être diagnostiquée à la tarière pédologique** mais seulement sur fosse. Un horizon profond compact peut être très prospectable si la structure est en agrégats, improspectable si elle est massive, et le creusement d’une fosse est indispensable pour le diagnostic !

– il ne faut jamais associer teneur en argile et caractère prospectable ou non : les argiles profondes sont souvent compactes mais elles peuvent être très bien structurées et... prospectées. Inversement, un limon peut être très compacté et... improspectable.

- *Profondeur d’apparition, forme, position et pourcentage d’éléments grossiers (pierres, cailloux...)* (Lucot, 1994)

- *Engorgement du sol*

Il entraîne une asphyxie des racines non adaptées donc une forte réduction du système racinaire de certaines espèces suivie de problèmes nutritionnels, d’alimentation hydrique, de stabilité (Lévy, 1968, 1971 ; Belgrand, 1983 ; Granier et Lévy, 1981). Il entraîne également une destruction du sol (disparition des agrégats au profit d’une structure massive) et donc aggrave les difficultés d’enracinement.

Remarque : des horizons profonds à structure massive entraînent souvent un mauvais drainage vertical de l’eau et donc engorgement et hydromorphie : les contraintes sont donc souvent associées !

RÉSULTATS

1^{re} station : limon épais sur argile lourde mal drainée (figures 1a, p. 20 et 1b, p. 21)

Massif : **Forêt domaniale d’Amance** (Parcelle 32)
(Meurthe et Moselle – 54 ; 48°46' - 6°20' ; alt. 250 m)

Région naturelle : Plateau lorrain

Peuplement : futaie mélangée de Hêtre et Chêne sessile

Matériau parental : placage limoneux sur argile lourde et marnes du Lias

Profil synthétique : limon puis argile limoneuse meubles et bien drainés sur argile lourde à 80 cm, à eumull

Contrainte : argile lourde mal structurée, compacte et à mauvais drainage vertical

FIGURE 1a

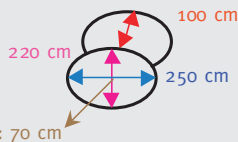
STATION 1

Massif : **Forêt domaniale d'Amance** (Parcelle 32)
 (Meurthe et Moselle – 54 ; 48°46' - 6°20' ; alt. 250 m)
 Région naturelle : Plateau lorrain
 Peuplement : futaie mélangée de Hêtre et Chêne sessile
 Matériau parental : placage limoneux sur argile lourde et marnes du Lias
 Profil synthétique : limon puis argile limoneuse meubles et bien drainés sur argile lourde à 80 cm, à eumull
 Contrainte : argile lourde mal structurée, compacte et à mauvais drainage vertical

Chêne sessile

(diamètre à 1,30 m = 45 cm)

Extension racinaire : 70 cm



Hêtre

(diamètre à 1,30 m = 55 cm)

Extension racinaire : 0 cm

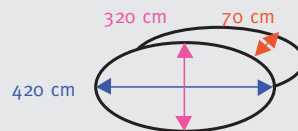
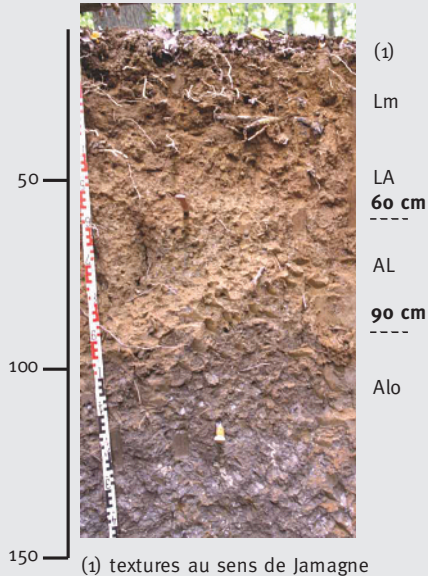


FIGURE 1b

STATION 1

description faite au pied d'un chêne



↑ Couche de limon lessivé

Horizon **très meuble** non hydromorphe
Forte prospection racinaire

Horizon **très bien structuré** non hydromorphe
Structure polyédrique **fine**
Forte prospection racinaire

↓ Argile lourde issue de marne

Horizon **très compact à structure grossière**
(gros polyèdres à prismes de 2 à 5 cm)
Traces légères **d'hydromorphie**
(revêtements ferro-manganiques et taches claires)
Enracinement observé jusqu'à 2 m (2 à 3 racines/dm²)

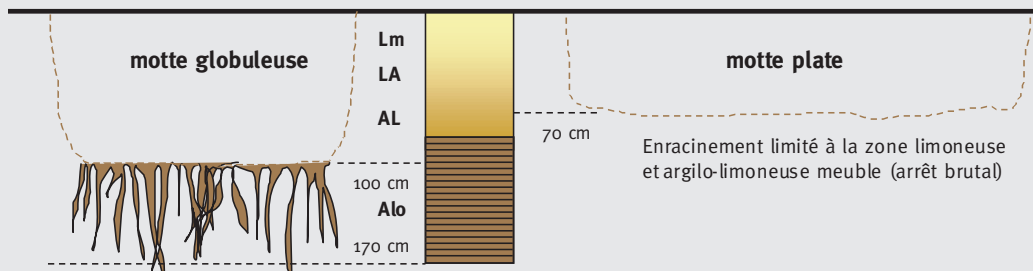


Marne carbonatée (à 2,50 m) :
enracinement du chêne très rare

Caractéristiques des mottes	Chêne	Hêtre
Surface (m ²)	4	11
Volume de la motte (m ³)	4	7
Volume prospecté (m ³)	7	7

Chêne sessile

Hêtre



Argile lourde fortement prospectée
Pivots non déformés à décroissance régulière
(diamètre : 0,5 à 1 cm à 170 cm)

- *Caractères du sol*

[d'après une description de L. Bergès (1998) et R. Chevalier]

Le sol est formé à partir de deux matériaux décrits sur la figure 1b (p. 21). Les caractères importants pour l'enracinement y sont figurés en gras. Étant donné les pH assez élevés (5 à 7 selon la profondeur), l'hydromorphie légère et floue présente dans l'argile lourde peut suffire pour témoigner de conditions temporairement asphyxiantes⁽¹⁾. Le mauvais drainage vertical de l'eau est aggravé par le caractère gonflant des argiles, ce qui fait disparaître leur porosité en période humide, et par le caractère non drainant de la couche géologique qui empêche les évacuations profondes de l'eau. Les conditions pour les racines sont donc moins favorables dans cet horizon ; cependant, la description de la fosse située au pied d'un chêne indique la présence d'un enracinement fin non négligeable (2 à 3 racines/dm²) jusqu'à 2 mètres au moins. La marne carbonatée n'apparaît pas avant 2,30 m.

- *Systèmes racinaires, contraintes et espèces*

(figures 1a, p. 20 et 1b, p. 21)

La couche de limon (et d'argile limoneuse issue de lessivage) est bien drainée et très meuble ou structurée : elle ne présente de contrainte pour aucune des deux espèces même dans sa partie inférieure enrichie fortement en argile : le système racinaire y est dense, sans déformation.

L'ensemble des contraintes de l'horizon profond se traduit, par contre, par un **arrêt brutal** de l'enracinement du Hêtre vers 70-80 cm. Aucune racine n'est visible à la base des mottes. Mais le Chêne sessile n'est lui nullement gêné puisqu'il présente dans ces argiles lourdes un enracinement dense, puissant, à décroissance régulière, sans déformation jusqu'à 1,70 m ; les observations faites sur la souche confirment et précisent donc celles de la fosse.

La largeur de la motte du Hêtre est double de celle du Chêne et sa hauteur près d'un tiers supérieure. Ceci se traduit par des formes, surfaces et volumes de motte différents : plate pour le Hêtre et globuleuse pour le Chêne avec une surface et un volume près de 3 et 2 fois supérieurs chez le Hêtre. **Les volumes de sol prospecté sont en revanche identiques** : le Hêtre compense sa moindre prospection en profondeur par une extension horizontale importante.

- *Conséquences*

Sur le plan hydrique, le Hêtre prospecte 70 à 80 cm de limon à argile limoneuse, ce qui lui procure une (très) bonne réserve hydrique (150 mm). Ce réservoir conviendrait encore très bien au Chêne sessile, pourtant plus exigeant (Becker, 1979), mais celui-ci dispose encore de plus d'un mètre prospecté soit au moins 100 mm d'eau utile supplémentaire, qui donnent à cette station une excellente potentialité. Cependant, même si ces réserves hydriques apparaissent très "confortables", la différence de prospection observée entre les deux espèces pourrait avoir des conséquences notables en cas d'années ou de succession d'années plus sèches que la moyenne. Ainsi, dans une étude comparative du comportement des Chênes (sessile et pédonculé) et du Hêtre en forêt domaniale d'Amance, Nieminen (1988) a montré que la chute de croissance pendant les crises hydriques était beaucoup moins importante chez le Chêne que chez le Hêtre, même si sa récupération était plus lente. Nos observations apportent des éléments d'explication à ces constatations. Le système racinaire du Chêne permettrait de maintenir un niveau d'alimentation hydrique meilleur en cas de sécheresse prolongée en puisant dans les réserves profondes. L'enracinement superficiel du Hêtre serait un désavantage dans ces conditions (dessèchement

(1) Les taches d'hydromorphie se marquent d'autant plus facilement, pour une durée d'engorgement donnée, que le pH du sol est acide : une "faible" hydromorphie (peu de taches) témoigne d'un engorgement "court" à pH 4, mais "long" à pH 7.

intense des horizons de surface) mais la surface plus importante du système racinaire permettrait de “profiter” plus rapidement du retour à de meilleures conditions (réhumectation du sol en surface).

Sur le plan trophique, les différences de comportement n’ont aucune conséquence car le milieu est riche en éléments minéraux dès la surface et aucun horizon carbonaté n’apparaît.

Sur le plan stabilité, la différence est fondamentale : l’arrêt brutal de l’enracinement du Hêtre le rend beaucoup plus sensible aux chablis. Ainsi, dans deux parcelles situées à proximité de la zone étudiée, le pourcentage de chablis de Hêtre s’élève à 49 % contre seulement 15 % pour le Chêne sessile (moyennes des diamètres et hauteurs comparables : 38 cm et 26 m pour le Chêne et 34 cm et 24 m pour le Hêtre : Drexhage *et al.*, 2000). En dehors d’événements exceptionnels, cette sensibilité s’avère modérée, du fait d’une épaisseur importante des couvertures limoneuses et argilo-limoneuses (80 cm), mais serait à prendre sérieusement en compte si celle-ci baissait : l’aménagiste doit se poser cette question, car d’autres observations sur la parcelle montrent des épaisseurs de limon plus faibles et même des traces d’hydromorphies nettes dès l’horizon argilo-limoneux (contrainte plus forte pour le Hêtre).

En conclusion, on peut dire que la contrainte reste modérée pour le Hêtre à cette profondeur, et nulle pour le Chêne. Autécologiquement, le Hêtre peut être tout à fait envisagé sur ce type de station. Le choix entre les deux essences, ou sur la composition d’un mélange, dépend des autres contraintes de l’aménagiste, sachant qu’il conviendrait, à l’échelle de la parcelle, de vérifier la variabilité de l’épaisseur des limons et de la présence éventuelle d’hydromorphie (souvent fonction de la microtopographie) susceptibles de “gêner” davantage le Hêtre.

2^e station : limon meuble très faiblement hydromorphe sur limon compacté

(figures 2a, p. 24 et 2b, p. 25)

Massif : **Forêt domaniale de Sainte-Hélène, “Croix du Soldat”**

(Vosges – 88 ; 48°18' - 6°40' ; alt. 340 m)

Région naturelle : limite Plateau lorrain et Collines sous-vosgiennes

Peuplement : vieille futaie mélangée régulière de Hêtre et Chêne sessile

Matériau parental : placage limoneux

Profil synthétique : limon très meuble, très peu hydromorphe, sur limon compacté (fragipan) à 50 cm, acide, à moder

Contrainte : très forte compacité de l’horizon de fragipan

• *Caractères du sol*

(analyses chimiques d’après Bonneau *et al.*, 1978)

La description est présentée dans la figure 2b. Le premier horizon limoneux est très favorable à l’enracinement. Étant donné l’acidité (pH < 5), l’hydromorphie du deuxième horizon peut être interprétée comme le résultat d’engorgement par une nappe éphémère en période hivernale, de faible épaisseur, pratiquement absente après débourement et donc probablement très peu contraignante pour les arbres.

À partir de 50 cm, il apparaît une modification brutale des conditions physiques : structure très nettement massive, sans aucun agrégat visible, et très forte compacité du limon argileux même à l’état humide (horizon appelé fragipan). Ses caractères sont *a priori* très défavorables. Les descriptions n’y signalent aucune racine mais la fosse est éloignée des arbres de plus de quatre mètres.

FIGURE 2a

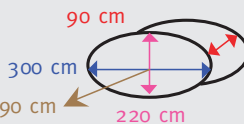
STATION 2

Massif : **Forêt domaniale de Sainte-Hélène, "Croix du Soldat"**
 (Vosges - 88 ; 48°18' - 6°40' ; alt. 340 m)
 Région naturelle : limite Plateau lorrain et Collines sous-vosgiennes
 Peuplement : vieille futaie mélangée régulière de Hêtre et Chêne sessile
 Matériau parental : placage limoneux
 Profil synthétique : limon très meuble, très peu hydromorphe, sur limon compacté (fragipan)
 à 50 cm, acide, à moder
 Contrainte : très forte compacité de l'horizon de fragipan

Chêne sessile

Extension racinaire : 90 cm

(diamètre à 1,30 m = 85 cm)



Vue de face

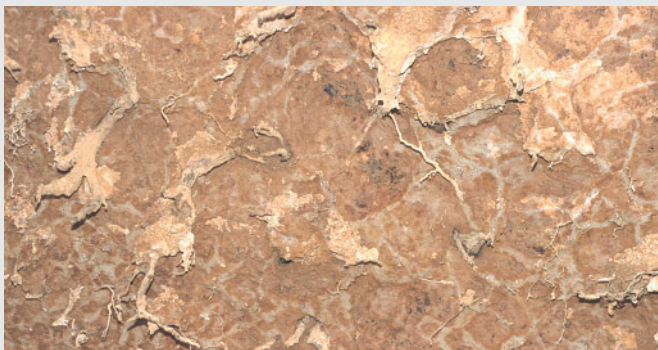
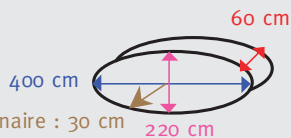


Vue de profil

Hêtre

Extension racinaire : 30 cm

(diamètre à 1,30 m = 60 cm)



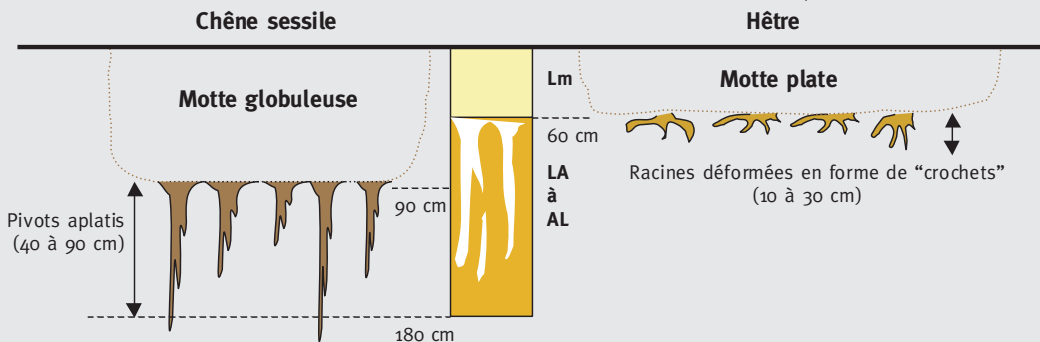
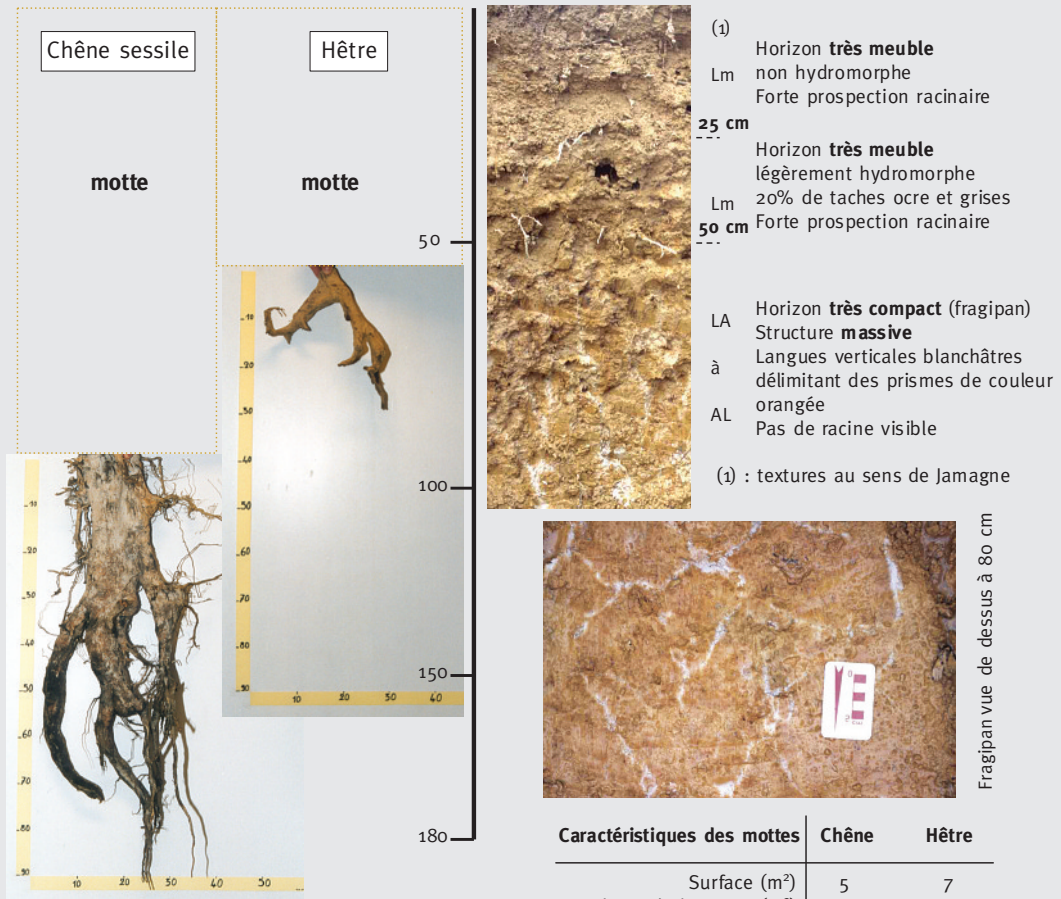
Vue de face (gros plan)



Vue de profil

FIGURE 2b

STATION 2



L'humus est de type moder. La richesse en éléments minéraux est faible mais sans doute suffisante pour les deux essences ; les horizons profonds ont un pH plus élevé (> 5), des taux de saturation plus forts, passant de 11 % à 20 ou 30 % au-delà de 50 cm (mesure à pH 7).

• *Systèmes racinaires, contraintes et espèces*
(figures 2a, p. 24 et 2b, p. 25)

L'imbrication des particules limoneuses du fragipan entraîne une très faible porosité et de fortes compacité et densité apparente : le résultat apparaît comme une contrainte forte, mais avec une différence entre Chêne et Hêtre.

La contrainte est absolue pour le Hêtre dont aucune racine ne pénètre cet horizon au-delà de 10 à 20 cm. Aucune trace de racines fines n'est visible sur la base des mottes. Le système racinaire observable est constitué de racines non cassées mais très fortement déformées ("crochets" de 10 à 20, voire 30 cm de long) témoignant bien d'un arrêt de prospection. On reconnaît sur le fond de la motte la couleur des premiers centimètres du fragipan, ce qui indique que le Hêtre prospecte bien le limon meuble sur toute son épaisseur et n'est pas gêné par la présence de la nappe éphémère. Cet engorgement ne constitue un facteur limitant pour aucune des deux espèces.

La contrainte du fragipan n'est que relative pour le Chêne qui, bien que n'arrivant pas à prospecter la masse de l'horizon, colonise intensément les veines verticales blanches en y développant de spectaculaires pivots longs (40 à 90 cm) et aplatis (3 à 5 cm d'épaisseur) bien loin du système observé dans la station 5 sans contrainte. Aucune racine ne pénètre par contre le centre des prismes délimités par ces veines blanches.

Concernant les dimensions des mottes, la largeur de celle du Hêtre est un tiers supérieur à celle du Chêne mais la hauteur est comparable. Les volumes des mottes sont également comparables, mais le **volume de sol prospecté par le Chêne est de 50 % supérieur** au volume prospecté par le Hêtre (une profondeur de 50 à 90 cm de sol est prospectée par le Hêtre, elle est de 180 cm pour le Chêne). Contrairement à l'exemple précédent, le Hêtre ne compense pas sa plus faible prospection en profondeur par une largeur plus importante.

• *Conséquences*

Sur le plan hydrique. Comme dans la première station, Hêtre et Chêne s'opposent nettement : le Hêtre dispose au plus de 60 cm de profondeur de sol (sans compter l'ancrage des "crochets" dans le fragipan) pour assurer son alimentation en eau, soit à peine 100 mm d'eau. Cette valeur semble cependant suffisante pour lui dans la région si l'on observe son comportement (au moins 30 m pour des diamètres de 40 à 60 cm) ou si l'on compare cette réserve à celle des futaies des plateaux calcaires où elle dépasse rarement 80 à 100 mm (Becker, 1978, 1979 ; Badeau, 1995). En effet, dans cette région naturelle, Badeau (1995) a montré que, pour les futaies en position de plateau, la hauteur dominante à 100 ans était déjà supérieure à 30 m pour les stations à réserves utiles faibles (< 80 mm).

La réserve serait plus limitante cette fois pour le Chêne sessile, mais celui-ci peut ici bénéficier de réserves plus profondes. Il est cependant très difficile de dire dans quelle mesure une prospection hétérogène comme celle observée est susceptible de permettre à l'arbre de bénéficier de la totalité des réserves des horizons profonds. Essayons une estimation :

- profondeur prospectée : 180 cm dont 130 cm dans le fragipan ;
- calcul théorique du réservoir en eau : l'utilisation de la méthode des textures conduirait à un résultat de 100 mm jusqu'à 50 cm puis 250 mm entre 50 à 180 cm si le contact sol-racine était parfait dans le fragipan.

La croissance du Chêne sessile sur cette parcelle est excellente : plus de 30 m de hauteur pour des diamètres supérieurs à 60 cm. Ces croissances sont supérieures aux hauteurs observées par Becker (1978, 1979) dans les hêtraies-chênaies neutrophiles de plateau de la région des plateaux calcaires de Lorraine ; sur ces stations riches décarbonatées sur au moins 40 cm, la hauteur dominante à 100 ans est comprise entre 25 et 30 m. On peut donc émettre l'hypothèse que le réservoir en eau disponible est élevé, supérieur à 150 mm, dont au moins 50 mm en provenance du fragipan : cette valeur ne représente que 20 % de la réserve qu'aurait cet horizon s'il était bien prospecté. Il est probable que l'on puisse pronostiquer un réservoir utilisé dans le fragipan égal au moins à ces 20 %.

Sur le plan trophique. Malgré l'acidité et la présence du moder, il est probable que Chêne sessile et Hêtre, deux essences frugales, trouvent les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires. Mais il n'est pas impossible que le Chêne puisse trouver un complément nutritionnel en profondeur où les horizons sont plus riches : on ne peut ni l'affirmer ni considérer que cette différence serait fondamentale pour la croissance.

Sur le plan de la stabilité, la différence de comportement entre espèces est claire : bien que l'on ne dispose pas de statistique précise sur le nombre de chablis, les hêtres sont tombés en pourcentage plus important que les chênes. L'arrêt brutal de l'enracinement du Hêtre à la base du limon meuble, le caractère brutal de la discontinuité entre les deux horizons et la présence d'une petite nappe à ce niveau ne peuvent que faciliter le décollement des mottes, surtout en période hivernale. Les pivots des chênes leur ont assuré sans nul doute une possibilité d'ancrage bien supérieure.

En conclusion, on peut dire que la contrainte, tant sur le plan hydrique que chimique, est modérée pour le Hêtre et très faible pour le Chêne. Autécologiquement, les deux essences sont à leur place sur ce type de station et le choix entre les deux espèces, ou sur la composition d'un mélange, dépend des autres contraintes de l'aménagiste. Comme pour la station précédente, le problème majeur reste la stabilité des arbres dans le cas d'événements particulièrement venteux.

3^e station : sable très hydromorphe sur argile sableuse (figure 3, p. 29)

Massif : **Forêt de Vitrimont (Bois du Grand Ban,** commune d'Hudiviller)
(Meurthe et Moselle – 54 ; 48°35' - 6°23' ; alt. 227 m)

Région naturelle : Plateau lorrain

Peuplement : futaie de Chêne sessile acidiphile à Molinie

Matériau parental : alluvions anciennes

Profil synthétique : sable très acide et très hydromorphe (blanchi jusqu'à la surface, à hydro-moder) sur argile sableuse à 45 cm, à galets

Contrainte : engorgement très prolongé jusqu'à la surface. Argile sableuse compacte et mal structurée à 80 cm. Indurations locales à profondeurs variables (galets en lentilles)

• *Caractères du sol*

(description d'après B. Jabiol et M. Gury ; analyses chimiques d'après M. Gury, 1980)

La description est présentée dans la figure 3 (p. 29). Le sable limoneux est très fortement hydromorphe jusqu'à la surface ; la forme d'humus est un hydromoder ; cette morphologie témoigne de la remontée prolongée jusqu'à la surface d'une nappe perchée, présente probablement au moins pendant toute la période hivernale : la contrainte d'hypoxie (manque d'oxygène par excès d'eau) est donc *a priori* très forte. Mais l'enracinement dans cet horizon est décrit comme dense et bien réparti (chênes à proximité). Plus en profondeur, l'enracinement observé reste globalement bien réparti (sauf dans quelques zones compactes). Ce n'est qu'au-delà de 80 cm qu'il

apparaît localisé aux fentes verticales séparant les prismes : le contact sol-racine devient donc imparfait.

L'acidité est forte (pH < 4,5), la réserve en éléments minéraux médiocre sauf dans l'argile où le taux de saturation (mesuré à pH 7) remonte à 31 %.

- *Systèmes racinaires, contraintes et espèces* (figure 3, p. 29)

Étant donné la présence d'une nappe fortement contraignante, on ne sera pas étonné de ne rencontrer sur cette station qu'un seul Hêtre, en sous-étage, et d'observer son système racinaire extrêmement superficiel puisque **limité très brutalement à environ 20-30 cm** de profondeur. Aucune racine ne prospecte les horizons inférieurs, ce qui se traduit par une motte très plate de faible dimension avec un volume de sol prospecté inférieur à 2 m³. Ceci confirme bien les résultats observés sur les jeunes plants (Belgrand, 1983), c'est-à-dire que le Hêtre ne possède aucune possibilité d'adaptation de ses racines à l'engorgement et que ces dernières se cantonnent dans la partie supérieure du sol. Il est d'ailleurs étonnant de voir que ce hêtre ait pu s'installer et résister si longtemps !

Pour le Chêne, les volumes de la motte et du sol prospecté sont 3 à 4 fois supérieurs à ceux observés pour le Hêtre. Il prospecte parfaitement les horizons engorgés, ce qui confirme les possibilités d'adaptations racinaires de cette espèce (Belgrand, 1983). L'aspect hétérogène de l'enracinement observé sur la motte est expliqué par une importance locale de zones indurées à galets mais, globalement, les racines atteignent parfaitement le niveau d'argile lourde. L'enracinement est dense jusqu'à 70 à 80 cm (motte) puis on observe au-delà de la motte des pivots très peu ramifiés jusqu'à 100 à 110 cm. L'argile lourde de profondeur apparaît bien comme une contrainte d'abord relative puis rapidement absolue pour le Chêne.

- *Conséquences*

Sur le plan hydrique, le blocage des racines du Hêtre face à la nappe fait que, en période estivale lorsque la nappe a disparu, la profondeur sur laquelle cette espèce peut trouver un réservoir hydrique est très faible. De plus, étant donné la texture fortement sableuse, le sol prospecté ne peut assurer une réserve en eau suffisante pour une croissance satisfaisante de l'espèce. Il est à noter que l'Épicéa commun aurait le même comportement.

Le Chêne traverse au contraire la zone engorgée, ce qui lui permet, de surcroît, **d'atteindre et prospecter les horizons argileux et d'y trouver une réserve hydrique** car ceux-ci sont prospectables : cette condition est indispensable dans tous les cas pour assurer une croissance satisfaisante de ces arbres. Le réservoir hydrique peut être estimé à 120 mm par la méthode des textures et en prenant en compte l'hétérogénéité de l'enracinement.

En conclusion, nous insisterons encore sur le fait que, malgré la forte contrainte d'engorgement, cette station peut présenter des aptitudes à la production du Chêne sessile **grâce au caractère au moins partiellement prospectable du plancher argileux et donc à son réservoir en eau**. Si les textures de surface étaient plus limoneuses, le réservoir serait plus important et la station plus favorable au Chêne pédonculé (Lévy et Lefèvre, 2001). Inversement, une essence comme le Hêtre, ne supportant pas l'engorgement de surface, ne peut bénéficier de ce réservoir.

Sur le plan trophique, les horizons profonds peuvent sans doute représenter une source non négligeable d'éléments chimiques étant donné la pauvreté de surface et l'humus de type moder à C/N élevé (22,6) ; aucune étude scientifique ne permet cependant actuellement d'étayer cette hypothèse qui ne repose que sur des observations. Si elle était vérifiée, cela signifierait qu'une

FIGURE 3

STATION 3

Massif : **Forêt de Vitrimont (Bois du Grand Ban**, commune d'Hudiviller)
 (Meurthe et Moselle – 54 ; 48°35' - 6°23' ; alt. 227 m)
 Région naturelle : Plateau lorrain
 Peuplement : futaie de Chêne sessile acidiphile à Molinie
 Matériau parental : alluvions anciennes
 Profil synthétique : sable très acide et très hydromorphe (blanchi jusqu'à la surface, à hydromoder) sur argile sableuse à 45 cm, à galets
 Contrainte : engorgement très prolongé jusqu'à la surface. Argile sableuse compacte et mal structurée à 80 cm. Indurations locales à profondeurs variables (galets en lentilles)



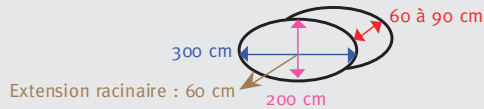
(1) Horizons très hydromorphes jusqu'à la surface, blanchis, faiblement caillouteux
 Taches ocre à la base
 Enracinement fort et bien réparti

Caractéristiques des mottes	Chêne	Hêtre
Surface (m ²)	5	5
Volume de la motte (m ³)	3 à 4	1,5
Volume prospecté (m ³)	6	1,5

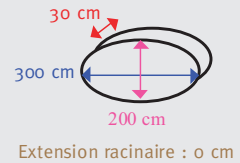
45 cm ...
 AS Horizon très hydromorphe gris clair avec taches rouille nettes.
 Structure polyédrique grossière bien exprimée sauf localement.
 Horizon compact avec quelques galets.
 Enracinement dense bien réparti sauf localement.

80 cm ...
 Alo Argile lourde, sableuse, ocre et grise.
 Structure polyédrique à prismes d'environ 5 cm.
 Assez compact avec des charges variables en galets (< à 20 %).
 Enracinement vertical dans les fentes.

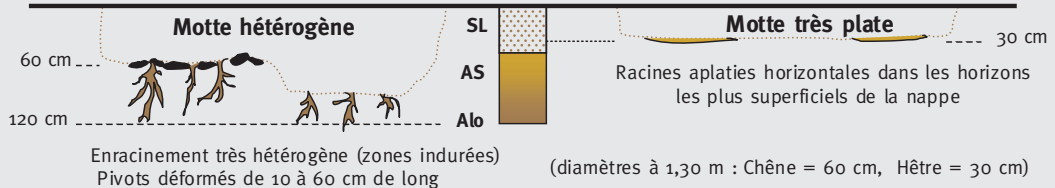
(1) textures au sens de Jamagne



Chêne sessile



Hêtre



essence à enracinement superficiel comme le Hêtre ne profiterait pas de ces réserves profondes d'une part, et d'autre part ne participerait pas à la remontée biologique d'éléments, favorisant ainsi l'acidification des horizons de surface. Notons que l'acidité de la station et la texture sableuse augmentent les risques de gélivure du Chêne (Cinotti, 1990).

Sur le plan stabilité, l'enracinement dans le plancher n'a pas suffi à assurer la stabilité des chênes : le peuplement est quasiment rasé. La présence de la nappe a sûrement facilité l'arrachage des arbres, entraînant une faible résistance mécanique des sols.

En conclusion, cette station présente des niveaux de contraintes très élevés mais variables selon l'espèce. Le Hêtre n'y est pas du tout à sa place. La contrainte majeure pour le Chêne n'est pas liée directement à l'engorgement mais à la réserve hydrique du sol assez moyenne, liée en partie à la présence de zones indurées et à la pauvreté minérale des horizons de surface. Sur ce type de sol, le problème de la régénération naturelle est essentiel (Becker et Lévy, 1983 ; Lévy *et al.*, 1990). La mise en valeur de tels sols est très délicate et il est à noter que des pins sylvestres ont été plantés à proximité du site étudié. Cette essence est d'ailleurs sans conteste adaptée à ce type de station.

4^e station : argiles de décarbonatation sur calcaire en place (figures 4a, p. 33 et 4b, p. 34)

Massif : **Bois du Chapitre** (parcelles 3, 10, 13 et 15)
(Meurthe et Moselle – 54 ; 48°48' - 6°10' ; alt. 370 m)

Région naturelle : butte témoin des plateaux calcaires de Lorraine

Peuplement : hêtraie-chênaie mésophile irrégulière et mélange d'essences diverses

Matériau parental : calcaire corallien ou oolithique

Profil synthétique : argiles de décarbonatation très bien structurées sur calcaire à profondeur variable

Contrainte : calcaire de faciès variés : dalle horizontale, plaquettes, cailloux globuleux

• *Caractères du sol*

(description et analyses chimiques d'après B. Jabiol)

Les sols de ces plateaux calcaires sont caractérisés par la présence d'une couche d'argile de décarbonatation reposant sur la roche calcaire. Mais la variabilité locale y est très grande, conduisant à une forte hétérogénéité des profondeurs prospectables : possibilité de présence d'une couverture limoneuse de surface, épaisseur variable des argiles de décarbonatation avant les premiers cailloux calcaires, et surtout mode de fragmentation de ces calcaires : fragmentation en dalles ou plaquettes pour les faciès oolithiques (calcaires à petits grains ressemblant à des œufs de poisson), fragmentation en boules pour les faciès coralliens.

La présence de limon ou l'épaisseur d'argile influenceront directement la profondeur prospectée ; leurs qualités physiques sont toujours excellentes et favorables à l'enracinement : les limons sont très meubles (sauf tassements anthropiques) et les argiles extrêmement bien structurées dans ce contexte saturé en calcium. Plus profondément, les faciès des calcaires influencent considérablement les possibilités de prospection dans la roche fragmentée, et leur variabilité est forte et imprévisible.

Les horizons de surface sont toujours décarbonatés ; ce n'est qu'au niveau de fragmentation de la roche que la terre fine se charge en calcaire fin, entraînant une effervescence à l'acide.

Le plus souvent, l'apparition des éléments grossiers est brutale, ce qui permet facilement de définir leur profondeur d'apparition. Leur taux passe alors à des valeurs de 50 à plus de 70 % en volume avec des formes et disposition variables. L'effervescence à l'acide peut apparaître à ces niveaux.

En raison de cette très grande hétérogénéité locale, il n'a pas été possible de trouver côté à côté un hêtre et un chêne présentant le même niveau de contrainte. La comparaison directe n'étant pas possible, nous avons choisi d'analyser successivement la réponse du Hêtre et du Chêne à la profondeur d'apparition du calcaire en place (qui représente ici la contrainte principale) en présentant, pour chaque essence, 4 exemples de chablis rencontrés à une distance de l'ordre de 15 à 20 m les uns des autres.

- *Systèmes racinaires, contraintes et espèces*
(figures 4a, p. 33 et 4b, p. 34)

Cas du Hêtre (figure 4a)

Le système racinaire du Hêtre est d'autant plus superficiel (motte plate) que l'apparition des éléments grossiers (EG) est proche de la surface et que ces éléments sont en place (disposition horizontale dans le sol) (figure 4a, p. 33). L'apparition des éléments grossiers entre 20 et 30 cm sur toute la motte (HET 1 et 2) se traduit par une surface de la motte double de celle des autres hêtres (HET 3 et 4) (tableau ci-dessous) en liaison avec une largeur nettement plus importante (figure 4a). On peut donc dire que le Hêtre compense, au moins partiellement, un manque de profondeur par une forte extension latérale.

Caractéristiques des mottes	HET (1)	HET (2)	HET (3)	HET (4)
Profondeur d'apparition des EG (cm)	20	40	30-60	100
Surface (m ²)	13	14	7	8
Volume de la motte (m ³)	5	8	6	8
Volume prospecté (m ³)	5	8	8	8

Des racines aplaties et très déformées sont observables entre les éléments grossiers et les dalles ainsi qu'un chevelu racinaire dense à la base des mottes. L'extension racinaire hors de la motte est généralement absente ou très réduite. La forte hétérogénéité du milieu est observable sur certaines mottes. Par exemple, le Hêtre 3 présente sur un côté un profil de grosses dalles rectangulaires en place dès 20-30 cm (figure 4a, A) et de l'autre une épaisseur importante de limon argileux avec une dalle n'apparaissant qu'à partir de 60-70 cm (figure 4a, B) !

Selon l'épaisseur de la couche limono-argileuse, le pourcentage d'éléments grossiers et l'hétérogénéité du milieu en terme de profondeur prospectable, le **réservoir hydrique** peut être estimé, dans la majorité des cas, entre 40 et 80 mm (HET 1, 2 et 3), ce qui représente des valeurs assez faibles dans le contexte climatique étudié. Cependant, la réserve peut atteindre localement une valeur nettement supérieure comme le montre le Hêtre 4 (plus de 150 mm grâce à une couverture limoneuse de quelques décimètres). D'un point de vue pratique, il apparaît donc très difficile de calculer et d'attribuer, dans un tel contexte édaphique, une valeur moyenne de réservoir hydrique à une parcelle forestière.

Sur le plan trophique, les différences de comportement n'ont aucune conséquence car le milieu est riche en éléments minéraux dès la surface. La présence d'horizon carbonaté n'est pas un facteur limitant pour le Hêtre.

Cas du Chêne (figure 4b)

La présence d'une dalle horizontale en place proche de la surface modifie fortement l'architecture du système racinaire du Chêne (motte plate). Cependant, contrairement au Hêtre, l'apparition des éléments grossiers entre 20 et 30 cm (CHP 1 et CHS 1) se traduit par une **réduction**

d'environ un tiers de la surface de la motte (tableau p. 33) et en conséquence d'une réduction considérable du volume prospecté. Le Chêne ne semble donc pas capable de "compenser" latéralement la limitation de son développement racinaire vertical.

Une forte charge en cailloux globuleux et plaquettes remaniées (longueur : 15 cm ; largeur : 8 cm ; épaisseur : 1 à 3 cm) ne constitue pas une contrainte "très forte" pour le développement racinaire profond du Chêne.

Ainsi, malgré une très forte charge en éléments grossiers dès 30 à 40 cm, la densité racinaire du Chêne pédonculé 2 est très forte entre les éléments grossiers jusqu'à 110 cm avec des pivots déformés dépassant de la motte d'une vingtaine de cm. Les grosses racines latérales se développent au niveau de la zone la moins caillouteuse (40 cm). Pour le Chêne sessile 2, dont la charge en éléments grossiers n'est forte qu'à partir de 80 cm, la contrainte est très faible. Ceci se traduit par une très forte densité racinaire jusqu'à 150 cm avec des pivots déformés dépassant de 10 à 20 cm de la motte. Les grosses racines horizontales sont observées à 80 cm.

Sur le plan hydrique, le réservoir peut être estimé pour CHP1 et CHS1 entre 40 et 80 mm, ce qui apparaît très faible pour cette essence. Pour les deux autres chênes (CHP2 et CHS2), l'estimation conduit à des chiffres bien supérieurs de plus de 120 à plus de 150 mm. Cependant, ces cas sont peu fréquents sur l'ensemble du plateau.

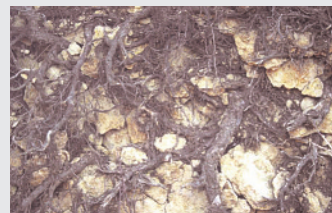
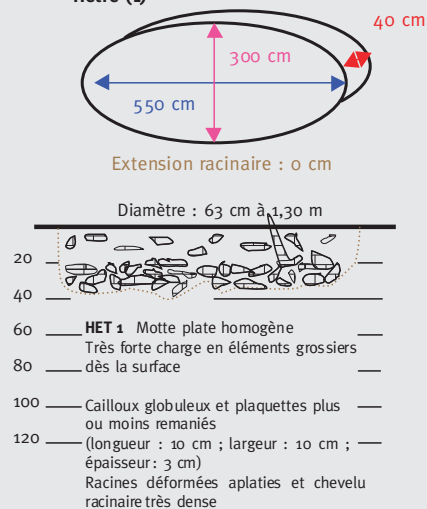
Sur le plan trophique, les différences de comportement n'ont aucune conséquence car le milieu est riche en éléments minéraux dès la surface. On peut dire que **l'enracinement des chênes n'apparaît pas gêné par la présence de calcaire fin** dans les horizons caillouteux. Cependant, il est impossible de préciser si la présence de racines à ces niveaux a des conséquences métaboliques pour cette espèce. La différence entre les deux espèces de Chêne n'a jamais été clairement démontrée même si le Chêne pédonculé est jugé plus tolérant que le Chêne sessile.

• Synthèse

Sur le plan hydrique, la différence d'enracinement entre les espèces n'apparaît pas devoir entraîner de différence de réservoir hydrique disponible pour les arbres par les méthodes de calcul habituelles. Les calculs sont difficiles (charge en éléments grossiers et hétérogénéité du sol) mais les valeurs calculées sont très généralement faibles.

Dans le contexte climatique régional, une interprétation classique nous conduirait à les juger insuffisantes pour le Chêne et correctes pour le Hêtre de par leur différence de productivité observée dans ces stations (Becker, 1979). Cependant, la comparaison des caractéristiques des mottes pour chaque espèce ne peut nous laisser indifférent, car la quantité d'eau disponible dépend bien sûr du volume de terre prospectée, c'est-à-dire aussi de l'extension horizontale : l'utilisa-

Hêtre (1)

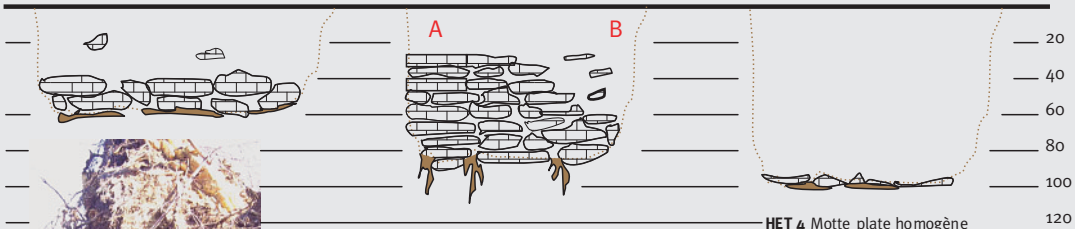
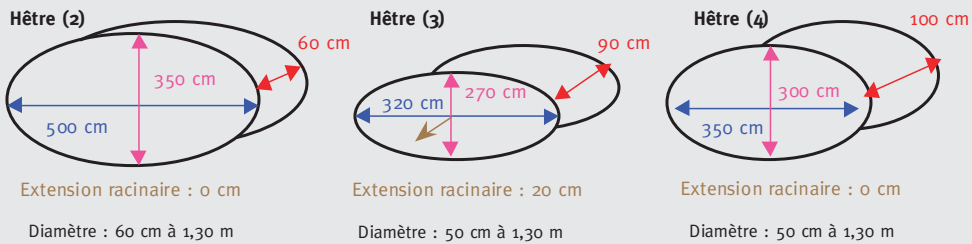


Caractéristiques des mottes	CHP (1)	CHS (1)	CHP (2)	CHS (2)
Profondeur d'apparition des EG (cm)	20	20	40	60-80
Surface (m ²)	5	4	7	8
Volume de la motte (m ³)	2	2	8	8
Volume prospecté (m ³)	4	2	10	13

FIGURE 4a

STATION 4

Massif : **Bois du Chapitre** (parcelles 13 et 15)
 (Meurthe et Moselle – 54 ; 48°48' - 6°10' ; alt. 370 m)
 Région naturelle : butte témoin des plateaux calcaires de Lorraine
 Peuplement : hêtraie-chênaie mésophile irrégulière et mélange d'essences diverses
 Matériau parental : calcaire corallien ou oolithique
 Profil synthétique : argiles de décarbonatation très bien structurées sur calcaire à profondeur variable
 Contrainte : calcaire de faciès variés : dalle horizontale, plaquettes, cailloux globuleux



HET 4 Motte plate homogène
 Rares éléments grossiers dans la motte
 Racines aplaties et chevelu radinaire très dense à 100 cm ; dalle à plus de 1 m

HET 3 Motte plate hétérogène
 Dalles rectangulaires en place
 (longueur : 20 à 50 cm ; épaisseur : 5 à 8 cm).
 Racines déformées entre les dalles dépassant de 10 à 20 cm



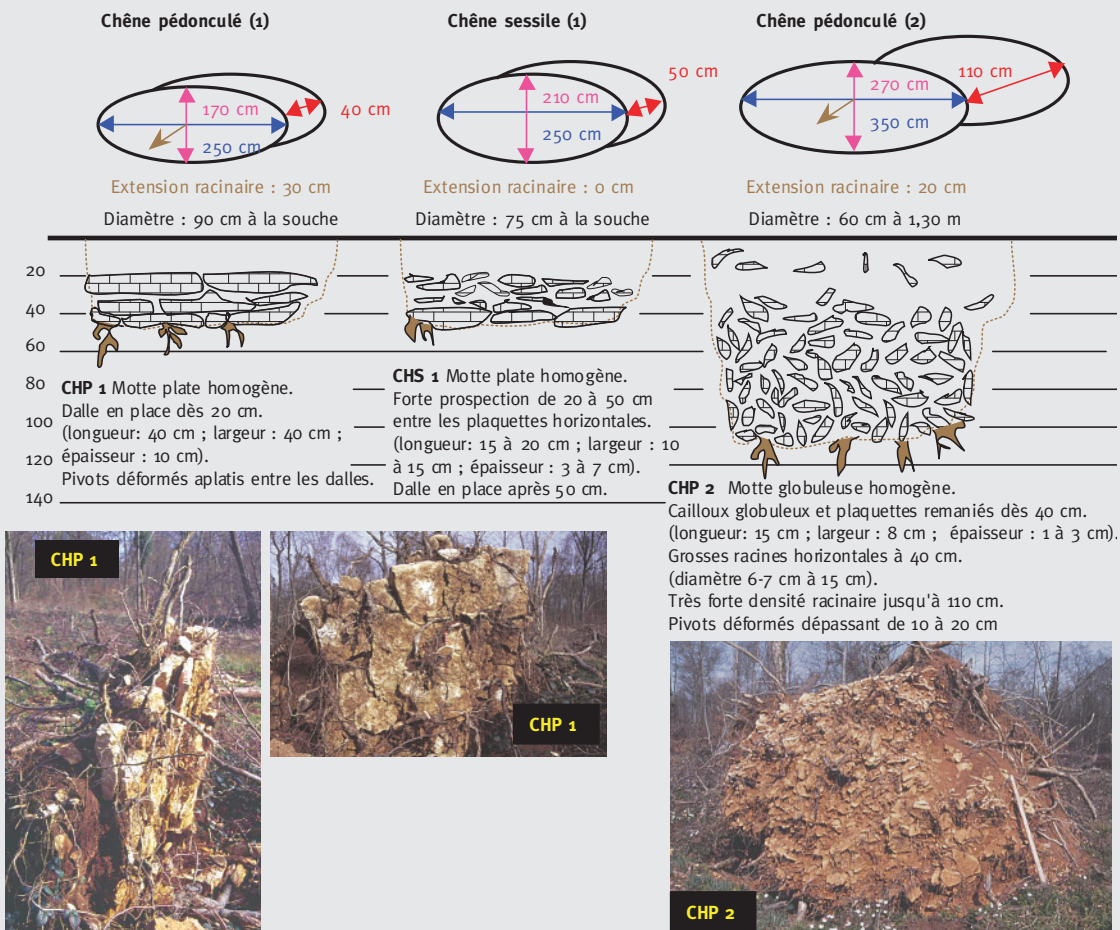
HET 2 Motte plate homogène
 Dalles rectangulaires en place
 Racines déformées aplaties entre les dalles

tion habituelle de la seule profondeur ne prend pas en compte d'éventuelles différences de prospections latérales des deux espèces en peuplements mélangés. Dans quelle mesure la motte du Hêtre lui assure-t-elle un réservoir hydrique supérieur à ce que donne un calcul n'utilisant que la notion de profondeur, et expliquerait ainsi sa meilleure croissance par rapport au Chêne sur des sols superficiels ? Les différences observées dépendent-elles en outre du traitement en futaie irr-

FIGURE 4b

STATION 4

Massif : **Bois du Chapitre** (parcelles 3, 10 et 15)
 (Meurthe et Moselle - 54 ; 48°48' - 6°10' ; alt. 370 m)
 Région naturelle : butte témoin des plateaux calcaires de Lorraine
 Peuplement : hêtraie-chênaie mésophile irrégulière et mélange d'essences diverses
 Matériau parental : calcaire corallien ou oolithique
 Profil synthétique : argiles de décarbonatation très bien structurées sur calcaire à profondeur variable
 Contrainte : calcaire de faciès variés : dalle horizontale, plaquettes, cailloux globuleux

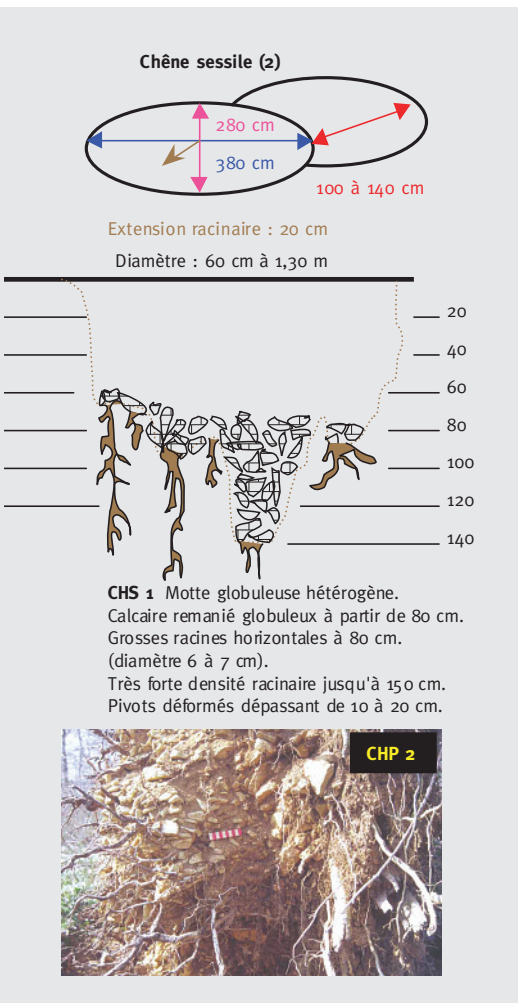


gulière et claire ? Il est impossible à l'heure actuelle de répondre à ces questions mais les études en cours nous apporteront peut-être des éléments (Drexhage *et al.*, 2001).

Pour les trois espèces, les contraintes les plus fortes correspondent à des dalles ou plaquettes en place (10 à 40 cm de long ; épaisseur 3 à 10 cm) apparaissant proches de la surface (10 à 30 cm), ce qui confirme les résultats de Lucot (1994) obtenus sur des jeunes plants. Les fortes charges en éléments remaniés ne constituent pas une contrainte forte pour le Chêne dont les pivots se développent entre les cailloux et prospectent les horizons profonds. Pour le Hêtre, la variabilité inter-individuelle est plus forte et la réaction moins homogène. Cependant, dans la grande majorité des cas, les racines (déformées) se développent entre les cailloux et arrivent à prospecter les horizons profonds. Une trame de racines fines est fréquemment observée au fond de la motte.

Sur le plan stabilité, l'inventaire exhaustif effectué sur 2,5 ha de la parcelle 9 de la forêt a montré que 52 des 110 hêtres présents étaient tombés (47 %) ainsi que 39 des 60 chênes (65 %) (Drexhage *et al.*, 2000). Les pivots des chênes ne semblent pas leur avoir assuré une possibilité d'ancrage supérieure.

En conclusion, cette station présente des niveaux de contraintes élevés mais très variables spatialement. La contrainte majeure est l'organisation des éléments grossiers proches de la surface, ce qui a un effet direct sur la réserve hydrique disponible (faible à moyenne) et sur l'ancrage des arbres. Pour l'aménagiste, le problème est le diagnostic délicat des niveaux de contrainte et le choix d'une gestion limitant la concurrence pour l'eau (spécialement pour le Chêne). Des connaissances sur d'autres essences feuillues seraient également intéressantes.



5^e station : limons sur argiles issues d'alluvions anciennes de la Moselle

(figures 5a, p. 36 et 5b, p. 37)

Massif : **Forêt domaniale de Haye**, parcelles 459 et 458, route Charlemagne

(Meurthe et Moselle – 54 ; 48°37' - 6°7' ; alt. 380 m)

Région naturelle : Plateaux calcaires de Lorraine

Peuplement : futaie âgée régulière mésophile de Hêtre et Chêne sessile

Matériau parental : alluvions très anciennes et limons

Profil synthétique : limons (à galets) sur argiles lourdes à faible profondeur (à galets), à mésomull

Contrainte (supposée) : argile lourde mal structurée compacte

• *Caractères du sol*

(descriptions d'après B. Jabiol et M. Gury et analyses chimiques d'après M. Gury, 1980)

La description est présentée dans la figure 5b (p. 37). Jusqu'à 80 cm, les caractères de compacité et de structure sont particulièrement favorables à l'enracinement.

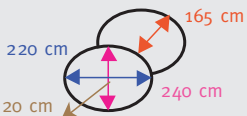
FIGURE 5a

STATION 5

Massif : **Forêt domaniale de Haye**, parcelle 459, route Charlemagne
 (Meurthe et Moselle - 54 ; 48°37' - 6°7' ; alt. 380 m)
 Région naturelle : Plateaux calcaires de Lorraine
 Peuplement : futaie âgée régulière mésophile de Hêtre et Chêne sessile
 Matériau parental : alluvions très anciennes et limons
 Profil synthétique : limons (à galets) sur argiles lourdes à faible profondeur (à galets), à mésomull
 Contrainte (supposée) : argile lourde mal structurée compacte

Chêne sessile

(diamètre à la souche = 70 cm)

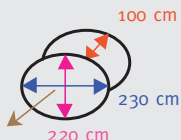


Extension racinaire : 20 cm



Hêtre

(diamètre à la souche = 80 cm)

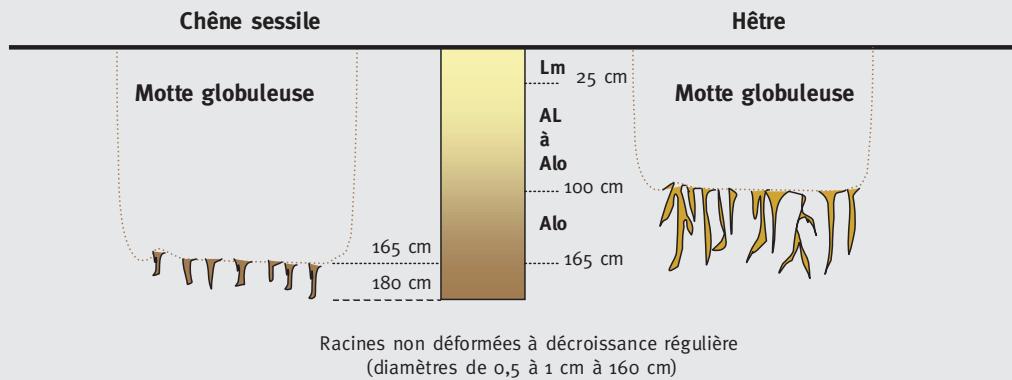
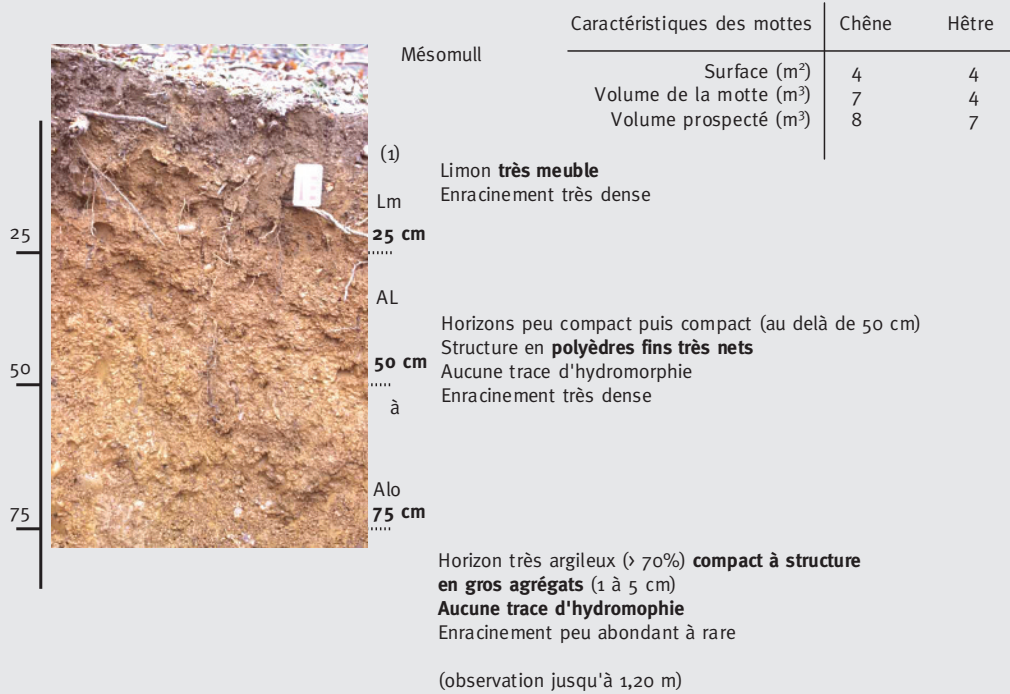


Extension racinaire : 65 cm



FIGURE 5b

STATION 5



Au-delà, une nette contrainte relative semble apparaître lorsque la structure devient plus grossière avec des agrégats moins nets de 1 à 5 cm. L'enracinement diminue alors très fortement et devient rare (moins de 1 racine par dm²) ; cependant, il faut noter qu'aucun chêne ne se trouve à proximité et que le hêtre le plus proche est à plus de 4 m. Par ailleurs, aucune hydromorphie n'apparaît dans les horizons profonds (hors quelques taches manganiques), ce qui témoigne, étant donné des pH atteignant à peine 5, que le sol reste parfaitement drainé : les horizons profonds sont perméables malgré leur très forte teneur en argile, perméabilité assurée par leur structuration. Cette observation est extrêmement importante car les caractères de porosité favorables au drainage sont également favorables à la pénétration racinaire : l'horizon profond serait-il plus prospectable que sa structure et l'enracinement observé ne le suggèrent ?

- *Systèmes racinaires, contraintes et espèces* (figures 5a, p. 36 et 5b, p. 37)

Dans ce contexte édaphique, **les systèmes racinaires des deux espèces apparaissent très semblables**. L'enracinement est très dense avec des racines non déformées cylindriques (décroissance en diamètre régulière) **jusqu'à 1,70 à 1,80 m**. Les surfaces des mottes sont comparables **ainsi que les volumes de sol prospectés** (7 à 8 m³). Ces systèmes se rapprochent des dessins des enracinements des arbres en croissance libre (Köstler *et al.*, 1968). Il semblerait donc que, lorsqu'il n'est pas limité en profondeur, le Hêtre ne présente pas une surface prospectée plus grande que celle du Chêne.

L'observation des mottes permet de dire en outre que ces argiles lourdes, **structurées en agrégats** même grossiers (1 cm), **et ne présentant aucune trace d'hydromorphie** à pH 5, ne représentent aucune contrainte à la croissance racinaire des deux espèces. Cette observation est particulièrement intéressante pour le Hêtre, espèce réputée sensible à la compacité ! Ainsi, cette réputation est sans doute davantage l'expression de la grande sensibilité de l'espèce à un mauvais drainage (qui accompagne souvent les argiles mal structurées) que l'effet de la seule compacité, comme le laisse penser en outre la présence de beaux hêtres sur pélosols de haut de versant.

- *Conséquences*

Sur les plans hydrique et trophique et sur le plan de la stabilité, aucune différence n'apparaît donc entre les deux espèces. Toutes les deux prospectent 20 à 25 cm de limon puis 150 cm d'argile, ce qui correspond à un réservoir hydrique nettement supérieur à 200 mm. Cette station offre donc une excellente potentialité dans le contexte étudié, ce qui se traduit par des hauteurs totales des arbres proches de 35 m.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

D'une façon générale, **l'enracinement du Hêtre apparaît donc nettement plus sensible aux contraintes du sol que celui des Chênes**. Un engorgement très prononcé, un mauvais drainage, une forte compacité associée à une mauvaise structuration des horizons, une dalle de calcaire en place à faible profondeur... se traduisent 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) ; le système hors contrainte étant une architecture en cœur très dense associant des racines horizontales et obliques. Mais l'exemple de la forêt de Haye illustre aussi qu'une très forte teneur en argile, même associée à une forte compacité, ne suffit pas pour définir une contrainte absolue : il faut sans doute lui associer une mauvaise structuration et une aération médiocre. Le Chêne est globalement moins sensible notamment vis-à-vis de la contrainte liée à l'engorgement

ou à des horizons compacts à mauvais drainage, ce qui confirme les observations faites par différents auteurs sur jeunes plants. Même si les racines apparaissent déformées, l'enracinement est généralement plus profond et les mottes moins "aplaties". En revanche, **en l'absence de contraintes fortes, Chêne et Hêtre présentent des complexes sol-racines tout à fait comparables.**

S'il est clair que l'importance des chablis est notamment liée à la structure des peuplements (Dhôte, 2000 ; Armand et Lemarchand, 2001), le lien avec le type de systèmes racinaires (et donc l'essence), le sol et la profondeur d'enracinement l'est encore plus et ne doit pas être oublié par le forestier. Sur un sol très superficiel, même un enracinement à tendance pivotante reste superficiel. Dans notre étude, les conséquences de l'enracinement sur la stabilité différente du Hêtre et du Chêne n'ont pu être mises en évidence qu'en forêt d'Amance (limon sur argile lourde) où le Chêne s'est avéré nettement plus stable. Pour les autres cas, l'absence de comptage n'a permis que d'avancer des hypothèses :

- pas de différence de stabilité sur sol superficiel sur dalle calcaire ou au contraire sur sol sans contrainte ;
- meilleure stabilité du Chêne sur sol engorgé et sur fragipan.

Les limitations et les déformations du système racinaire modifient aussi considérablement les conditions d'alimentation locale en eau, analysée à travers l'estimation du réservoir hydrique (calculée sur la profondeur prospectée). Depuis quelques années, différents travaux ont montré que les arrière-effets des facteurs favorables ou défavorables sont plus importants chez le Chêne que chez le Hêtre, dont la croissance semble être conditionnée presque totalement par les conditions hydriques de l'année d'élaboration du cerne (Nieminen, 1988 ; Badeau, 1995 ; Granier *et al.*, 1995 ; Lebourgeois, 1999). Des adaptations physiologiques ou anatomiques (architecture hydraulique, régulation stomatique, mobilisation au printemps des réserves carbonées...) semblent être à l'origine des comportements différents des deux espèces (Bréda 1994 ; Lemoine, 2000). Nos observations suggèrent en outre que la plus grande extension horizontale des racines du Hêtre sur sol superficiel pourrait également expliquer ces différences en améliorant le réservoir en eau. Pour le praticien, il n'est bien sûr pas possible de modifier le fonctionnement physiologique des espèces ou le réservoir en eau 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.

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 réservoir 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 enracinements.

D'autres types de matériaux et de contraintes n'ont pu être pris en compte ici, bien que leur étude présente un intérêt certain : nous aurions souhaité comparer également le comportement du Chêne et du Hêtre sur les sols d'argile lourde dès la surface ou à faible profondeur ; étudier l'enracinement du Chêne dans des horizons épais et carbonatés (sols colluviaux plus ou moins riches en éléments grossiers calcaires), etc. La prise en compte d'autres essences dans certains milieux aurait pu également être intéressante : Merisier dans des horizons compacts ou plus ou moins hydromorphes, essences de reboisement dans différents contextes, etc. Mais la recherche

d'échantillons aurait été sans doute délicate et incompatible avec la rapidité nécessaire pour intervenir avant l'exploitation des chablis sur les parcelles retenues.

Enfin, cette étude ne présente pas l'effet du statut social et de la dimension de l'arbre sur l'importance de la motte. Même s'il s'agit du premier facteur influençant son extension latérale et son volume (Lebourgeois *et al.*, 2002), il ne modifie pas la profondeur prospectée face à une contrainte ni la différence de réaction entre le Chêne et le Hêtre. Pour contrôler cet effet, les surfaces et les volumes prospectés ont été comparés ici pour des arbres de diamètres voisins.

François LEBOURGEOIS – Bernard JABIOL
Écosystèmes forestiers et Dynamique du Paysage
Unité mixte de Recherche INRA-ENGREF 1092
Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois
ENGREF
14, rue Girardet
CS 4216
F-54042 NANCY CEDEX
(lebourgeois@engref.fr)
(jabiol@engref.fr)

Remerciements

Cette étude a pu être réalisée grâce à des financements de la Région Lorraine et du ministère de l'Agriculture.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMAND (G.), LEMARCHAND (F.). — Quels indicateurs de stabilité des hêtraies adultes ? (Résultats d'une étude en Lorraine). — *Forêt-Entreprise*, n° 139, 2001, pp. 42-45.
- BADEAU (V.). — Étude dendroécologique du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) sur les plateaux calcaires de Lorraine. Influence de la gestion sylvicole. — Champenoux : INRA ; Université de Nancy I Henri-Poincaré, 1995. — 280 p. (Thèse de doctorat en Biologie végétale et forestière).
- BAIZE (D.), JABIOL (B.). — Guide pour la description des sols. — Paris : INRA, 1995. — 375 p.
- BECKER (M.). — Définition des stations en forêt de Haye. Potentialités du Hêtre et du Chêne. — *Revue forestière française*, vol. XXX, n° 4, 1978, pp. 251-269.
- 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, pp. 93-124.
- BECKER (M.), LÉVY (G.). — Installation et dynamique d'une population de semis de Chêne en milieu hydro-morphe sous l'influence des divers facteurs (lumière, régime hydrique, compétition herbacée). — *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, vol. 4(18), n° 3, 1983, pp. 299-317.
- BELGRAND (M.). — Comportement de jeunes plants feuillus (Chêne pédonculé, Chêne sessile, Hêtre) sur substrat ennoyé. Adaptations racinaires. Application à la mise en valeur forestière des pseudogley. — Champenoux : INRA ; INA Paris-Grignon, 1983. — 188 p. (Thèse de docteur-ingénieur).
- BERGÈS (L.). — Variabilité individuelle et collective de la croissance et de la densité du bois de *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. en relations avec les facteurs écologiques. — Nancy : ENGREF, 1998. — 347 p. (Thèse de doctorat en Sciences forestières).
- BONNEAU (M.), FAIVRE (P.), GURY (M.), HÉTIER (J.-M.), LE TACON (F.). — Carte pédologique de la France : Saint-Dié. Notice explicative. — INRA, 1978. — 158 p.

- BRÉDA (N.). — Analyse du fonctionnement hydrique des Chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé (*Quercus robur*) en conditions naturelles ; effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie. — Champenoux : INRA ; Université de Nancy I Henri-Poincaré, 1994. — 59 p. + publications (Thèse de doctorat en Biologie végétale et forestière).
- CINOTTI (B.). — Le Déterminisme de la gélivure des chênes : un nouveau bilan. — *Revue forestière française*, vol. XLII, n° 6, 1990, pp. 585-598.
- COLIN (F.), DANJON (F.), WEHRLÉN (L.). — Études racinaires au sein du programme "croissance" de l'INRA (*Quercus petraea* et *Pinus pinaster*). — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 165-172.
- DHÔTE (J.-F.). — Composition, structure et résistance des peuplements. pp. 101-116. In : Les écosystèmes forestiers dans les tempêtes / J.-C. Bergonzini, O. Laroussinie Eds. — Paris : ECOFOR, 2000. — 133 p.
- DREXHAGE (M.), CHAUVIÈRE (M.), COLIN (F.), NIELSEN (C.). — Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petraea*. — *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 29, 1999, pp. 600-608.
- DREXHAGE (M.), LEBOURGEOIS (F.), JABIOL (B.), BRUCIAMACCHIE (M.). — La Tempête de décembre 1999 : une occasion pour étudier les systèmes racinaires d'arbres adultes. — *Forêt-Entreprise*, n° 139, 2001, pp. 46-49.
- DREXHAGE (M.), BRUCIAMACCHIE (M.), LEBOURGEOIS (F.), JABIOL (B.), COLIN (F.). — Analyse des systèmes racinaires d'essences feuillues et résineuses dans différentes situations sylvoles et stationnelles. Application à l'évaluation de la stabilité et aux bilans carbonés. — Projet ECOFOR n° 2000-42, Rapport scientifique intermédiaire, décembre 2000. — 17 p.
- GRANIER (A.), BADEAU (V.), BRÉDA (N.). — Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 59-68.
- GRANIER (A.), LÉVY (G.). — Influences des conditions d'engorgement du sol sur l'évolution de l'état hydrique de jeunes plants d'Épicéa (*Picea abies* L.). — *Annales des Sciences forestières*, vol. 38, n° 2, 1981, pp. 179-198.
- GURY (M.). — Excursion pédologique en Lorraine, livret guide. — Nancy-Vandœuvre : CNRS-CPB, 1980. — 35 p. (Document photocopié).
- KÖSTLER (J.N.), BRÜCKNER (E.), BIBELRIETHER (E.). — Die Wurzeln des Waldbäume. — Hamburg (Allemagne) : Verlag Paul Parey, 1968. — 284 p.
- LEBOURGEOIS (F.). — Analyse du bilan hydrique et de la croissance des arbres dans le RENECOFOR. Rapport scientifique final, Union européenne, DG VI, projet n° 9760FR0030, INRA, CEE. — Champenoux : INRA - Unité d'Écophysiologie forestière, 1999. — 72 p.
- LEBOURGEOIS (F.), ARCHEVÊQUE (G.), BRUCIAMACCHIE (M.), COLIN (F.), DREXHAGE (M.), JABIOL (B.). — Analyse des systèmes racinaires d'essences feuillues et résineuses dans différentes situations sylvoles et stationnelles. Rapport scientifique final, Projet FORBOIS 1420A. — Nancy : ENGREF-LERFOB, juin 2002. — 72 p.
- LEMOINE (D.). — Fonctionnement hydrique du Hêtre : architecture hydraulique et sensibilité à la cavitation. — Champenoux : INRA ; Université de Nancy I Henri-Poincaré, 2000. — 77 p. + publications (Thèse de doctorat en Biologie végétale et forestière).
- LÉVY (G.). — Importance des propriétés du sol pour l'enracinement de *Picea excelsa* et de *Pinus sylvestris*. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 25, n° 3, 1968, pp. 157-188.
- LÉVY (G.). — Influence de l'engorgement de printemps et de la sécheresse d'été sur le comportement de jeunes plants d'Épicéa. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 28, n° 4, 1971, pp. 403-423.
- LÉVY (G.), BECKER (M.), GARREAU (B.). — Comportement expérimental de semis de Chêne pédonculé, Chêne sessile et Hêtre en présence d'une nappe d'eau dans le sol. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 43, n° 2, 1986, pp. 131-146.
- LÉVY (G.), FROCHOT (H.), BECKER (M.). — Installation des peuplements de Chêne et facteurs du milieu. — *Revue forestière française*, vol. XLII, n° 2, 1990, pp. 240-245.
- LÉVY (G.), LEFÈVRE (Y.). — La Forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire. — Nancy : ENGREF, 2001. — 223 p.
- LÉVY (G.), LEFÈVRE (Y.), BECKER (M.), FROCHOT (H.), PICARD (J.-F.), WAGNER (P.-A.). — Les Excès d'eau : influence sur la croissance des chênes. — *Revue forestière française*, vol. LI, n° 2, 1999, pp. 151-161.
- LUCOT (E.). — Influence des caractéristiques de la pierrosité des sols sur la prospection racinaire et l'alimentation hydrique des arbres. Application à l'estimation de la valeur des sols forestiers. — Université de Franche-Comté, 1994. — 101 p. (Thèse).

- LUCOT (E.), GAIFFE (M.). — Méthode pratique de description des sols forestiers caillouteux sur substrat calcaire. — *Étude et Gestion des Sols*, vol. 2, n° 2, 1995, pp. 91-104.
- NIEMINEN (T.). — Étude dendroécologique du Chêne (pédonculé et sessile) et du Hêtre dans une forêt de la Plaine lorraine. — Champenoux : INRA ; Université de Nancy I, 1988. — 40 p. (DEA de Biologie végétale et forestière).

ENRACINEMENTS COMPARÉS DU CHÊNE SESSILE, DU CHÊNE PÉDONCULÉ ET DU HÊTRE. RÉFLEXIONS SUR L'AUTÉCOLOGIE DES ESSENCES [Résumé]

Cet article compare les complexes sol-racines de chablis de Chênes sessile et pédonculé et de Hêtres adultes observés suite à la tempête de décembre 1999 dans 5 types de stations présentant des contraintes édaphiques différentes (régions naturelles du Plateau lorrain et des Plateaux calcaires de Lorraine). Quatre stations correspondent à des sols bien ou moyennement drainés sur limons, limon et argile, argile de décarbonatation. Une autre correspond à un sol très mal drainé sur sable et argile. Les contraintes sont liées à la compacité des horizons, à leur mauvais drainage, leur mauvaise structuration, à la présence d'une nappe temporaire ou à la profondeur d'apparition d'une dalle calcaire en place. D'une façon générale, 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". En revanche, en l'absence de contraintes fortes, Chêne et Hêtre présentent des complexes sol-racines tout à fait comparables. Les effets de ces déformations sont discutés en terme de conséquences sur l'alimentation hydrique et minérale et sur la stabilité des arbres.

A COMPARISON OF THE SOIL-ROOT COMPLEX OF SESSILE OAK, PEDUNCULATE OAK AND COMMON BEECH. REFLECTIONS ON THE AUTECOLOGY OF SPECIES [Abstract]

This article compares the "soil-root" complex of mature pedunculate and sessile oaks and common beech uprooted by the tempest of December 1999 in northeastern France (the Lorraine tableland and limestone Lorraine tableland). The major edaphic constraints arise from soil compactness, poor structure, waterlogged horizons, and depth of calcareous slab. Beech appears more sensitive than oak to soil constraints. The greater the constraint, the more superficial the "soil-root" complex appears to be. The results are discussed in terms of water balance, mineral nutrition and tree stability.
