

COMPORTEMENT DES ESSENCES FORESTIÈRES SUR SOL À NAPPE TEMPORAIRE

YVES LEFÈVRE - FRANÇOIS LEBOURGEOIS - NATHALIE BRÉDA

En France, on considère qu'environ 2 millions d'hectares de sols forestiers sont concernés par des nappes temporaires. Ces sols sont difficiles à mettre en valeur, et les prévisions de changement du climat annoncent une modification de la répartition saisonnière des pluies, avec moins de pluie en été et davantage en hiver. Cette nouvelle répartition de la pluviométrie risque donc d'aggraver encore les contraintes relatives à ces sols, sur lesquelles nous revenons ici.

Un sol à nappe temporaire est un sol qui présente à une profondeur variable un horizon relativement imperméable, couramment appelé plancher. Au-dessus de cet horizon se forme une nappe (dite perchée) lorsque l'apport d'eau est plus important que la quantité qui peut s'infiltrer verticalement, s'évacuer latéralement ou être évapotranspirée. Elle est présente de la fin de l'automne au printemps et peut remonter jusqu'à la surface du sol. La macroporosité des horizons de surface est saturée en eau (engorgement) et l'atmosphère du sol est fortement déficitaire en oxygène (hypoxie). Dans ces conditions, des modifications physico-chimiques des minéraux par oxydo-réduction provoquent la redistribution de fer et de manganèse (blanchiment, taches rouille, concrétions) : ce sont les traces d'hydromorphie. En été, la nappe est inexistante et cette période est souvent marquée par une sécheresse édaphique sévère. Ces sols présentent donc deux contraintes qui se succèdent dans le temps et dont les intensités sont liées d'abord à la pluviosité, ensuite à la topographie, et enfin à la morphologie du profil. Cette morphologie est issue de la pédogenèse et dépend de la nature des matériaux parentaux.



Exemple d'un fossé de drainage
réalisé dans une plantation de Chênes pédonculés
(FC de Charmes, Vosges)

Photo F. LEBOURGEOIS

TABLEAU I Récapitulatif des caractéristiques des différents types de sol à nappe temporaire

Type de substrat	Limons	Substrat acide		Marnes (ou argiles riches) recouvertes de limons
Type de sol.....	Sol lessivé à pseudogley (luvisol dégradé) *	Pseudogley podzolique (rédoxisol-podzsol)	Pseudogley acide (rédoxisol-luvisol dégradé et planosol pédomorphe)	Pélosol-pseudogley (rédoxisol différencié-pélosolique et planosol sédimorphe)
Type d'humus.....	• mull	• moder • hydromoder • hydromor	• moder • hydromoder	• mull • parfois moder ou hydromoder
Texture de l'horizon de fluctuation.....	limoneuse	sableuse (sables grossiers)	• limono-sableuse • limoneuse	• limoneuse • limono-argileuse • parfois argilo-limoneuse
Type d'hydromorphie dans l'horizon de fluctuation (i).....	taches rouille à la base	blanchiment général + taches rouille à la base	• taches rouille et blanchâtres • blanchiment général + taches rouille à la base	taches rouille et blanchâtres (souvent peu marquées)
Profondeur d'apparition du plancher.....	60 cm et +	30 à 60 cm	30 à 60 cm	= 30 cm
Texture du plancher.....	• argilo-limoneuse • argileuse	argilo-sableuse	• argilo-limono-sableuse • argilo-limoneuse • limono-argileuse (compact)	• très argileuse • parfois argilo-limoneuse puis très argileuse
Type d'hydromorphie dans le plancher.....	bandes blanchâtres bordées de rouille	bandes blanchâtres bordées de rouille	bandes blanchâtres bordées de rouille	• bariolage souvent diffus • parfois traînées blanchâtres et rouille, puis bariolage diffus
Richesse minérale.....	assez riche	très pauvre en tous éléments	souvent pauvre en phosphore et potassium	assez riche parfois pauvre en phosphore
Intensité de l'hypoxie.....	très faible	assez faible	modérée à moyenne	forte
Intensité du déficit hydrique estival.....	faible	souvent très forte	forte	forte

(i) Cet horizon peut en outre présenter à sa base des concrétions noires.

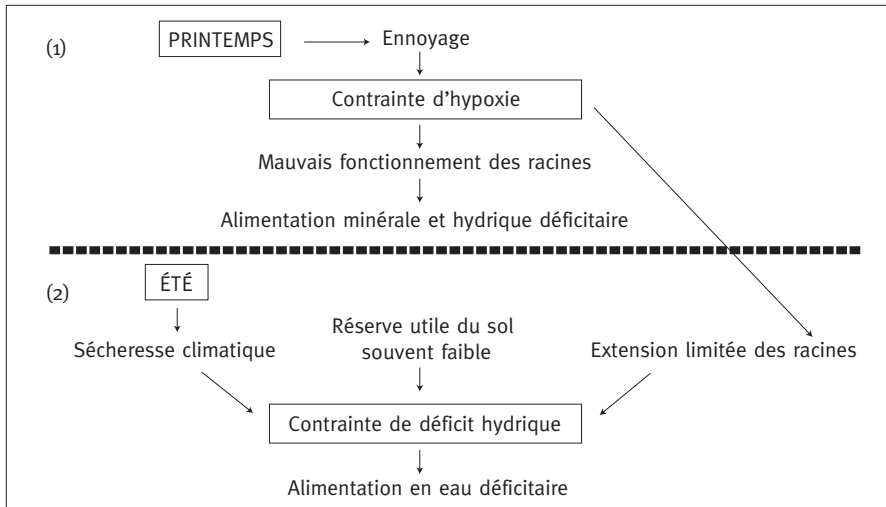
* Les noms entre parenthèses correspondent à l'appellation dans le référentiel pédologique.

— Les caractéristiques indiquées pour chaque type de sol sont les plus fréquentes. Certaines variantes peuvent s'en écarter quelque peu.

— Les * successifs, dans une même case, correspondent aux diverses possibilités ; on a alors affaire généralement à des roches-mères différentes, parfois à des situations topographiques variées.

FIGURE 1

**SUCCESION DES CONTRAINTES AUXQUELLES SONT SOUMIS LES ARBRES
SUR SOL À NAPPE TEMPORAIRE**
(d'après Lévy et Lefèvre, 2001)



(1) En période d'engorgement, le système racinaire se trouve en tout ou partie ennoyé pendant une durée variable. Le déficit en oxygène (hypoxie) limite la respiration des racines, réduit l'absorption hydrique et minérale (azotée en particulier) par les racines. La nutrition azotée est perturbée en raison de la dénitrification qui s'opère en condition anoxique et de la mauvaise nitrification de l'ammonium provenant de la minéralisation de la matière organique, par suite de la perturbation de la plupart des activités biologiques. Ces perturbations marquent l'humus, d'autant plus que le milieu est acide. La contrainte excès d'eau peut être caractérisée par les variations temporelles, au cours de la saison de végétation, de la hauteur de la nappe, de l'humidité et de l'oxygénation du sol.

(2) Le déficit hydrique estival est lié aux conséquences différées de l'hypoxie : celle-ci provoque la nécrose d'une partie du système racinaire préexistant et limite la prospection en profondeur. La colonisation des horizons profonds ne reprend que lorsque le sol est bien ressuyé. De plus, les propriétés intrinsèques des sols à nappe temporaire sont défavorables à une réserve utile élevée (faible porosité, densité apparente et compacité fortes du plancher ; faible épaisseur, structure instable, texture grossière des horizons superficiels). Ces propriétés amplifient la fréquence et l'intensité des épisodes de sécheresse. Cette contrainte est toutefois diminuée par certains facteurs compensateurs : humidité plus élevée à l'entrée de la période sèche, écoulement rapide des précipitations jusqu'au plancher où se forme un réservoir d'eau très facilement utilisable, accès possible à de l'eau du plancher argileux.

Les caractéristiques des différents types de sol à nappe temporaire sont décrites dans le tableau I (ci-contre, p. 296).

Les végétaux qui vivent sur les sols à nappe temporaire subissent les effets néfastes de la succession de conditions d'hypoxie puis de déficit hydrique. La deuxième contrainte n'est pas spécifique à ces sols mais elle est fortement accentuée dans leur cas (figure 1, ci-dessus).

Ces contraintes successives, caractéristiques sur le plan biologique, affectent le fonctionnement et la croissance des racines, modifient la phénologie et perturbent la nutrition minérale. Les conséquences forestières sont : une mortalité en plantation élevée, une régénération naturelle difficile, une faible productivité des peuplements et des risques de dépérissement et de chablis. Le comportement des essences sur ces types de sols dépend de la résultante de leur tolérance ou de leur résistance aux deux contraintes (tableau II, p. 298).

TABEAU II Quelques caractères de résistance à la sécheresse et à l'hypoxie

Traits de résistance à la sécheresse	Traits de résistance à l'hypoxie
Enracinement très pénétrant	Adaptations morphologiques avec chevelu racinaire de surface
Régulation stomatique efficace	Adaptation histologique (aérenchyme et lenticelles)
Faible vulnérabilité à la cavitation	Capacité à utiliser l'azote ammoniacal et non nitrique. Pouvoir fixateur d'azote
Chute précoce de feuilles	Débourrement tardif
Bonne efficacité d'utilisation de l'eau	Turn-over rapide des racines fines
Ajustement partie souterraine/partie aérienne (racines/feuilles)	

COMPORTEMENT DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES SUR SOL À NAPPE TEMPORAIRE

Les nombreuses études conduites ces trente dernières années avec différentes approches expérimentales ont été synthétisées dans l'ouvrage *La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire* (2001). Nous en reprenons ici les principaux enseignements complétés par des observations récentes. Par souci de clarté, nous avons retenu une présentation par type de sol.

Sol lessivé à pseudogley (luvisol dégradé)

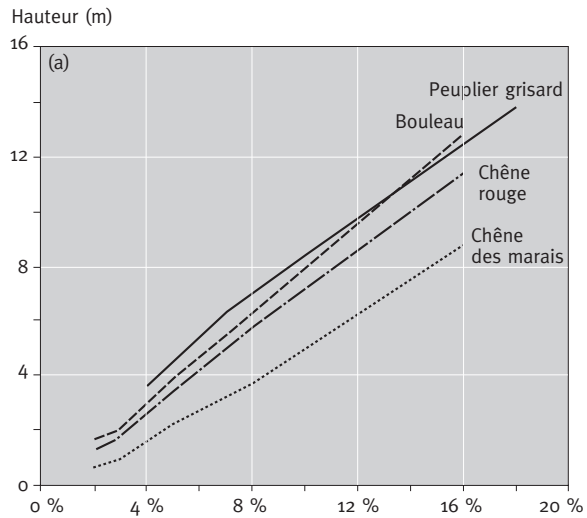
Sur ce type de station où les contraintes sont peu marquées, l'ensemble des essences forestières ont une productivité satisfaisante. Une attention particulière est à porter à la fragilité de ces sols à texture limoneuse en raison de leur grande sensibilité au tassement. En effet, le tassement a pour effet de créer des conditions d'engorgement dans les horizons de surface avec, comme conséquence, le dépérissement d'essences telles que le Hêtre qui ne supporte pas l'hypoxie. C'est d'ailleurs pour cette raison que le Hêtre est absent des véritables stations à nappe temporaire.

Pseudogley podzolique (rédoxisol-podzsol)

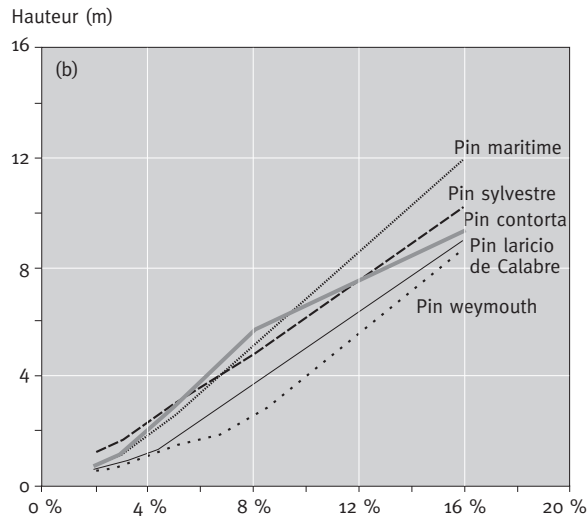
Ce sol formé sur matériau grossier est caractérisé par un déficit hydrique estival accentué. Le Chêne pédonculé, connu pour sa sensibilité à la sécheresse et bien qu'il soit bien présent dans ces stations, n'est pas adapté. Il subit des dépérissements importants comme ceux observés en forêt de Tronçais dans les années 1980 (Becker et Lévy, 1982). Le Chêne sessile est plus à sa place mais l'acquisition de sa régénération naturelle ou artificielle est souvent difficile, en particulier lors des années humides. Le Chêne rouge est possible comme essence de substitution et donne de bons résultats en condition de nappe moyenne. Dans une plantation comparative installée en forêt de Tronçais (Allier), le Chêne des marais (*Quercus palustris*) présente une croissance satisfaisante, il en est de même pour le Bouleau verruqueux (*Betula pendula* L.) et le Peuplier grisard (*Populus canescens*) qui peuvent être utilisés comme essences secondaires (figure 2a, p. 299). Dans cette même expérimentation, parmi les résineux testés, c'est le Pin maritime (*Pinus pinaster*) qui a les meilleurs accroissements, mais il présente un défaut de stabilité. D'autres Pins [sylvestre (*Pinus pinaster*), laricio de Calabre (*Pinus nigra*), Weymouth (*Pinus strobus*)] présentent une croissance soutenue, par contre celle de *Pinus contorta* s'infléchit (figure 2b, p. 299).

FIGURE 2
CROISSANCE EN HAUTEUR CUMULÉE
POUR DIVERSES ESSENCES PLANTÉES
SUR PSEUDOGLEYS PODZOLIQUES
EN FORÊT DOMANIALE DE TRONÇAIS

a) ESSENCES FEUILLUES



b) PINS



Pseudogley acide (rédoxisol-luvisol dégradé, planosol pédomorphe)

C'est le type de sol à nappe temporaire le plus répandu. Formé sur limons acides plus ou moins épais, le plancher est issu du lessivage de l'argile (horizon BTg) mais peut aussi résulter de la compaction des limons en profondeur lors de leur dépôt. L'intensité des stress est donc très variable, la contrainte d'hypoxie, qui est souvent moyenne, peut être forte dans les stations à molinie ou à carex. Les conditions estivales d'alimentation en eau sont souvent très déficitaires à cause d'une prospection racinaire limitée (conséquence de la nappe et de la compacité du plancher). Pour les arbres, la résistance à la sécheresse prend souvent le pas sur la résistance à l'hypoxie. Ainsi, dans une expérimentation sur peuplement adulte en forêt de Mondon (Meurthe-et-Moselle), nous observons que la croissance radiale du Chêne sessile est améliorée par le drainage mais qu'elle est supérieure à celle du Chêne pédonculé en l'absence d'intervention (Lévy *et al.*, 1999). L'effet du drainage sur la croissance radiale du Chêne pédonculé est nul car cette modalité tend à augmenter la sécheresse estivale ; il ne devient positif que lorsqu'on le combine avec une élimination de la très forte concurrence herbacée des graminées sociales. En pratique, un drainage sur peuplement adulte,

outre un gain substantiel sur le volume en fin de révolution, crée des bonnes conditions pour la régénération s'il est accompagné d'un désherbage. En ce qui concerne le Chêne rouge, plusieurs études montrent qu'il n'a un bon comportement au stade juvénile comme adulte sur pseudogley acide que s'il bénéficie d'un drainage (Belgrand, 1985).

L'Épicéa commun en Lorraine a une productivité satisfaisante sur pseudogley acide, selon le caractère plus ou moins prononcé de l'engorgement, située en classe 2 ou 3 de la table de production de Décourt pour le Nord-Est, 1972 (Lévy, 1978) (figure 3, ci-dessous). D'autres résineux fournissent de bons résultats sur ces stations : ce sont les Pins Weymouth et sylvestre, le Sapin pectiné et le Sapin de Nordmann dans le Nord-Est, le Pin maritime et le Pin laricio de Calabre dans l'Ouest.

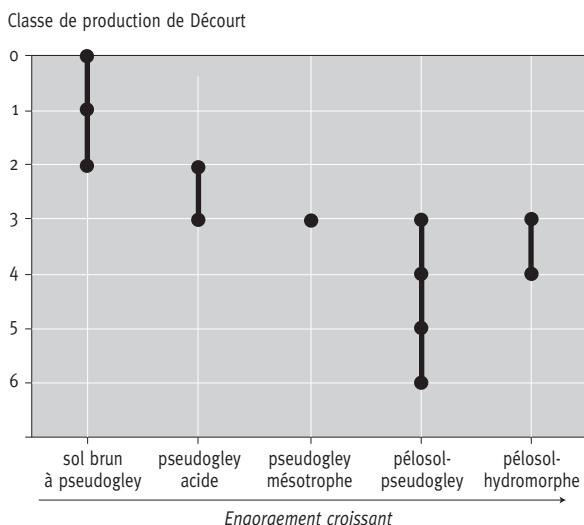


FIGURE 3
PRODUCTION DE L'ÉPICÉA EN LORRAINE
EN FONCTION DE L'INTENSITÉ
D'ENGORGEMENT
SELON LE TYPE DE SOL

Pour un sol donné, la production peut varier selon la topographie ou la brutalité d'apparition du plancher (d'après Lévy, 1978). Les classes de production correspondent à la table de Décourt pour le Nord-Est (1972).

Pseudogley mésotrophe (rédoxisol pélosolique)

Sur ce type de sol où les contraintes restent modérées à faibles, la croissance des peuplements naturels de Chêne est satisfaisante. Un léger avantage est observé en faveur du Chêne sessile sauf dans les stations de bas de pente où le Chêne pédonculé est plus performant.

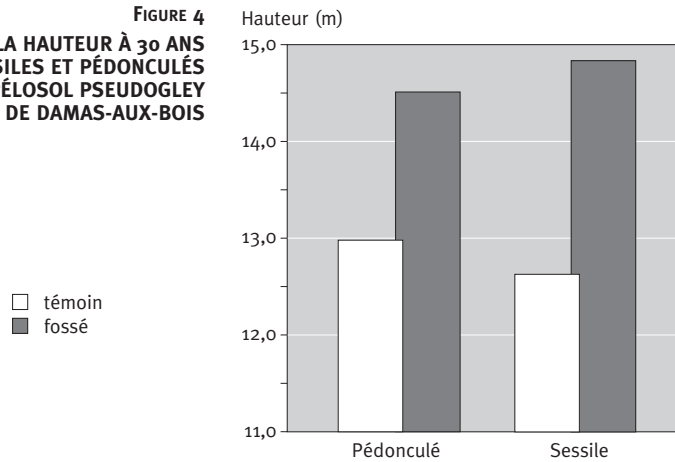
Parmi les résineux, le Pin sylvestre, le Pin noir d'Autriche et l'Épicéa commun peuvent convenir, ainsi que le Sapin pectiné si la position topographique permet un apport latéral d'eau.

Pélosol-pseudogley (rédoxisol différencié-pélosolique, planosol sédimorphe)

Sur ces sols formés sur marnes décarbonatées recouvertes d'une faible épaisseur de limons, les deux contraintes sont fortes et cela d'autant plus que la transition est brutale.

Le potentiel forestier est souvent médiocre, même en chênaie, et la phase la plus critique dans ce type de station est le renouvellement du peuplement. Nous avons expérimenté l'effet de l'assainissement sur une plantation de Chêne. Il s'avère que le drainage par fossés rapprochés agit efficacement sur la croissance des deux chênes mais plus nettement sur le Chêne sessile (figure 4, p. 301).

FIGURE 4
EFFET DU DRAINAGE SUR LA HAUTEUR À 30 ANS
DE CHÊNES SESSILES ET PÉDONCULÉS
SUR PÉLOSOL PSEUDOGLEY
EN FORÊT COMMUNALE DE DAMAS-AUX-BOIS



Une autre technique d'assainissement consiste en un mélange d'Aulne glutineux à l'essence principale, ici le Chêne pédonculé. Le mélange 1/1, alternant une ligne de Chêne et une ligne d'Aulne, aboutit à un abaissement du niveau moyen de la nappe de 2 à 4 cm pour une nappe oscillant entre la surface et 10 cm de profondeur. La nutrition azotée est améliorée, ce qui peut créer un risque de carence en phosphore. Un apport de cet élément est souhaitable et, dans ce cas, le gain de croissance en hauteur entre le Chêne pur et le mélange est de 50 % (figure 5, ci-dessous).

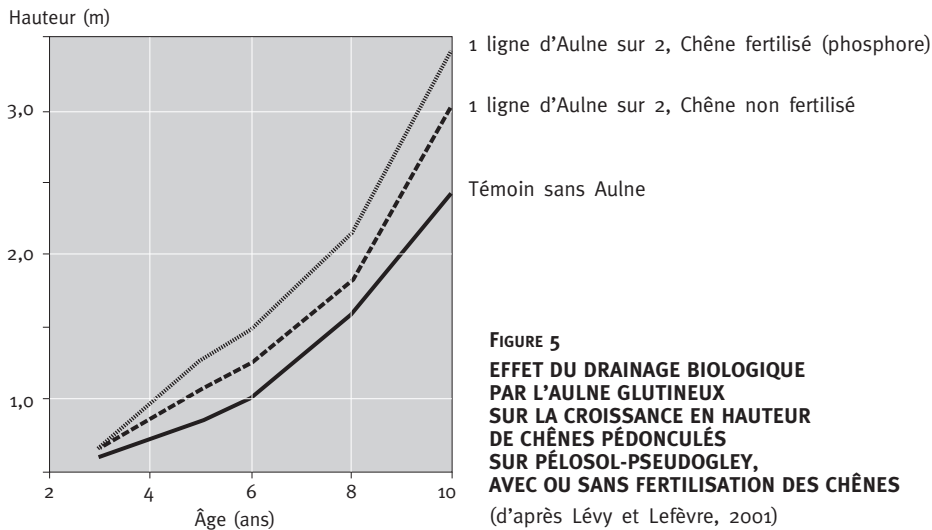


FIGURE 5
EFFET DU DRAINAGE BIOLOGIQUE
PAR L'AULNE GLUTINEUX
SUR LA CROISSANCE EN HAUTEUR
DE CHÊNES PÉDONCULÉS
SUR PÉLOSOL-PSEUDOGLEY,
AVEC OU SANS FERTILISATION DES CHÊNES
 (d'après Lévy et Lefèvre, 2001)

Par ailleurs, des comptages racinaires sur fosse (10 individus par traitement) mettent en évidence une meilleure prospection des horizons argileux profonds par les racines de Chêne sous le mélange (figure 6, p. 302). Cet enracinement plus profond donne accès à une plus forte réserve en eau du sol, ce qui s'est traduit lors de la sécheresse exceptionnelle de 2003 par un état hydrique des chênes meilleur en mélange qu'en peuplement pur [potentiel hydrique de base fin août 2003 de - 0,9 MPa (mélange) contre - 1,5 MPa (peuplement pur)].

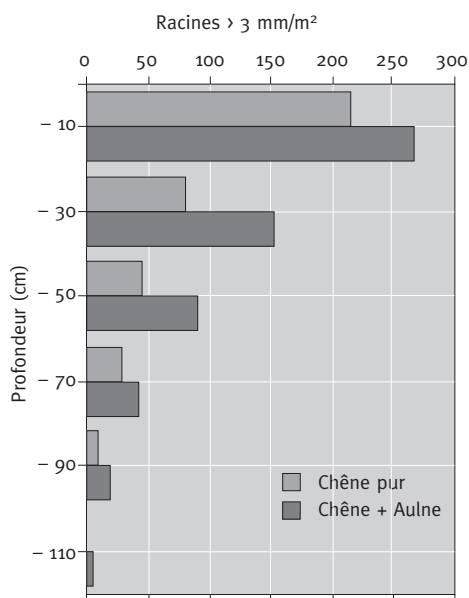


FIGURE 6
DISTRIBUTION DES RACINES DE CHÊNES PÉDONCULÉS
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR
AVEC OU SANS MÉLANGE AVEC DE L'AULNE GLUTINEUX

Ce mode d'assainissement dit biologique est donc efficace pour la culture du Chêne pédonculé dans ce milieu, mais il faut toutefois contrôler la croissance de l'Aulne glutineux pour le maintenir subordonné au Chêne.

De nombreuses espèces résineuses ne sont pas adaptées aux pélosols-pseudogleys (Mélèzes, Sapin de Vancouver). Le Douglas y présente une mortalité très élevée et sa survie et sa croissance ne sont satisfaisantes qu'avec un assainissement par

billons ou de préférence par fossés rapprochés. L'Épicéa offre une bonne reprise mais sa croissance lente n'est pas améliorée par le drainage. Seuls les Pins noir, Weymouth, contorta et sylvestre présentent une productivité correcte.

CONCLUSIONS

Beaucoup d'études en conditions naturelles (enquêtes) ou contrôlées, en plantations comparatives, expérimentales, avec intervention (fertilisation et drainage) ont été rapportées. La synthèse des résultats demeure très difficile, car dépendante du mésoclimat et de son évolution pluri-annuelle, du stade de développement des arbres (semis, juvénile, adulte), des caractéristiques du sol à nappe temporaire, en particulier de sa réserve utile. De tous ces facteurs dépend l'intensité respective des contraintes de sécheresse et d'hypoxie. La diminution de la contrainte d'engorgement est possible par des travaux (assainissement par fossés ou billons) mais qui peuvent augmenter l'effet de la sécheresse estivale. Une technique originale d'assainissement biologique sur pélosol-pseudogley par mélange a été exposée ; sa mise en pratique est possible mais il serait utile de tester différentes modalités de culture (répartition du mélange, utilisation du Bouleau) pour pouvoir l'étendre aux différents types de sol à nappe temporaire. Les interventions sur la contrainte de déficit hydrique sont plus délicates à mettre en œuvre : elles passent essentiellement par la maîtrise de la végétation adventice et par des techniques limitant l'évaporation (paillage) autour des plants. Si beaucoup de résultats sont issus de plantations ayant pour objectif la constitution de futaie régulière mono-spécifique, les enseignements acquis sur l'autécologie des essences restent valables pour la gestion des peuplements régénérés naturellement.

La sylviculture des peuplements existants doit composer avec les deux contraintes. La densité des peuplements et leur indice foliaire doivent être ajustés pour limiter l'intensité des sécheresses et les coupes rases sont à éviter pour diminuer les risques de remontée trop brutale de la nappe.

Le choix de l'essence est primordial ; nous en résumons les principaux axes. Le Chêne pédonculé est à proscrire de toutes les situations où le risque de déficit hydrique est important. Le Chêne sessile est à favoriser dans la plupart des stations à nappe temporaire, sauf en conditions topographiques favorables à l'approvisionnement latéral en eau où le Chêne pédonculé bénéficiera en plus d'une bonne richesse minérale. Le Chêne sessile est à éviter en conditions de forte hypoxie en l'absence d'assainissement, technique qui d'une manière générale est bénéfique pour son installation par régénération ou plantation. Le Chêne rouge d'Amérique, longtemps considéré comme une essence de substitution, s'avère peu adapté dès que la contrainte d'hypoxie est marquée ; il faut limiter son emploi aux sols à textures les plus grossières ou l'introduire avec un assainissement. Le Chêne des marais se comporte bien sans assainissement mais il présente un défaut de branchaison qui doit être contrôlé. L'Alisier torminal présent à l'état endémique sur les substrats argileux montre une sensibilité à la présence d'une nappe : il ne peut pas constituer une essence objectif.

Parmi les résineux, l'Épicéa commun donne des productivités intéressantes sauf sur pélosol différencié. Les Pins offrent de bonnes possibilités : Pin sylvestre, Weymouth et laricio de Calabre dans une large gamme de sols, Pin maritime sur pseudogley podzolique (sous réserve du climat), Pin noir d'Autriche sur pélosol. La culture du Douglas n'est envisageable qu'avec assainissement ou, comme pour le Mélèze d'Europe, sur sol à nappe non superficielle.

Yves LEFÈVRE – Nathalie BRÉDA
UMR INRA UHP Écologie et Écophysiologie forestières
Équipe Phytoécologie
INRA
F-54280 CHAMPENOUX
(lefevre@nancy.inra.fr)
(breda@nancy.inra.fr)

François LEBOURGEOIS
Unité mixte de Recherche INRA-ENGREF 1092
Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois
Équipe Écologie forestière
ENGREF
14, rue Girardet – CS 14216
F-54042 NANCY CEDEX
(lebourgais@engref.fr)

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER (M.), LÉVY (G.). — Le Dépérissement du Chêne en forêt de Tronçais : les causes écologiques. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 39, 1982, pp. 439-444.
- BELGRAND (M.), LÉVY (G.). — Comportement de différentes essences forestières sur les sols à hydromorphie temporaire. — *Science du sol*, n° 4, 1985, pp. 227-237.
- LÉVY (G.). — Nutrition et production de l'Épicéa commun sur sols hydromorphes en Lorraine : liaisons avec les caractéristiques stationnelles. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 35, 1978, pp. 33-53.
- LÉVY (G.). — Plantations sur sols à hydromorphie temporaire. — *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° 3, 1986, pp. 307-314.
- LÉVY (G.), BECKER (M.), GARREAU (B.), LEFÈVRE (Y.). — 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, 1986, pp. 131-146.
- 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.

COMPORTEMENT DES ESSENCES FORESTIÈRES SUR SOL À NAPPE TEMPORAIRE (Résumé)

Très répandus en forêt, les sols à nappe temporaire sont à l'origine de problèmes de croissance, de stabilité et de régénération des peuplements. Nous reprenons ici les caractéristiques des différents types de sol à nappe temporaire et nous insistons sur la succession des contraintes d'hypoxie et de déficit hydrique. Le comportement de différentes espèces est illustré à partir d'expérimentations et d'enquêtes. Sont ainsi précisées l'adaptation ou la sensibilité d'une gamme d'essences feuillues ou résineuses à l'intensité relative des deux contraintes. L'efficacité des travaux de drainage (y compris biologique), applicables aussi bien en plantation qu'en régénération naturelle, se traduit par une meilleure croissance.

BEHAVIOUR OF FOREST SPECIES ON TEMPORARILY WATER-LOGGED SOILS (Abstract)

Temporary water-logging is a common occurrence in forest ecosystems of North-Eastern France. This constraint induces low productivity, lack of stability of the trees, and major problems during natural regeneration. The most important features of soils subjected to water-logging are described. In particular, these soils frequently induce two successive stresses: water-logging and resulting hypoxia during spring and drought due to superficial rooting during summer.
