

---

---

Avis scientifique sur l'utilisation  
du drainage sylvicole pour remédier  
aux effets négatifs de l'orniérage

---

---

Sylvain Jutras

pour le  
ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

---

---

Québec 

---

Avis scientifique sur l'utilisation du drainage sylvicole  
pour remédier aux effets négatifs de l'orniérage

---

Sylvain Jutras, ing. forestier, M. Sc.  
étudiant au doctorat

pour le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs  
Direction de l'environnement forestier

Québec, décembre 2004

## Révisseurs scientifiques

MM. Marcel Prévost et Vincent Roy de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs.

## Pour plus de renseignements

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

Direction des communications

5700, 4<sup>e</sup> Avenue Ouest, bureau B-302

Charlesbourg (Québec) G1H 6R1

Téléphone : (418) 627-8600 ou 1-866-CITOYEN  
1-866-248-6936

Télécopieur : (418) 643-0720

Courriel : [service.citoyens@mrnfp.gouv.qc.ca](mailto:service.citoyens@mrnfp.gouv.qc.ca)

Site Internet : [www.mrnfp.gouv.qc.ca](http://www.mrnfp.gouv.qc.ca)

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2004

ISBN : 2-550-43716-0

Code de diffusion : 2004-3044

## L'auteur

---

À l'été 1998, alors qu'il étudiait au baccalauréat en aménagement et environnement forestier à l'Université Laval, l'auteur a travaillé, comme assistant de terrain, à la planification de travaux de drainage forestier pour la Coopérative Forestière Chapais-Chibougamau inc. C'est cette expérience qui l'a mené à s'intéresser à la situation particulière de l'aménagement forestier des milieux humides.

Gradué en janvier 2000, M. Jutras est devenu membre de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Le 30 novembre 2001, il a obtenu une maîtrise ès sciences pour son mémoire de recherche intitulé : *Impact du drainage forestier après coupe sur la croissance de l'épinette noire en forêt boréale*. En 2001, afin de parfaire ses connaissances sur l'aménagement forestier des milieux humides, il a effectué un stage de six mois en Finlande, à titre d'assistant de recherche de M. Hannu Hökkä, Ph. D. de l'Institut finlandais de la recherche forestière (METLA). M. Jutras est inscrit au doctorat depuis 2002 à l'Université Laval et prépare une thèse dont le titre est « *Croissance forestière et hydrologie des tourbières forestières aménagées* ». Il participe activement aux activités scientifiques de son domaine, en tant que membre de la commission VII (sur la foresterie des tourbières) de la Société internationale de la tourbe (International Peat Society) et de l'Association canadienne des ressources hydriques (ACRH-CWRA). Il s'intéresse aussi aux activités du Groupe de recherche sur l'écologie des tourbières (GRET) et à celles du laboratoire d'hydrologie forestière de l'Université Laval. Il a présenté à quelques occasions les résultats de ses études dans le cadre de divers congrès internationaux.

# Table des matières

---

Introduction.....	1
1. Les milieux humides .....	3
1.1 La nappe phréatique.....	3
1.2 La conductivité hydraulique .....	4
2. Les perturbations des milieux humides .....	4
2.1 La récolte du couvert forestier .....	4
2.2 L'orniérage.....	5
2.2.1 Définition .....	5
2.2.2 Perturbations physiques occasionnées par l'orniérage.....	5
• Compactage .....	5
• Déplacement latéral du sol par plasticité.....	6
2.2.3 Perturbations hydrologiques.....	6
3. Le drainage forestier.....	7
4. L'efficacité du drainage forestier pour remédier à l'orniérage.....	7
Bibliographie .....	9

## Introduction

---

L'orniérage est un bouleversement du sol qui peut survenir sur les sites sensibles à la suite d'opérations de récoltes forestières mécanisées. Le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (MRNFP) vise à conserver le niveau d'orniérage sous un seuil acceptable. Pour ce faire, il a mis en œuvre une approche de gestion par objectifs qui lui permet de fixer des cibles d'amélioration et qui laisse aux industriels une grande marge de manœuvre dans le choix des moyens pour les atteindre. Le drainage forestier est parfois utilisé à titre de mesure corrective lorsque l'orniérage dépasse le seuil acceptable dans les milieux forestiers humides. Toutefois, la littérature scientifique portant précisément sur l'altération des processus hydrologiques provoquée par l'orniérage en milieux humides est quasi inexistante (Groot, 1996). De plus, l'évaluation des effets du drainage sur l'hydrologie d'un site ayant subi de l'orniérage n'a jamais été directement étudiée. Avant d'aller plus loin dans l'utilisation du drainage forestier visant à corriger les effets négatifs de l'orniérage, un avis scientifique a été demandé afin de porter un jugement sur l'efficacité de cette méthode. Cet avis repose sur les connaissances scientifiques actuellement disponibles sur les divers processus en cause.

Le document qui suit fait d'abord état des caractéristiques physiques et hydrologiques des milieux humides. Ensuite, il décrit les principales perturbations causées par les opérations de récolte sur ces sites, et plus particulièrement par l'orniérage. En dernier lieu, les effets du drainage forestier sur les sols humides sont précisés dans le but de déterminer si ce traitement est efficace pour remédier à l'orniérage.

# 1. Les milieux humides

---

Les milieux humides sont caractérisés par une nappe phréatique située près ou au-dessus de la surface du sol (Price, 2001). Il s'y développe des sols hydriques, une végétation hydrophile et des activités biologiques adaptées aux conditions particulières de ces environnements. La présence de la nappe phréatique à des niveaux élevés peut être causée par divers facteurs tels que la nature imperméable du dépôt minéral, la faible pente du terrain et un régime élevé de précipitations. Ces conditions favorisent la paludification qui est un processus d'accumulation de la tourbe menant à la formation d'une tourbière sur un site forestier (Payette et Rochefort, 2001). Une tourbière forestière est un milieu où l'accumulation de matière organique est plus importante que sa décomposition et où les conditions qui y prévalent sont suffisantes pour permettre la croissance d'essences forestières. L'épaisseur de la matière organique recouvrant l'horizon minéral peu perméable de ces sites peut varier de quelques centimètres à plusieurs mètres.

Le régime hydrologique des milieux humides peut être décrit par une équation simple. Price (2001) la définit comme : la variation de l'emmagasinement de l'eau ( $\Delta Em$ ) qui est égale à la somme des précipitations ( $P$ ) et des débits entrants ( $De$ ) de l'eau souterraine ( $SO$ ) et superficielle ( $SU$ ), moins l'évapotranspiration ( $Ev$ ) et les débits sortants ( $Ds$ ) de l'eau souterraine et superficielle.

$$\Delta Em = P + SO_{De} + SU_{De} - Ev - SO_{Ds} - SU_{Ds}$$

Le changement d'une ou de plusieurs des variables de cette équation résulte en une variation de l'emmagasinement de l'eau, ce qui influence la profondeur de la nappe phréatique.

## 1.1 La nappe phréatique

Sans faire une comparaison exhaustive des divers processus hydrologiques des sols humides, il est possible d'affirmer que la profondeur de la nappe phréatique est une variable simple, facile à mesurer et suffisamment représentative des conditions de croissance de ces sols. Au-dessus de la nappe phréatique se situe l'acrotelme, qui est une zone périodiquement aérobie où l'oxygène nécessaire à la translocation des éléments nutritifs dans les plantes est disponible. Par contre, la zone située sous la nappe phréatique, qui est appelée catotelme, est anaérobie. L'oxygène n'y est pas suffisamment présent pour permettre l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. Ainsi, plus la nappe phréatique est près de la surface, moins la couche de surface permettant la croissance racinaire est épaisse.

Pour un site donné, le niveau de la nappe phréatique varie largement au cours d'une même saison de croissance. Ainsi, la nappe phréatique atteint normalement son niveau maximal au printemps pour ensuite s'abaisser progressivement au cours de l'été. Durant cette saison, de grandes variations surviennent selon le régime de précipitations et le couvert végétal qui détermine l'évapotranspiration. Le niveau de la nappe phréatique se rapproche de la surface à l'automne, concordant ainsi avec l'interruption de la croissance forestière. Sur des sites ayant des conditions climatiques comparables, la nappe phréatique varie plutôt en fonction des conditions lithologiques (géologie, pédologie et topographie). Les activités anthropiques, telles que les opérations forestières, peuvent aussi jouer un rôle majeur sur le niveau de la nappe phréatique.

## 1.2 La conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique est la mesure de la capacité de mouvement de l'eau dans le sol. Il est important de bien comprendre ce phénomène, car il est déterminant dans l'analyse des effets de l'orniérage et du drainage.

Dans les sols organiques, la conductivité hydraulique dépend principalement du degré de décomposition du matériel qui les compose. Une tourbe de sphaigne faiblement décomposée contient de très larges pores, souvent interreliés, qui permettent la circulation rapide des surplus d'eau. Plus cette tourbe se décompose, plus le nombre et la dimension des macropores diminuent, réduisant ainsi la conductivité hydraulique. Dans l'acrotelme, partie du sol organique située au-dessus de la nappe phréatique, on trouve normalement la tourbe la moins décomposée à la surface et la plus décomposée en profondeur (Grigal et Brooks, 1997). Dans le catotelme, situé sous la nappe phréatique, le taux de décomposition est élevé et uniforme. La conductivité hydraulique y est donc très faible. À la suite d'une précipitation, le surplus d'eau dans le sol organique se déplace principalement dans les couches supérieures de l'acrotelme.

Dans le sol, l'eau peut migrer horizontalement ou verticalement. La différence entre la conductivité hydraulique horizontale et verticale est appelée l'anisotropie. Il est reconnu que, dans les sols organiques formés par la sphaigne, plusieurs couches de matériaux organiques ayant des propriétés hydrauliques variables se superposent. Voilà pourquoi la plupart des sols organiques sont anisotropiques; leur conductivité hydraulique horizontale étant meilleure que leur conductivité hydraulique verticale (Beckwith et autres, 2003).

Dans les milieux humides, les sols minéraux situés sous la couche de matière organique sont généralement constitués de matériel à texture fine ou d'horizons indurés peu perméables. Ils possèdent donc une faible conductivité hydraulique (MER, 1989), ce qui leur confère un rôle de second plan lorsqu'il est question d'évacuation des surplus d'eau. Comme dans le cas des sols organiques, l'essentiel du débit sortant de l'eau souterraine ( $SO_{DS}$ ) se concentre dans les couches de matières organiques peu décomposées qui possèdent une conductivité hydraulique élevée. Ces couches correspondent à la partie supérieure du sol des milieux forestiers humides.

En résumé, l'emmagasinage de l'eau dans les sols humides est très étroitement lié à la structure verticale qui caractérise ces sols. La conductivité hydraulique y varie d'élévée, en surface, à très faible en profondeur.

## 2. Les perturbations des milieux humides

---

Les impacts de la récolte forestière ont été étudiés du point de vue hydrologique sur divers types de sols et entre autres sur les milieux humides. Ces impacts sont d'ailleurs considérés comme très importants par rapport à ceux observés sur les milieux mésiques.

### 2.1 La récolte du couvert forestier

Le couvert forestier joue un rôle majeur dans l'évapotranspiration des sites humides. Il intercepte les précipitations qui s'évaporent ensuite sans toucher le sol et il puise l'eau du sol en réponse à la transpiration. Le retrait du couvert forestier permet à une plus grande proportion de précipitations d'atteindre le sol et de s'infiltrer jusqu'à la nappe phréatique pour en provoquer la hausse (Heikurainen et Päivänen, 1970; Päivänen, 1980; Dubé et autres, 1995; Roy et autres, 1997). La remontée de la nappe

phréatique est d'ailleurs proportionnelle à l'intensité de la coupe (Heikurainen et Päivänen, 1970; Päivänen, 1980; Pothier et autres, 2003).

## 2.2 L'orniérage

La faible capacité portante des sols humides qui ne sont pas gelés fait en sorte que la machinerie forestière peut déchirer le tapis végétal, déplacer ou compacter le sol et ainsi y créer des ornières. On assiste parfois à des altérations importantes de la structure et de l'hydrologie de ces sols.

### 2.2.1 Définition

Les ornières sont des traces plus ou moins profondes creusées dans le sol par le passage des roues. Pour calculer le taux d'orniérage, le MRNFP (Schreiber et autres, 2002) ne tient compte que des ornières possédant les caractéristiques suivantes :

- une longueur d'au moins quatre mètres;
- une profondeur suffisante pour perturber l'écoulement de l'eau;
  - en sol organique :
    - le tapis végétal est déchiré;
    - la profondeur est plus grande que le seuil d'enracinement.
  - en sol minéral :
    - la profondeur est plus grande que 20 cm à partir du début du sol minéral;
    - la profondeur est plus grande que le seuil d'enracinement.

Ces descriptions sont d'abord et avant tout des outils de mesure précis des perturbations du sol causées par la machinerie forestière.

### 2.2.2 Perturbations physiques occasionnées par l'orniérage

Plusieurs modifications physiques surviennent à la suite de l'orniérage. Une combinaison de compactage et de déplacement latéral des sols à l'état plastique est habituellement en cause.

- **Compactage**

Le compactage du sol englobe les modifications de la structure engendrées par les compressions, les tractions et les vibrations exercées par la machinerie au moment des opérations forestières (OIFQ, 1996). Ces modifications se traduisent par une augmentation de la masse volumique apparente et de la résistance au cisaillement, par une diminution de la macroporosité au profit de la microporosité et par une réduction du taux d'infiltration (Greacen et Sands, 1980). Les sols compactés présentent de moins bonnes conditions d'aération, offrent une plus grande résistance à l'enracinement et sont plus susceptibles d'être gorgés d'eau que des sols de même texture non compactés.

La susceptibilité des sols forestiers au compactage dépend de plusieurs facteurs (Arnup, 1998), dont :

- la texture du sol (les loams sont plus susceptibles que les sables et les argiles);
- le contenu en eau du sol au moment des opérations (les limons et les argiles sont plus susceptibles lorsque humides);
- l'épaisseur et la nature du dépôt organique et du tapis racinaire.

Le compactage affecte principalement les sols minéraux, mais les sols organiques peuvent aussi en être affectés. Toutefois, la matière organique a des propriétés élastiques et elle reprend partiellement sa forme après le compactage (Arnup, 1998). Le compactage des sols saturés d'eau est limité par le fait que l'eau

occupant les pores est incompressible dans les conditions qui caractérisent les opérations forestières modernes. Cependant, ces sols sont fortement susceptibles au déplacement latéral des sols, ce qui cause aussi de l'orniérage (Brais, 1994).

- Déplacement latéral du sol par plasticité

Appelé aussi « puddling », le déplacement latéral du sol par plasticité est décrit comme la destruction de la structure du sol par le déplacement de la machinerie forestière sur un sol dont le taux d'humidité est élevé (Curran et autres, 1990). L'impact principal de cette perturbation est la réduction de la macroporosité.

Les sols caractérisés par une épaisseur de matière organique plus grande que 40 cm ainsi que ceux caractérisés par un horizon minéral à texture argileuse (LSA, LA, LLiA, SA, LiA et A) sont considérés comme très fortement susceptibles au déplacement latéral du sol par plasticité (Curran et autres, 1990). Les sols moyennement susceptibles au « puddling » peuvent, dans certains cas, le devenir en raison des passages répétés de la machinerie forestière. De tels sols sont progressivement compactés lors des premiers passages, ce qui réduit leur porosité et entraîne par le fait même une augmentation de leur contenu en eau. Après un certain nombre de passages, le matériel devient saturé et il perd ainsi toute cohésion. Puisque le compactage n'est plus possible, le sol est soumis à un déplacement latéral par plasticité.

Le « puddling » déplace vers la surface la matière organique fortement décomposée ou le sol minéral peu perméable sous-jacent en colmatant les parois de la cavité formée par l'ornière. De plus, cette cavité crée une rupture dans la continuité horizontale des couches de matériel formant le sol.

### **2.2.3 Perturbations hydrologiques**

En causant du compactage et du « puddling », les ornières provoquent des modifications importantes des propriétés hydrologiques des sols (Sun et autres, 2001) qui, par le fait même, altèrent leurs propriétés physiques et chimiques (Aust et Lea, 1992). La destruction de la structure horizontale et verticale du sol par l'orniérage provoque une diminution de la porosité, de la perméabilité, de l'infiltration de surface et de la conductivité hydraulique des sols (Froehlich, 1988; Aust et Lea, 1992; Aust et autres, 1995; Grigal et Brooks, 1997; Lockaby et autres, 1997; Arnup, 1998; Grigal, 2000; Xu et autres, 2002).

Lorsque la tourbe fortement décomposée ou le sol minéral à texture fine qui se situe au fond de l'ornière est déplacé par « puddling » vers le haut et les côtés de la cavité, il se produit un colmatage des parois. Chaque ornière constitue une barrière physique à l'écoulement latéral de l'eau (Aust et autres, 1993) qui rompt la connectivité de la couche supérieure du sol possédant une forte conductivité hydraulique. Toutefois, le territoire situé entre les sentiers orniérés garde ses caractéristiques hydrologiques, mais l'eau y reste emprisonnée. Ainsi, l'orniérage intensifie la remontée de la nappe phréatique déjà provoquée par le retrait du couvert forestier (Aust et autres, 1993). Dans certains écosystèmes très productifs, l'élimination de la végétation basse provoquée par les perturbations du sol aurait aussi participé à la remontée de la nappe phréatique (Xu et autres, 2002).

### 3. Le drainage forestier

---

Le drainage forestier est un traitement sylvicole qui consiste à creuser des fossés ouverts connectés entre eux à l'aide d'excavatrices motorisées. Ce procédé permet l'évacuation rapide d'une partie du surplus d'eau contenu dans le sol vers une zone située en aval du site traité. Les fossés ainsi créés ont une forme trapézoïdale. Ils ont généralement une profondeur de 90 cm et une largeur de 2 m en leur partie supérieure. La pente des talus de ces fossés est déterminée par la texture du sol. Dans les sols organiques et argileux, les talus nécessitent une pente de 1(H):1(V), tandis que dans les sols loameux et sableux, les pentes doivent avoir de 1(H):1,5(V) à 1(H):3(V) (MER, 1989).

L'objectif du drainage forestier est de rabattre la nappe phréatique afin d'améliorer les conditions d'aération des milieux humides (Liefers et Rothwell, 1987; Roy et autres, 2000) et de favoriser la croissance forestière (Heikurainen, 1964; Jutras et autres, 2002).

L'efficacité des fossés de drainage dépend largement de la structure verticale du sol puisque presque tout l'écoulement latéral se situe dans l'acrotelme, la couche supérieure du sol où la décomposition est faible et la conductivité hydraulique élevée (Grigal et Brooks, 1997). Ainsi, lors des périodes d'emmagasinement élevé de l'eau, tel qu'au moment du dégel printanier ou lors de fortes précipitations estivales, la couche supérieure du sol joue un rôle déterminant puisqu'elle favorise une évacuation rapide du surplus d'eau vers les fossés. L'efficacité des fossés dépend également du niveau initial de la nappe et du moment où le drainage est pratiqué pendant la rotation. Ainsi, le drainage d'un peuplement mature provoque généralement un rabattement de la nappe moins important que le drainage d'un parterre de coupe avec une nappe phréatique plus élevée (Roy et autres, 2000). L'efficacité des fossés de drainage dans les sols où l'horizon organique est mince (< 20 cm) est limitée à quelques mètres le long des fossés (Jutras et autres, 2002) puisque le dépôt minéral sous-jacent est caractérisé par une conductivité hydraulique très faible.

### 4. L'efficacité du drainage forestier pour remédier à l'orniérage

---

L'efficacité du drainage forestier dépend principalement des propriétés hydrologiques des sites traités. La conductivité hydraulique horizontale est normalement plus grande que la conductivité hydraulique verticale dans les milieux humides, ce qui illustre une anisotropie. Cette caractéristique importante, au point de vue hydrologique, est toutefois détruite par les modifications physiques du sol que provoque l'orniérage. Chacune des ornières constitue une barrière physique à l'écoulement latéral de l'eau. De plus, elle crée une rupture dans la connectivité de la couche supérieure du sol, un endroit où la décomposition est faible et la conductivité hydraulique horizontale élevée. Ainsi, les milieux humides fortement orniérés possèdent une capacité d'écoulement latéral très faible.

Le drainage forestier a comme objectif principal le rabattement de la nappe phréatique. Cet objectif est atteint par l'évacuation du surplus d'eau dans le sol à l'aide d'un réseau de fossés interconnectés. L'efficacité de ces fossés de drainage dépend largement de la capacité d'écoulement latéral des milieux humides où ils sont situés. La discontinuité de l'écoulement latéral de l'eau sur les sites fortement orniérés rendrait donc inefficace un réseau de drainage qui y serait établi. De plus, le drainage forestier ne peut pas remédier aux modifications physiques du sol que l'orniérage provoque, pas plus qu'aux impacts hydrologiques qui en découlent. La destruction de la structure du sol causée par l'orniérage ne permet donc pas d'atteindre l'objectif principal visé par le drainage forestier.

D'après les connaissances actuelles, le drainage forestier est inefficace pour contrer les effets négatifs de l'orniérage sur l'écoulement de l'eau. De ce fait, cette méthode ne devrait pas être retenue comme mesure de mitigation.

## Bibliographie

---

- ARNUP, R. W., 1998. *The extent, effects and management of forestry-related soil disturbance, with reference to implications for the clay belt: a literature review*, OMNR NEST Tech. Rep. TR-037, 30 p.
- AUST, W. M. et R. LEA, 1992. « Comparative effects of aerial and ground logging on soil properties in a tupelo-cypress wetland », *For. Ecol. Manag.*, vol. 50, p. 57-73.
- AUST, W. M., T. W. REISINGER, J. A. BURGER et B. J. STOKES, 1993. « Soil physical and hydrological changes associated with logging a wet pine flat with wide-tired skidders », *South. J. Appl. For.*, 17 (1), p. 22-25.
- AUST, W. M., M. D. TIPPETT, J. A. BURGER, et W. H. McKEE Jr, 1995. « Compaction and rutting during harvesting affect better drained soils more than poorly drained soils on wet pine flats », *South. J. of Appl. For.*, 19 (2), p. 72-77.
- BECKWITH, C. W., A. J. BAIRD, et A. L. HEATHWAITE, 2003. « Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat, I: laboratory measurements », *Hydrol. Process*, vol. 17, p. 89-101.
- BRAIS, S., 1994. *Impacts des opérations forestières sur la productivité à long terme des écosystèmes forestiers*, Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier. 75 p.
- CURRAN, M., B. FRASER, L. BEDFORD, M. OSBERG et B. MITCHELL, 1990. *Site preparation strategies to manage soil disturbance*, B.C. Ministry of Forest, 28 p.
- DUBÉ, S., A. P. PLAMONDON et R. L. ROTHWELL, 1995. « Watering-up after clear-cutting on forested wetlands of the St. Lawrence lowland », *Water Resour. Res.*, vol. 31, p. 1741-1750.
- FROEHLICH, H. A., 1988. « Causes and effects of soil degradation due to timber harvesting », *Proc. 10th B.C. Soil Science Workshop*, Lousier, J. D. et G. W. Still (eds), B. C. Ministry of Forest, p. 3-12.
- GREACEN, E. L. et R. SANDS, 1980. « Compaction of forest soils: A review », *Aust. J. Soil Res.*, vol. 18, p. 163-189.
- GRIGAL, D. F., 2000. « Effects of extensive forest management on soil productivity », *For. Ecol. Manag.*, vol. 138, p. 167-185.
- GRIGAL, D. F. et K. N. BROOKS, 1997. « Forest management impacts on undrained peatlands in North America », *Northern forested wetlands : ecology and management*, Trettin, C. C., M. F. Jurgensen, D. F. Grigal, M. R. Gale et J. K. Jeglum (eds), Lewis Publishers, CRC Press, p. 239-251.

- GROOT, A., 1996. *Regeneration and surface conditions trends following forest harvesting on peatlands*, NODA/NFP Tech. rep. TR-26, 12 p.
- HEIKURAINEN, L., 1964. « Improvement of forest growth on poorly drained peat soils », *Int. Rev. For. Res.*, New York., Academic Press, vol. 1, p. 39-113.
- HEIKURAINEN, L. et J. PÄIVÄNEN, 1970. « The effect of thinning, clear cutting and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry », *Acta Forestalia Fennica*, vol. 104, p. 23.
- JUTRAS, S., J. BÉGIN et A. P. PLAMONDON, 2002. « Impact du drainage forestier après coupe sur la croissance de l'épinette noire en forêt boréale », *Can. J. For. Res.*, vol. 32, p. 1585-1596.
- LIEFFERS, V. J. et R. L. ROTHWELL, 1987. « Effects of drainage on substrate temperature and phenology of some trees and shrubs in an Alberta peatland », *Can. J. For. Res.*, vol. 17, p. 97-104.
- LOCKABY, B. G., R. G. CLAWSON, K. FLYNN, R. RUMMER, S. MEADOWS, B. STOKES, et J. STANTURF, 1997. « Influence of harvesting on biogeochemical exchange in sheetflow and soil processes in a eutrophic floodplain forest », *For. Ecol. Manag.*, vol. 90, p. 187-194.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES (MER), 1989. *Guide sur le drainage sylvicole*, Québec, gouvernement du Québec.
- ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC (OIFQ), 1996. *Manuel de foresterie*, Sainte-Foy. Québec, Les Presses de l'Université Laval, 1428 p.
- PÄIVÄNEN, J., 1980. « The effect of silvicultural treatments on the ground water table in Norway spruce and Scots pine stands on peat », *Proceedings of the 6th International Peat Congress*, Duluth, Minn., USA.
- PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT, 2001. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Québec, Les Presses de l'Université Laval, 621 p.
- POTHIER, D., M. PRÉVOST, et I. AUGER, 2003. « Using the shelterwood method to mitigate water table rise after forest harvesting », *For. Ecol. Manag.*, vol. 179, p. 573-583.
- PRICE, J., 2001. « L'hydrologie », *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. et L. Rochefort, (eds), Québec, Les Presses de l'Université Laval, p. 423-447.
- ROY, V., J. K. JEGLUM, et A. P. PLAMONDON, 1997. « Water table fluctuations following clearcutting and thinning on wally creek wetlands », *Northern forested wetlands: ecology and management*, Trettin, C. C., M. F. Jurgensen, D. F. Grigal, M. R. Gale et J. K. Jeglum (eds), Lewis Publishers, CRC Press, p. 239-251.
- ROY, V., A. P. PLAMONDON et P. BERNIER, 2000. « Draining forested wetland cutovers to improve seedling root zone conditions », *Scan. J. For. Res.*, vol. 15, p. 58-67.

- SCHREIBER, A., J.-P. JETTÉ et I. AUGER, 2002. *L'orniérage dans les CPRS et dans les autres coupes de régénération : méthodes de mesure utilisées en 2001*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'environnement forestier, 37 p.
- SUN, G., S. G. McNULTY, J. P. SHEPARD, D. M. AMATYA, H. RIEKERK, N. B. COMERFORD, W. SKAGGS et L. SWIFT Jr, 2001. « Effects of timber management on the hydrology of wetland forests in the southern United States », *For. Ecol. Manag.*, vol. 143, p. 227-236.
- XU, Y.-J., J. A. BURGER, W. M. AUST, S. C. PATTERSON, M. MIWA et D. P. PRESTON, 2002. « Changes in surface water table depth and soil physical properties after harvest and establishment of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Atlantic coastal plain wetlands of South Carolina », *Soil & Tillage Res.*, vol. 63, p. 109-121.

**Ressources  
naturelles,  
Faune et Parcs**

**Québec** 