

Publié dans « *Revue Forestière Française*, 2008, LX, 4, 411-424 »
<http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/4752>

**SENSIBILITÉ DU CHÊNE PÉDONCULÉ AU CLIMAT
SUR DEUX TYPES DE SOL À NAPPE TEMPORAIRE EN LORRAINE
(RÉDOXISOL ACIDE ET PÉLOSOL DIFFÉRENCIÉ)**

F. Lebourgeois¹, F. Spicher¹, Y Lefèvre²

LERFOB (Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois) - UMR ENGREF-INRA 1092
AgroParisTech – Equipe Ecologie Forestière, 54042 Nancy Cedex, France.

lebourgeois@engref.fr

Tél : +33-3-83396874, Fax : +33-3 83396878

² EEF (Ecologie et Ecophysiologie Forestières) - UMR INRA UHP - Equipe Phytoécologie, F-54 280
Champenoux

Résumé

Le comportement du chêne pédonculé sur deux types de sol à nappe temporaire (rédoxisol acide et pélosol différencié) ayant fait l'objet de différents travaux d'assainissement (billons, fossés à 10 et 20 m) a été analysé en Lorraine. L'étude a porté sur la comparaison des accroissements de ces chênes âgés d'une trentaine d'années et sur l'analyse de leur sensibilité aux conditions climatiques. La croissance a été supérieure de 10 à 15% sur rédoxisol en relation avec un régime de nappe moins contraignant (en durée et en intensité) et un enracinement plus important (modification de la répartition spatiale). Même si les fortes crises de croissance ont été identiques dans les deux situations (et essentiellement en relation avec des froids extrêmes en février), les chênes poussant sur rédoxisol ont été plus sensibles aux aléas climatiques avec des arrière-effets plus marqués (période analysée 1975-2005). Dans cette situation, la mise en place du cerne annuel dépend des conditions automnales de l'année précédente puis de celles du début de printemps. Ainsi, un automne pluvieux (octobre) et frais (température minimale de novembre) suivi par un printemps chaud (température minimale de mai) et plutôt sec correspond à la mise en place d'un cerne large. Sur pélosol, les arrière-effets du climat ont été moins marqués. Sur cette station, un cerne large correspond à une fin d'été fraîche (température maximale de septembre de l'année n-1) puis à un début d'été plutôt humide et frais (juin). Les différentes modalités d'assainissement n'ont pas modifié la sensibilité au climat. Les différences de réponse ont été analysées en regard du fonctionnement de chaque sol et les résultats discutés du point de vue de la physiologie de cette essence.

Summary

The behaviour of 30-year-old pedunculate oak trees growing in Lorraine on two different waterlogged soils (acidic redoxisol and pelosol) was studied. To reduce the constraints linked to the excess of water during autumn and winter different techniques of drainage have been tested (« billon », trenches). The study focussed on the effects of soil and drainage on the radial growth and on the sensitivity to annual weather conditions. The growth was greater of about 10-15% on redoxisol in relationships to a less restricting sheet of water (in duration and in intensity) and to a deeper root development. Even if extreme frosts in winter caused notable growth reductions in both ecological contexts, sensitivity to climate appeared higher and after-effects more pronounced on redoxisol (analysed period : 1975-2005). In this context, a wide ring is linked to a previous humid and fresh autumn (October and November) following by a rather hot and dry current spring (May). In the other context (pelosol), sensitivity to weather conditions and climatic after-effects appeared less important. A wide ring is linked to fresh conditions at the end of the previous summer (September) following by an onset of current summer rather fresh and humid (June). In both contexts, no influence of drainage has been observed on the response to annual weather conditions. Finally, results have been discussed according to our partial knowledge of the functioning of the soils and of the ecophysiological feature of the species.

INTRODUCTION

Les sols forestiers à nappe temporaire occupent en France une surface d'environ 2 millions d'hectares. De par la double contrainte que représente l'alternance de périodes « humide » de l'automne au printemps (excès d'eau du au mauvais drainage, à la faible évapotranspiration...) et « sèche » en période estivale (absence de nappe, forte évapotranspiration, enracinement limité...) ces sols sont difficiles à mettre en valeur (Becker *et al.*, 1996 ; Becker *et al.*, 1997 ; Lefèvre *et al.*, 2006 ; Lévy, 1986 ; Lévy *et al.*, 1992 ; Lévy *et al.*, 1999). De plus, les prévisions dans le contexte de réchauffement climatique annoncent une modification de la répartition saisonnière des pluies, avec moins de pluie en été et davantage de pluie en hiver (Déqué, 2007). Cette nouvelle répartition de la pluviométrie risque donc d'aggraver encore les contraintes relatives à ces sols.

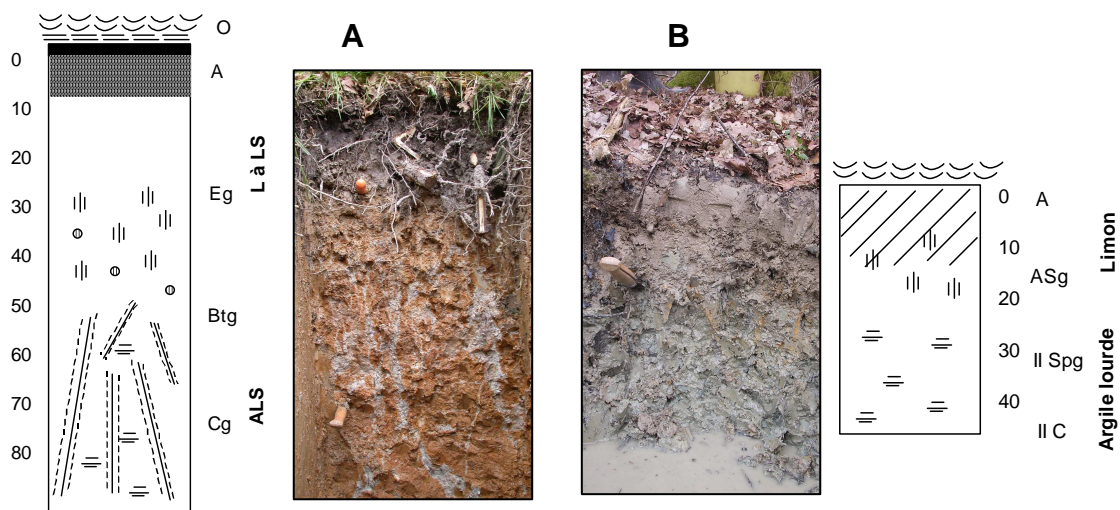
De façon à mieux comprendre l'autécologie des essences dans ces contextes stationnels et d'apporter des éléments d'information permettant de mieux guider le gestionnaire dans le choix des essences à favoriser, de nombreuses expérimentations ont été mises en place dans les années 1970, notamment en Lorraine (voir la synthèse dans l'ouvrage de Lévy G. et Lefèvre Y. « La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire » paru en 2001). Trois de ces dispositifs sont toujours en place après la tempête de 1999 et encore suivis dans le cadre de travaux de recherche forestière. Il s'agit de plantations de chênes (pédonculé essentiellement) sur rédoxisol acide et pélosol différencié dans lesquelles des travaux d'assainissement mécanique (billons, fossés) ou biologique (culture associée avec l'aulne glutineux) ont été effectués lors de l'installation. Les mesures initiales ont porté principalement sur des suivis de reprise des plants puis sur des mesures d'accroissement en hauteur dans les différentes modalités de façon à quantifier précisément l'effet des améliorations des conditions locales (Lefèvre *et al.*, 2006 ; Lévy et Lefèvre, 2001 ; Lévy *et al.*, 1990). Depuis le début des années 2000, ces dispositifs ont fait l'objet de nouvelles observations plus fines liées au suivi du régime de nappe, de croissance radiale intra-annuelle, de débourrement et d'enracinement. L'objectif de ces plantations étant d'aboutir à la constitution de futaies régulières, des interventions sylvicoles ont également pratiquées dans les peuplements. Ainsi, pendant l'hiver 2005-2006, les deux dispositifs âgés d'une trentaine d'années (plantations de 1972 en forêts communales de Charmes et de Damas-aux-Bois) ont fait l'objet d'une éclaircie. Cette intervention a permis de récolter plusieurs centaines de rondelles et ainsi d'analyser rétrospectivement la dynamique d'accroissement radial du chêne pédonculé. Cet article présente les résultats obtenus lors de cette étude en relation avec certaines observations faites dans les plantations depuis le début des années 2000. Plus précisément, les objectifs de cet article sont :

- De comparer la dynamique d'accroissement radial du chêne pédonculé (*Quercus robur*) sur les deux types de sols à nappe temporaire ;
- De définir les principaux paramètres climatiques modulant la croissance ;
- De mettre en évidence d'éventuelles différences de réponse entre situations écologiques et/ou modalités d'assainissement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation des dispositifs expérimentaux

Les deux expérimentations étudiées sont situées en plaine dans le département des Vosges (88) sur la rive droite de la Moselle entre Epinal (30 km) et Nancy (40 km) et dans la région naturelle du plateau lorrain. Elles ont été installées en 1972 (plants locaux issus de la pépinière domaniale de Darney) et correspondent à deux essais d'assainissement par billons (B), fossés à écartements 10 m (F10) ou 20 m (F20) associé ou non à une fertilisation. Les dispositifs ayant été largement décrits par Lévy et Lefèvre (2001), nous ne présenterons ici que les principales caractéristiques. Le premier dispositif a été installé en forêt communale de Damas-aux-Bois. Dans la plantation, le sol est formé par une mince couche de limons (20-25 cm) reposant sur une marne du Keuper (*pélosol différencié*) (**photo B**). Cette couche d'argile lourde constitue le plancher qui est donc proche de la surface. Le terrain est en légère pente (1 à 2%). Les contraintes de ce sol sont importantes et sont liées à la présence d'une nappe superficielle en hiver et au printemps (engorgement important et de longue durée) et au dessèchement estival (Lefèvre *et al.*, 2006). En terme de nutrition, le problème essentiel de ce sol est le très faible taux en phosphore assimilable P_2O_5 dans le premier horizon minéral. Le second dispositif a été installé en forêt communale de Charmes en situation moins contraignante. Le sol s'est formé sur les alluvions anciennes (pléistocènes) de la Moselle (*rédoxisol acide*) (**photo A**). Le plancher se situe entre 45 et 50 cm. Le pH de ce sol est acide (< 5) et les teneurs minérales en potassium et phosphore sont réduites. Pour ce dispositif, deux témoins sont disponibles variant selon la densité des plants lors de la plantation (faible écartement TFE : 0,8 x 0,8 et grand écartement TGE : 1,6 x 1,6).



Photos et profils schématiques des deux types de sols. **A** : Rédoxisol acide à Charmes. **B** : pélosol différencié à Damas-aux-Bois (photos F. Lebourgeois).

Concernant le régime des nappes, les mesures effectuées entre 2004 et 2007 ont montré une dynamique d'eau dans le sol différente. Les écarts moyens s'échelonnent de 0 à -15 cm dans le sens d'une nappe plus profonde sur rédoxisol (moyenne -5 cm) (**Figure 1**). Les variations des niveaux de nappe sont étroitement liées au cumul des pluies de la semaine qui précède la mesure (**Figure 1**). Après le débourrement des arbres, les nappes disparaissent rapidement mais certains épisodes très pluvieux comme celui de mai 2006 peuvent se traduire par la réapparition d'une nappe largement après la mise en place des feuilles. Cette nappe fugace disparaît néanmoins très rapidement en 1 ou 2 jours. Ainsi, sur rédoxisol, l'engorgement du sol est plus modéré que sur pélosol car la nappe est en moyenne plus profonde.

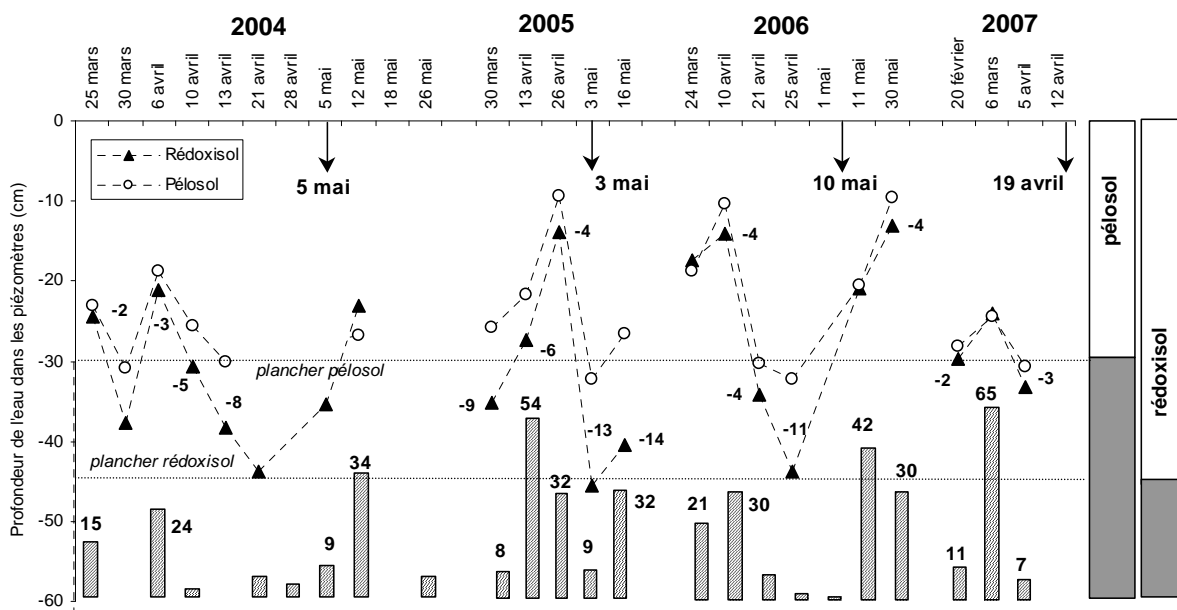


Figure 2. Evolution de la profondeur de l'eau (en cm) dans les piézomètres pour les deux types de sol entre 2004 et 2007 (modalité témoin). Chaque point est la moyenne calculée sur 9 piézomètres pour les deux sols. La zone grisée sur les dessins de droite indique la profondeur moyenne du plancher observé sur fosse pédologique. Les chiffres en gras indiquent la différence entre le niveau du rédoxisol et celui du pélosol. Les dates en gras indiquent les dates de débourrement des chênes pédonculés (bourgeons ouverts laissant apparaître les jeunes feuilles) (observations réalisées sur 57 chênes à Damas (pélosol) et 67 chênes à Charmes (rédoxisol)). Les barres grisées et les chiffres représentent le cumul des pluies pendant les 8 jours précédents la mesure piézométrique (données journalières de la station Météo-France d'Epinal-Dognéville).

De par leurs caractéristiques intrinsèques (texture et profondeur d'apparition du plancher), ces deux types de sol présentent une différence importante d'intensité des contraintes pour le chêne. Sur pélosol différencié, les deux contraintes hypoxie et sécheresse sont marquées. Sur rédoxisol acide, l'engorgement est moins accentué par contre la sécheresse peut être marquée. Cela se traduit en terme de croissance aérienne et de développement racinaire des chênes.

Concernant l'enracinement, l'étude menée en 2004 selon la méthode du comptage des impacts racinaires sur profils verticaux sur tranchées a permis d'illustrer ces différences (Lebourgeois *et al.*, 2004). Même si la densité globale de racines fines est comparable sur les deux stations (environ 2600 racines par m² sur une profondeur d'observation de 1,40 m), leur répartition diffère fortement entre le pélosol différencié et le rédoxisol acide (**Figure 2**). Sur pélosol, 50% des racines fines se trouvent dans les 20 premiers cm (dans l'horizon limoneux au-dessus du plancher) et, après 20 cm, la densité de racines fines diminue de près de 50%. Sur rédoxisol, la densité racinaire est forte dans les horizons de surface et diminue fortement seulement après 50 cm (niveau du plancher). Ainsi, entre 20 et 60 cm, il y a environ 50% de racines fines en plus dans le rédoxisol par rapport au pélosol. Concernant la croissance, la hauteur et la circonférence ont été supérieures respectivement d'environ +10% et +7% sur rédoxisol (**Tableau 1**). La moindre contrainte engorgement associée à une prospection racinaire différente permet donc un niveau de croissance plus soutenue du chêne pédonculé. Concernant les effets des différents travaux d'assainissement, des écarts significatifs sont encore observables 30 ans après la plantation entre modalités (billon, fossés, témoins) mais pas entre traitement (différences non significatives entre fertilisés ou non). Ainsi, sur rédoxisol, le billon se distingue des autres modalités avec une différence de l'ordre de +6% et +11% sur la hauteur et la circonférence (**Tableau 1**). Le billon se traduit par une augmentation du volume de sol prospectable et par une augmentation de l'enracinement (+25% de racines fines dans la modalité billon par rapport aux autres modalités) (Lebourgeois *et al.*, 2004). Ceci a pour conséquences de diminuer la contrainte hypoxique mais également la sécheresse (enracinement plus dense sur un plus grand volume). Sur pélosol, c'est le fossé 10 m qui se distingue encore des autres modalités avec un accroissement en hauteur supérieur d'environ +8% (**Tableau 1**). Pour la circonférence, les gains par rapport aux témoins sont d'environ 10%. Cette modalité correspond à l'abaissement le plus important de la nappe (0 à -12 cm ; 4 cm en moyenne) (**Figure 3**). Enfin, il est à noter que sur pélosol seule la modalité fossé à 10 m permet d'avoir des accroissements équivalents à ceux des témoins sur rédoxisol.

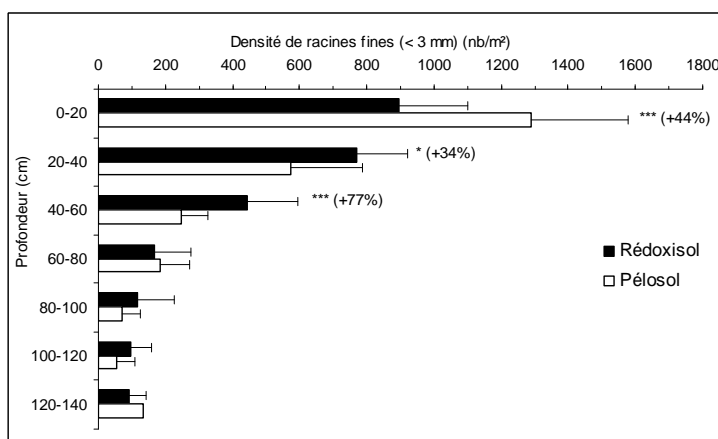


Figure 2. Nombre moyen de racines fines (< 3 mm) par m² pour chaque type de sol (rédoxisol acide à Charmes et pélosol différencié à Damas-aux-Bois). N=6 chênes pédonculés par sol (modalité témoin). *** et * : différence significative au seuil de 1 p. mille et 5% (non significatif sinon). Les chiffres entre parenthèses correspondent aux écarts relatifs entre les deux sols.

Rédoxisol acide	n	Ht (m)	Circonf.(cm)
Billon	146	14,8 (0,8) a	438 (62) a
Fossé 10 m	38	14 (1) b	419 (67) ab
Fossé 20 m	70	14,1 (0,7) b	417 (64) ab
Témoin faible densité	53	14 (0,8) b	391 (72) b
Témoin forte densité	100	14 (0,8) b	433 (63) a
	407	14,3 (0,9)	425 (66)
Pélosol différencié			
Billon	65	12,9 (0,8) bc	386 (61) a
Fossé 10 m	38	13,8 (0,7) a	376 (57) ab
Fossé 20 m	41	13,3 (0,9) b	394 (73) a
Témoin faible densité	42	12,7 (0,8) c	351 (48) b
	186	13,1 (0,9)	378 (62)

Tableau 1. Caractéristiques dendrométriques des chênes pédonculés par site et par modalité en 2003. Des lettres toutes différentes indiquent des différences significatives au seuil de 5% (Anova suivie du test de Bonferroni). Les chiffres entre parenthèses correspondent aux écarts-types. Fertilisés et non fertilisés confondus (pas de différences significatives).

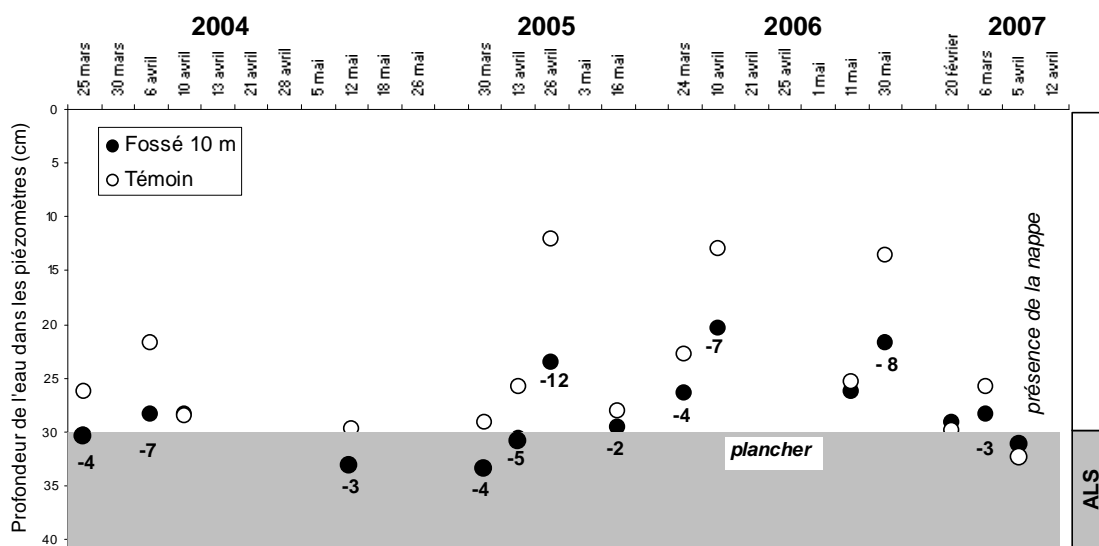


Figure 3. Evolution de la profondeur de nappe (en cm) dans les piézomètres pour la modalité témoin et fossé 10 m au printemps des années 2004 à 2007 sur pélosol différencié. Chaque point est la moyenne calculée sur 8 et 12 piézomètres (T et F10). Voir la figure 1 pour la caractérisation des épisodes pluvieux. Le trait en pointillé indique le niveau du plancher. Les chiffres indiquent la différence de hauteur de la nappe entre les deux modalités.

Analyse dendroclimatique

Un total de 414 rondelles a été prélevé (à 1,30 m) au moment de l'éclaircie (hiver 2005-2006) sur des arbres dominants ou codominants (**Tableau 2**). Chaque rondelle a été mesurée au 1/100 ième de mm sur deux rayons (nord-sud, environ 12000 cernes). Les séries individuelles ont ensuite été interdatées à l'aide d'années caractéristiques de façon à s'assurer du bon synchronisme des séries (Schweingruber et Nogler, 2003 ; Schweingruber *et al.*, 1990). Ces années reflètent généralement des conditions climatiques particulières et correspondent aux années pour lesquelles au moins 75 % des arbres du peuplement présentent une variation relative de croissance d'au moins 10 % par rapport à l'année précédente. L'année sera positive en cas de cerne plus large et négative sinon. L'analyse de ces années caractéristiques permet de mettre en évidence l'effet de conditions climatiques extrêmes sur l'accroissement des arbres. Après interdatation, les chronologies individuelles ont été calculées en faisant la moyenne des largeurs sur les deux rayons. La part de la variation des largeurs de cernes non liée au climat (« bruit ») a été ensuite éliminée à l'aide de programmes spécifiques (ARSTAN) largement éprouvés en dendroclimatologie (Cook, 1987 ; Holmes, 1983). Dans une dernière étape, les séries d'indices obtenus ont été moyennés par date de façon à obtenir les chronologies moyennes de chaque modalité (Billon, fossés 10m, fossés 20 m, témoins) dans chaque station (période commune : 1975-2005). Divers paramètres statistiques ont également été calculés afin de juger de la qualité et de la force du signal climatique contenu dans les cernes. L'intercorrélation (IC) permet de juger du bon synchronisme des séries entre elles. L'autocorrélation (AC) permet de juger de l'importance de la croissance de l'année précédente (et donc du climat) sur celle de l'année en cours. Enfin, la sensibilité moyenne (MS) donne une estimation de la variation de croissance entre deux années successives et donc de la sensibilité aux facteurs environnementaux. Dans un premier temps, les traitements fertilisé et non fertilisé ont été séparés dans les analyses. Cependant, comme il n'est apparu aucun effet de la fertilisation sur la réponse au climat, les arbres ont été regroupés dans l'analyse finale présentée ici.

Rédoxisol acide								
	Nb arbres	Nb cernes	Lc	std		IC	AC	MS
Billon	63	1903	2,13	0,84	a	0,753	0,593	0,263
Fossé 10 m	19	567	2,23	0,88	a	0,743	0,556	0,273
Fossé 20 m	46	1346	2,03	0,76	b	0,731	0,556	0,256
TFE	33	962	2,17	0,79	a	0,666	0,6	0,245
TGE	32	920	2,21	0,86	a	0,659	0,672	0,252
	193	5698	2,15			0,71	0,595	0,258
Pélosol différencié								
	Nb arbres	Nb cernes	Lc	std		IC	AC	MS
Billon	77	2244	1,81	0,69	b	0,725	0,452	0,251
Fossé 10 m	30	873	1,99	0,78	a	0,794	0,536	0,244
Fossé 20 m	64	1825	1,94	0,69	a	0,762	0,493	0,234
TFE	50	1433	1,84	0,64	b	0,757	0,473	0,244
	221	6375	1,89			0,76	0,489	0,243

Tableau 2. Caractéristiques des cernes des chênes pédonculés échantillonnés pour l'étude dendroclimatique. (période 1975-2005). Lc = largeur de cernes (en mm) ; IC = Intercorrélation entre les séries ; AC = Autocorrélation d'ordre 1 des largeurs de cernes ; MS = Sensibilité moyenne (Mean Sensitivity). TFE et TGE : témoin à faible et fort écartement. Les traitements fertilisés et non fertilisés ont été confondus (voir texte).

Les données climatiques utilisées proviennent de la station Météo-France d'Epinal-Rogneville (48°12'N ; 6°27'E ; 320 m) ; station la plus proche des dispositifs disposant à la fois de données pluviométriques et thermiques sur une longue durée. Le climat de la zone d'étude est de type semi-continentale. Sur la période 1975-2005, les précipitations annuelles ont été en moyenne de 1007 mm. Le régime mensuel est assez élevé (70 à 100 mm mensuels) avec un pic relatif en mai et un creux au mois d'août. Environ 20% des pluies tombent au début de l'hiver (environ 190 mm de novembre à décembre), 15% au début du printemps (environ 150 mm de mars à avril) et 40% pendant la saison de végétation (environ 410 mm de mai à septembre). Il y a près de 200 jours de pluie par an et il pleut en moyenne un jour sur deux pendant la saison de végétation. La température annuelle est proche de

10°C avec un minimum de moins de 2°C en janvier. Il gèle plus de 70 jours par an. Les gelées tardives de mai et précoces de septembre sont fréquentes. Des mesures effectuées en forêt entre 1966 et 1971 indiquent effectivement des gelées tardives fréquentes et fortes (-1 à -4°C) ainsi que de s extrêmes de température importants (-24,9°C le 13 janvier 1968 ; +33°C le 30 juin 1968) (Becker, 1972). En été, la température moyenne reste inférieure à 18,5°C mais les températures maximales supérieures à 25°C sont fréquentes en juillet et août (un jour sur deux).

L'effet du climat a été analysé sous deux angles. Dans un premier temps, seules les années caractéristiques ont été comparées aux différentes variables climatiques disponibles. Dans un second temps, les corrélations entre les paramètres climatiques et les indices de croissance ont été calculées sur la période 1975-2005 à l'aide du programme DENDROCLIM2002 (Biondi et Waikul, 2004). Les paramètres climatiques ont été organisés de façon à former des combinaisons de régresseurs mensuels (températures, précipitations (P), évapotranspiration (ETP), bilan hydrique « climatique » (P-ETP)...)(Lebourgeois et Piedallu, 2005) associant à la fois les données de l'année n-1 (sept à déc) et de l'année n (jan à août) afin de prendre en compte d'éventuels arrière-effets. Afin de ne pas biaiser les analyses statistiques en intégrant un nombre trop important de régresseurs et compte tenu de la relativement courte période analysable (31 ans), seuls les arrière-effets de l'année n-1 ont été testés. Les calculs permettent de préciser les variables et les périodes clés jouant un rôle significatif sur la croissance des arbres.

RÉSULTATS

Comme déjà observé par l'analyse des données dendrométriques (voir **Tableau 1**), les profils chronologiques confirment une différence nette de comportement du chêne entre les deux stations avec un accroissement radial plus soutenu de l'ordre de 15% sur rédoxisol (**Tableau 2** et **Figure 4**). Pour l'ensemble des courbes, il apparaît une décroissance régulière des largeurs de cernes sur l'ensemble de la période (effet de l'âge et/ou de la densité) (Lebourgeois, 1999), mais également une très forte réduction synchrone en 1995 (**Figure 4**). Cette date correspond à l'année caractéristique négative qui a présenté la réduction de croissance la plus forte (-50%). Il est très probable que ceci soit l'expression des effets des gelées tardives observées fin avril (-2°C le 14 et 15 avril ; -1°C le 21 avril) mais surtout mi-mai juste après la feuillaison (-1,3°C le 15 mai). La forte croissance observée les années suivantes est en grande partie l'expression des éclaircies pratiquées dans les dispositifs pendant cette période. Concernant les interventions anciennes, l'effet du dépressage de l'hiver 1988-89 sur pélosol a été également observable pendant 2-3 ans.

Parmi les autres variations notables communes aux deux sites, on peut signaler les années négatives 1983, 1986 et 1991 (réduction de croissance de -20% en moyenne) caractérisées par des températures extrêmement basses en février. En effet, ces trois années font partie des 4 années les plus froides sur la période 1975-2005 avec des moyennes des températures minimales respectivement de -3,1°C, -10,2°C et -6,1°C (normal sur la période : -1,2°C). D'une façon générale, les années caractéristiques sont apparues plus nombreuses sur rédoxisol que sur pélosol (14 contre 11) ceci traduisant une sensibilité accrue aux événements climatiques. Cette observation est étayée par les valeurs plus élevées de sensibilité moyenne sur rédoxisol (0,258 contre 0,243) (**Tableau 2**). Le déterminisme des autres années caractéristiques est moins évident. L'année caniculaire 2003 (Bréda *et al.*, 2004) n'a pas eue de conséquences sur la croissance de l'année mais semble avoir particulièrement affectée le comportement des chênes sur rédoxisol les années suivantes. En effet 2004 et 2005 correspondent à des années de croissance très réduites seulement sur cette station (-21% en moyenne). Ces deux années pourraient donc exprimer des arrière-effets plus marqués de stress dans ce contexte ; observation étayée par les valeurs d'autocorrélation ces cernes nettement plus élevées sur rédoxisol par rapport au pélosol (0,595 contre 0,489) (**Tableau 2**). Il est toutefois à noter que le début de 2004 a été également très sec (-40% de février à juin) avec un retour à une situation normale par la suite. Concernant les arrière-effets, le même raisonnement peut être avancé pour la réduction en 1987 observée seulement sur rédoxisol (arrière-effet de 1986 ?). Outre la réponse aux interventions sylvicoles, le déterminisme de certaines années à forte croissance est moins évident. Une partie de ces années pourrait s'expliquer par un rétablissement « normal » après un stress important sans correspondre forcément à des conditions climatiques particulièrement favorables (années 1996 à 1999 par exemple).

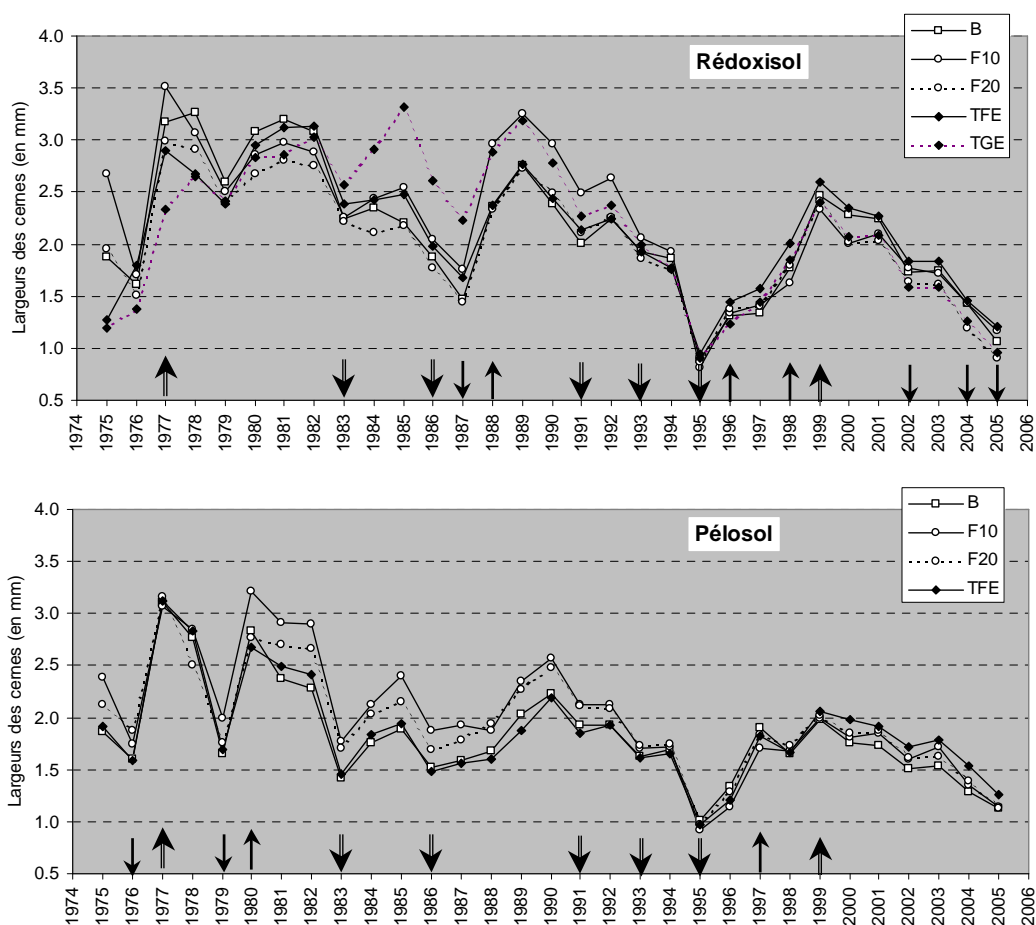


Figure 4. Evolution des largeurs de cerne par date selon la modalité pour chaque sol. Les flèches indiquent les années caractéristiques (voir texte). Une flèche dirigée vers le bas indique une année négative (positive sinon). Les doubles flèches correspondent aux années communes entre les deux sites. B = Billon ; F10 et F20 = fossés 10 m et 20 m ; TFE et TGE = Témoin faible écartement et grand écartement.

Concernant la réponse au climat moyen, les paramètres et les périodes clés pour la croissance sont apparus différents sur les deux sols (**Tableau 3**). En revanche, sur un même site, la modalité d'assainissement n'a pas eu d'effet notable sur la réponse au climat. Les corrélations les plus fortes ont été obtenues en considérant les températures minimales ou maximales au lieu de la température moyenne ainsi que les pluies au lieu des bilans hydriques « climatiques » (P-ETP). Les différences sont cependant faibles avec des résultats cohérents quelque soient les paramètres considérés. Ainsi, sur rédoxisol, la croissance de l'année n dépend en grande partie des conditions automnales de l'année précédente à travers le régime des pluies d'octobre et les températures (minimales) de novembre. Pendant la saison, c'est le régime printanier (mai) qui est l'élément clé à travers les températures (minimales) et les pluies (pour les témoins seulement) (**Tableau 3 et Figure 5**). Ainsi, **sur rédoxisol, un cerne large correspond à un automne pluvieux et frais puis à un début de printemps plutôt chaud et sec**. Sur pélosol, la mise en place du cerne apparaît essentiellement sous la dépendance des conditions de fin d'été de l'année précédente à travers les températures maximales de septembre puis, au cours de la saison, des conditions du début d'été à travers les conditions du mois de juin (**Tableau 3**). Ainsi, **sur pélosol, un cerne large correspond à une fin d'été fraîche puis à un début d'été plutôt humide et frais**.

		Rédoxisol acide					Pélosol différencié				
		Billon	F10	F20	TFE	TGE	Billon	F10	F20	TFE	
Précipitation (mm)	n-1	Sept									
		Oct	0,361	0,397	0,429	0,352	0,532	0,35			
		Nov									
		Déc									
	n	Jan									
		Fév									
		Mars									
		Avril									
Température (°C)	n-1	Sept									
		Oct									
		Nov	-0,388	-0,337	-0,392	-0,41		-0,31	-0,335	-0,323	
		Déc									
	n	Jan									
		Fév									
		Mars									
		Avril									
	Mai	0,316	0,316	0,323	0,294						
	Juin						-0,343				
	Juillet										
	Août								-0,314		

Tableau 3. Coefficient de corrélation « bootstrapped » entre les paramètres climatiques et les indices de croissance des chênes pédonculés selon les modalités pour les deux sols. Un signe – indique une corrélation négative. Seules les corrélations au moins significatives au seuil de 5% sont présentées (programme DENDROCLIM2002). Pour le rédoxisol, ce sont les températures minimales qui sont significatives. Sur pélosol, ce sont les températures maximales. Période analysée 1975-2005. F10 et F20 = fossés 10 et 20 m ; TFE et TGE = témoin faible et grand écartement.

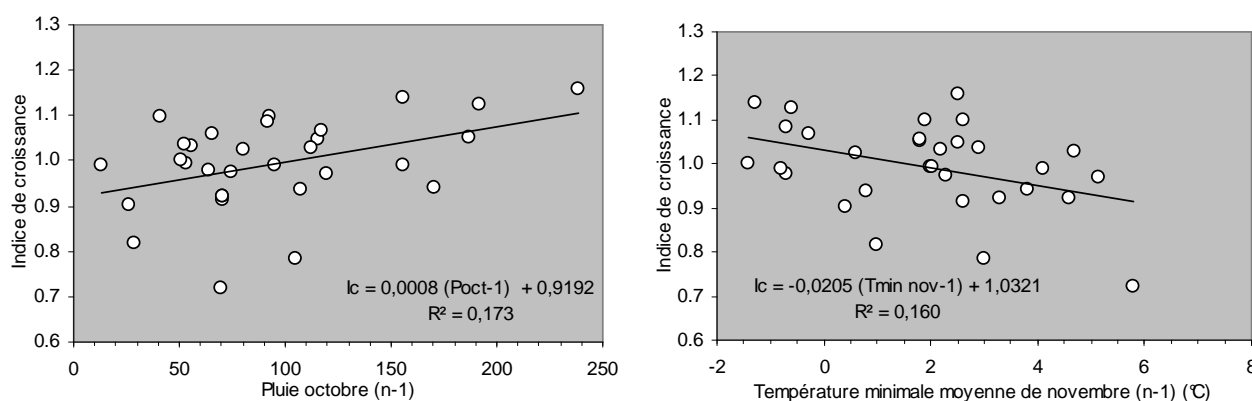


Figure 5. Exemples de relation entre l'indice de croissance et les pluies d'octobre (n-1) et les températures minimales de novembre (n-1) pour la modalité fossé 20 m sur rédoxisol.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le comportement du chêne pédonculé apparaît donc assez différent entre ces deux stations. La croissance est supérieure de 10 à 15% sur rédoxisol en grande partie en relation avec un régime de nappe moins contraignant et un enracinement plus important (modification de la répartition spatiale). Sur les deux sols, les différents travaux d'assainissement n'ont pas modulés significativement la réponse des chênes au climat même si pendant certaines périodes les croissances sont apparues différentes selon les modalités. Même si les fortes crises de croissance sont identiques dans les deux situations (et essentiellement en relation avec des froids extrêmes), les chênes poussant sur rédoxisol sont plus sensibles aux aléas climatiques avec des arrière-effets plus marqués. Dans cette situation, la mise en place du cerne annuel dépend des conditions automnales de l'année précédente puis de celles du début de printemps. Ainsi, un automne pluvieux (octobre) et frais (novembre) suivi par un printemps (mai) chaud et plutôt sec correspond à la mise en place d'un cerne large. L'importance des froids hivernaux et des conditions automnales sont cohérentes avec des travaux précédents (Becker *et al.*, 1996 ; Becker *et al.*, 1997 ; Lebourgeois, 2006 ; Lévy *et al.*, 1992). Les connaissances récentes acquises sur le fonctionnement physiologique de cette essence apportent des éléments d'explication de ces observations (Barbaroux et Bréda, 2002 ; Cochard *et al.*, 1992 ; Cruziat *et al.*, 2002 ; Morin *et al.*, 2007). Les larges vaisseaux de chêne étant très sensibles à l'embolie hivernale et printanière (gel du xylème entre 0 et -2°C), seuls quelques cernes restent fonctionnels pour le transport de l'eau. L'effet des froids (surtout extrêmes) s'explique donc en partie par une perte de l'intégrité du système conducteur nécessaire à la croissance annuelle. La sensibilité au froid étant observée pour des températures peu négatives (donc fréquentes dans le contexte lorrain), il apparaît que la production de (larges) vaisseaux avant l'apparition des feuilles est nécessaire chaque printemps pour une restauration du système conducteur. Celle-ci n'est possible que grâce à la forte remobilisation printanière des réserves carbonées stockées en automne. Ainsi, les automnes humides et frais participent à la mise en place d'un cerne large l'année suivante en favorisant le stockage de carbone et la translocation des différents nutriments des feuilles aux branches et aux bourgeons avant la sénescence. L'importance des faibles températures automnales pourrait s'expliquer par l'équilibre des processus de photosynthèse et de respiration. En effet, si les températures plus clémentes en automne permettent une meilleure fixation de carbone par photosynthèse (en augmentant la durée de la saison de végétation), elles augmentent davantage la respiration foliaire (et celle du sol) entraînant ainsi une perte de carbone et donc une moindre disponibilité pour la croissance de l'année suivante (Piao *et al.*, 2008). Pour que le stockage de carbone soit optimal, il est donc nécessaire que l'automne soit non seulement pluvieux mais frais. Cet antagonisme pose, par ailleurs, une question essentielle encore largement débattue quant à la capacité de stockage à long terme du carbone des écosystèmes terrestres dans l'hypothèse de modifications importantes de ces conditions automnales (Déqué, 2007 ; Piao *et al.*, 2008). Une dernière explication quant à cette période clé pourrait être que ces bonnes conditions automnales et hivernales favorisent le développement et/ou le maintien du système racinaire ce qui à terme permet une meilleure efficacité de l'utilisation des ressources (Riedacker, 1976). Plus tard dans la saison des températures élevées en mai favorisent une croissance forte certainement en relation avec le développement foliaire. En effet, les observations phénologiques ont montré que l'éclatement des bourgeons et la sortie des jeunes feuilles a lieu début mai (voir **Figure 1**) avec un développement maximale du feuillage pendant la première quinzaine de mai. On sait que le débourrement et l'extension foliaire est fortement sous la dépendance des conditions thermiques et que des températures clémentes favorisent leur développement (Lebourgeois *et al.*, 2006). Pour les témoins, on observe également un effet négatif des trop fortes pluies en mai. Ceci pourrait être l'expression de l'effet de la nappe plus présente dans cette modalité par rapport aux autres situations. Les mesures piézométriques effectuées entre 2004 et 2007 tendent à confirmer cette hypothèse avec une nappe en moyenne plus proche de la surface dans les témoins (différence de l'ordre de 5 cm) et une différence maximale au moment des pluies abondantes (différence de 10 à 15 cm) (données non montrées mais similaires à celles présentées dans la **Figure 3**). La réponse au climat moyen apparaît différente sur pélosol. Sur cette station, les arrière-effets sont moins marqués et s'expriment essentiellement à travers le régime thermique de septembre ; des

températures trop élevées se traduisant l'année suivante par une croissance réduite. Les mêmes hypothèses que celles faites sur rédoxisol quant au stockage de carbone peuvent être avancées pour expliquer ces effets. Par la suite, ce sont les conditions de juin qui conditionnent la croissance avec un cerne réduit en cas de sécheresse pendant cette période (pluies réduites et/ou températures élevées). L'enracinement étant concentré dans les premiers décimètres de sol, on peut émettre l'hypothèse qu'un début d'été sec entraîne un dessèchement rapide des horizons de surface ce qui nuit à la croissance annuelle. Même si les explications fonctionnelles ne sont pas toujours évidentes, il apparaît clairement que le type de sol module non seulement le niveau d'accroissement général mais également les périodes clés dans le déterminisme des variations interannuelles. Nous n'avons pas pu mettre en évidence d'effet net des travaux d'assainissement sur la réponse au climat moyen. On peut émettre l'hypothèse que la courte période d'analyse (30 ans est une courte période en dendroclimatologie) associée à des jeunes arbres masquent les effets des modalités mais ces derniers s'exprimeront davantage au cours du vieillissement des arbres.

En émettant l'hypothèse de la stabilité des fonctions de réponse des chênes au climat, les modifications prévues des régimes saisonniers pluvio-thermiques pourraient donc avoir des conséquences assez différentes sur les deux types de sol. Les études en cours devraient apporter des éléments complémentaires à une échelle plus fine notamment sur les relations entre phénologie-nappe-croissance intra-annuelle. Une meilleure connaissance de la dynamique de l'eau dans le sol et de son effet sur le fonctionnement écophysio-logique des chênes apparaît également très importante pour mieux expliquer les comportements actuels et mieux prévoir les conséquences (encore largement inconnues) des changements en cours.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBAROUX C., BRÉDA N. - Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. - *Tree Physiology*, vol. 22, n° 2002, pp. 1201-1210.
- BECKER M. - Etude des liaisons Station-production dans une forêt sur sols hydromorphes (Forêt communale de Charmes, Vosges). - *Revue Forestière Française*, vol. 24, n° 4, 1972, pp. 269-287.
- BECKER M., LÉVY G., LEFÈVRE Y. - Radial growth of mature pedunculate and sessile oaks in response to drainage, fertilization and weedings on acid pseudogley soils. - *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, n° 2-3, 1996, pp. 585-594.
- BECKER M., LÉVY G., LEFÈVRE Y. - Effet du drainage, de la fertilisation et du desherbage sur la croissance en diamètre de chênes adultes. - *Revue Forestière Française*, vol. 49, n° 2, 1997, pp. 103-114.
- BIONDI F., WAIKUL K. - Dendroclim2002: a c++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. - *Computers and Geosciences*, vol. 30, n° 2004, pp. 303-311.
- BRÉDA N., GRANIER A., AUSSENAC G. - La sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysio-logique et influence sur les arbres forestiers. - *Revue Forestière Française*, vol. 51, n° 2, 2004, pp. 109-131.
- COCHARD H., BRÉDA N., GRANIER A., AUSSENAC G. - Vulnerability to air embolism of three European oak species (*Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Q pubescens* Willd, *Q robur* L). - *Annales des Sciences Forestières*, vol. 49, n° 1992, pp. 225-233.
- COOK E.R. - The decomposition of tree ring series for environmental studies. - *Tree-ring Bulletin*, vol. 47, n° 1987, pp. 37-59.
- CRUIZIAT P., COCHARD H., AMÉGLIO T. - Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. - *Annals of Forest Science*, vol. 59, n° 2002, pp. 723-752.
- DÉQUÉ M. - Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. - *Global and Planetary Change*, vol. 57, n° 1-2, 2007, pp. 16-26.
- HOLMES R.L. - Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements. - *Tree-ring Bulletin*, vol. 43, n° 1983, pp. 69-78.
- LEBOURGEOIS F. - Les chênes sessile et pédonculé (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) dans le réseau RENECOFOR : rythme de croissance radiale, anatomie du bois, de l'aubier et de l'écorce. - *Revue Forestière Française*, vol. 51, n° 4, 1999, pp. 522-536.
- LEBOURGEOIS F. - Sensibilité au climat des chênes sessile et pédonculé dans le réseau RENECOFOR. Comparaison avec les hêtraies. - *Revue Forestière Française*, vol. 53, n° 1, 2006, pp. 29-44.

- LEBOURGEOIS F., PIEDALLU C. - Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière. Notions d'indices bioclimatiques. - *Revue Forestière Française*, vol. 57, n° 3, 2005, pp. 331-356.
- LEBOURGEOIS F., P. G., HUMBERT L., BRÉDA N., Y. L. - Etude de l'effet de différents types d'assainissement sur la croissance aérienne et souterraine de chênes sessile et pédonculé adultes sur deux types de sol à nappe temporaire dans le plateau lorrain. - *Rapport Scientifique Final, UMR LERBOB, ENGREF, Septembre 2004, 74 pages + annexes.*, vol. n° 2004, pp.
- LEBOURGEOIS F., CECCHINI S., GODFROY P., LANIER M., PIERRAT J.C., ULRICH E. - Phénologie des peuplements du renecofor : Variabilité entre espèces et dans l'espace, et déterminisme climatique. - *Rendez-Vous Techniques*, vol. 13, n° 2006, pp. 23-26.
- LEFÈVRE Y., LEBOURGEOIS F., BRÉDA N. - Comportement des essences sur sol à nappe temporaire. - *Revue Forestière Française*, vol. 53, n° 4, 2006, pp. 295-304.
- LÉVY G. - Plantations sur sols à hydromorphie temporaire. - *Revue Forestière Française*, vol. 38, n° 3, 1986, pp. 307-314.
- LÉVY G., LEFÈVRE Y. - La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire. - *Editeur : ENGREF*, vol. n° 2001, pp. 223 p.
- LÉVY G., FROCHOT H., BECKER M. - Installation des peuplements de chêne et facteurs du milieu. - *Revue Forestière Française*, vol. 42, n° 2, 1990, pp. 240-245.
- LÉVY G., BECKER M., DUHAMEL D. - A comparison of the ecology of pedunculate and sessile oaks: radial growth in the centre and northwest of France. - *Forest Ecology and Management*, vol. 55, n° 1992, pp. 51-63.
- 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. 51, n° 2, 1999, pp. 151-161.
- MORIN X., AMEGLIO T., AHAS R., KURZ-BESSON C., LANTA V., LEBOURGEOIS F., MIGLIETTA F., CHUINE I. - Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. - *Tree Physiology*, vol. 27, n° 6, 2007, pp. 817-825.
- PIAO S.L., CIAIS P., FRIEDLINGSTEIN P., PEYLIN P., REICHSTEIN M., LUYSSAERT S., MARGOLIS H., FANG J.Y., BARR A., CHEN A.P., GRELE A., HOLLINGER D.Y., LAURILA T., LINDROTH A., RICHARDSON A.D., VESALA T. - Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. - *Nature*, vol. 451, n° 7174, 2008, pp. 49-U43.
- RIEDACKER A. - Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. - *Annales des Sciences Forestières*, vol. 33, n° 3, 1976, pp. 109-138.
- SCHWEINGRUBER F.H., NOGLER P. - Synopsis and climatological interpretation of Central european tree-ring sequences. - *Botanica Helvetica*, vol. 2, n° 113, 2003, pp. 125-143.
- SCHWEINGRUBER F.H., ECKSTEIN D., SERRE-BACHET F., BRÄKER O.U. - Identification, presentation and interpretation of even years and pointer years in dendrochronology. - *Dendrochronologia*, vol. 8, n° 1, 1990, pp. 9-38.