

SENSIBILITÉ AU CLIMAT DES CHÊNES SESSILE ET PÉDONCULÉ DANS LE RÉSEAU RENECOFOR. COMPARAISON AVEC LES HÊTRAIES

FRANÇOIS LEBOURGEOIS

Les Chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé (*Quercus robur*) sont parmi les espèces les plus étudiées en Europe mais, en France, les études liant la croissance et le climat ne concernent que quelques régions ou massifs forestiers : plaine du Nord-Est (Becker *et al.*, 1994 ; Bréda *et al.*, 1999), peuplement dans la région sarthoise (Lebourgeois *et al.*, 2003 ; 2004), et le contexte méditerranéen (Tessier *et al.*, 1994). Au début des années 1990, le Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) a été mis en place par l'Office national des Forêts (Ulrich, 1995). En 1997, une étude dendrochronologique, associant mesures et datation des cernes annuels de croissance, a été entreprise afin de caractériser l'histoire des 102 peuplements avant l'installation du réseau (Lebourgeois, 1997). Pour mieux caractériser leurs comportements dans les différents contextes pédo-climatiques, et expliquer le déterminisme des crises de croissance observées, une étude des relations cerne-climat a été menée au début des années 2000 (Lebourgeois, 1999). Dans un précédent article, la sensibilité climatique de 15 hêtraies du réseau a été présentée (Lebourgeois, 2005). Cette étude a permis de mettre en évidence, entre autres, le rôle clé des déficits hydriques du mois de juin pour la croissance annuelle (Lebourgeois *et al.*, 2005).

Cet article présente les relations entre le climat et la croissance radiale de 15 chênaies du réseau RENECOFOR. L'objectif est :

- de dégager, à l'échelle de la France métropolitaine, les facteurs climatiques prépondérants dans la dynamique des arbres,
- de mettre en évidence une différence éventuelle de comportement entre le Chêne sessile et pédonculé,
- et de comparer la réponse des Chênes et du Hêtre au climat.

En effet, les différents symptômes observés suite à la canicule de 2003 sur une grande variété d'essences et dans une très large gamme de conditions stationnelles ont rappelé d'une façon spectaculaire le rôle clé du climat sur la vitalité des écosystèmes (Landmann *et al.*, 2003 ; Bréda *et al.*, 2004). Dans le cadre des effets à long terme du réchauffement climatique déjà constaté (Moisselin *et al.*, 2002), une meilleure connaissance de la sensibilité des essences forestières au climat est indispensable pour mieux appréhender les comportements futurs et les conséquences sur leur répartition spatiale (Badeau *et al.*, 2005).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Caractéristiques des peuplements

Les 11 peuplements de Chêne sessile (324 arbres) et les 4 peuplements de Chêne pédonculé (119 arbres) ont été échantillonnés entre 43,1° et 50,1° N et 0,01° O et 7,3° E (figure 1, p. 31). Les pentes sont faibles (0 à 18 % ; moyenne : 5 %) et les altitudes s'échelonnent entre 53 à 370 m (moyenne : 222 m). Le climat varie du type océanique au semi-continentale (tableau I, ci-dessous). Tous les peuplements sont des futaies issues de régénération naturelle et éclaircies régulièrement (sauf CHS51 qui est un taillis-sous-futaie) (Cluzeau *et al.*, 1998). En 1994, la densité de tiges à l'hectare variait de 190 (CHS51) à 569 (CHP18). La hauteur moyenne des peuplements variait de 17,7 à 30,4 m et les âges moyens étaient compris entre 54 et 139 ans. Pour chaque site, le type de station a été identifié à partir d'une analyse floristique (Dobremez *et al.*, 1997) et de descriptions pédologiques sur deux fosses (Brêthes et Ulrich, 1997). La réserve utile maximale en eau du sol varie de 59 mm (CHS51) à 270 mm (CHP59) sur 1,50 m de profondeur. La valeur moyenne est de 182 mm (\pm 54 mm), ce qui correspond à de bonnes conditions d'approvisionnement en eau pour cette essence.

Analyse dendroclimatique

Les différentes analyses font appel à des procédures classiques largement éprouvées en dendroclimatologie (Fritts, 1976). Ayant été présentées en détail dans des publications précédentes (Lebourgeois *et al.*, 2004, 2005 ; Lebourgeois, 2005), seules les principales étapes seront rappelées ici.

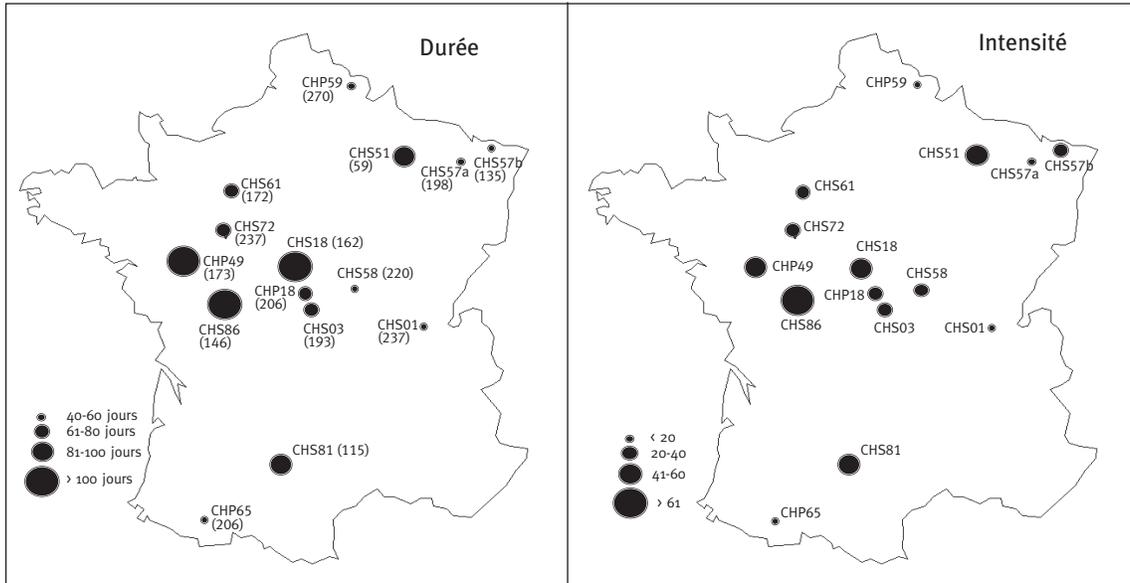
Après carottage à 1,30 m des 443 chênes dominants puis mesure des 33 614 cernes correspondants (mesures séparées du bois initial et final dans chaque cerne), chaque série individuelle a été interdatée à l'aide d'années caractéristiques. Ces années, qui sont généralement particulières au niveau climatique (froid intense, forte sécheresse, etc.), correspondent aux années pour lesquelles au moins 75 % des arbres du peuplement présentent le même signe de changement : cerne de l'année n au moins 10 % plus large ou plus fin que celui de l'année $n - 1$. Ces données permettent de vérifier que la date attribuée à chaque cerne correspond bien à la date réelle de son élaboration (Fritts, 1976). Afin d'éliminer la part de la variation des largeurs de cernes non liée au climat, les séries individuelles ont été ensuite standardisées à l'aide de programmes spécifiques (ARSTAN). Les indices obtenus ont été moyennés par date de façon à obtenir la chronologie moyenne de chaque peuplement ; chronologies à partir desquelles les analyses dendro-

Zone bioclimatique	N de stations	N de peupl.	Précipitation (mm)						Température (°C)		
			année	NjP	hiver	print.	été	autom.	année	hiver	print.
Nord	2	1	730	180	177	178	183	191	9,7	3,0	8,9
Nord-Est	7	3	785	173	191	190	209	195	9,8	1,9	9,3
Est	2	1	1184	156	295	312	262	315	10,7	2,7	9,9
Ouest	8	4	685	159	193	172	135	185	11,1	4,7	10,0
Centre	6	4	770	161	197	203	177	193	10,6	3,7	9,7
Sud	2	1	715	138	189	204	156	166	12,9	6,0	11,6
Sud-Ouest	1	1	1101	167	161	160	104	125	11,9	5,7	10,4

FIGURE 1

CARACTÉRISTIQUES MOYENNES DES CONTRAINTES HYDRIQUES CALCULÉES POUR LES 15 CHÊNAIES DU RÉSEAU RENECOFOR

La taille des symboles est proportionnelle à la durée et à l'intensité du stress hydrique. Selon les peuplements, la moyenne a été calculée sur la période 1962-1994 à 1949-1994. Les estimations de la contrainte hydrique ont été réalisées à partir du modèle journalier de bilan hydrique développé par Granier *et al.* (1999). Les valeurs entre parenthèses correspondent à la réserve utile maximale en eau du sol (RUM en mm).



climatiques ont été effectuées. Divers paramètres statistiques ont également été calculés permettant de juger de la qualité et de la force du signal climatique contenu dans les cernes.

L'intensité et la durée de la sécheresse dans les peuplements ont été quantifiées à partir du même modèle de bilan hydrique journalier que celui utilisé pour les hêtraies. Ce modèle a été présenté en détail dans des précédents articles parus dans la *Revue forestière française* (Granier *et al.*, 1995 ; Bréda *et al.*, 2004). Ce modèle intègre différentes caractéristiques stationnelles et du peuplement (réserve utile maximale en eau du sol, surface de feuilles, etc.), les pluies incidentes, l'interception par le couvert, la transpiration des arbres, l'évaporation du sous-étage et

	Température (°C)				N de jours avec	
	été	autom.	Jan.	Juil.	Tmin < 0 °C	Tmax > 25 °C
	16,5	10,4	2,3	17,1	63	27
	17,6	10,2	1,2	18,5	76	44
	18,7	11,4	1,8	19,8	82	62
	17,8	11,8	4,2	18,7	53	43
	17,8	11,3	3,1	18,8	65	50
	20,2	13,9	5,4	21,3	40	81
	18,3	13,0	5,3	19,3	51	55

TABEAU I Caractéristiques climatiques moyennes des zones échantillonnées (période de référence : 1961-1990)

NjP = nombre de jours de pluie
 Hiver = décembre-janvier-février
 Printemps = mars-avril-mai
 Été = juin-juillet-août
 Automne = septembre-octobre-novembre
 N de stations = nombre de stations météorologiques du réseau Météo-France utilisées pour l'analyse dendro-climatique

du sol et le drainage (Granier *et al.*, 1999). C'est un modèle itératif qui simule le changement du contenu en eau du sol entre deux journées successives. *In fine*, il fournit deux valeurs principales : un indice et un nombre de jours de déficit hydrique. Cet indice correspond à l'écart en valeur absolue et en millimètres entre le contenu en eau du sol à un moment donné et le contenu critique à partir duquel il y a régulation stomatique, et donc diminution de la transpiration et ralentissement de la croissance. Il a été montré que ce contenu critique correspondait au seuil de 40 % de la réserve utile maximale en eau du sol (Granier *et al.*, 1999). Cet indice peut être cumulé mensuellement ou annuellement ou sur des périodes plus précises. Plus sa valeur est grande et plus l'intensité de la contrainte est forte pour les peuplements. Le nombre de jours de déficit correspond au nombre de jours où la réserve se situe au-dessous du contenu critique. Il indique donc la durée de la contrainte.

Les valeurs moyennes pour les peuplements étudiés sont présentées dans les figures 1 et 2. La durée de la sécheresse est souvent comprise entre deux et trois mois mais dépasse les 100 jours pour trois des peuplements de la région Centre (figure 1, p. 31). Quatre peuplements présentent des déficits très faibles (< 20) et un peuplement (CHS86) un niveau moyen de sécheresse très élevé (> 60). La réserve utile maximale en eau du sol (RUM) joue un rôle central dans l'intensité et la durée de la contrainte (figure 2, ci-dessous). Globalement, l'intensité de la sécheresse est triplée et sa durée doublée (2 à 4 mois) quand la RUM passe de 200-250 mm à 100-150 mm. Ainsi, pour 4 des 6 peuplements caractérisés par une RUM > 200 mm, entre 50 et 70 % des années présentent un indice de stress très faible inférieur à 5 (période 1949-1994). À l'opposé, pour les RUM plus faibles, plus de 90 % des années sont déficitaires. Pour 5 de ces 7 peuplements, un déficit supérieur à 40 est observé pour plus de 7 années sur 10.

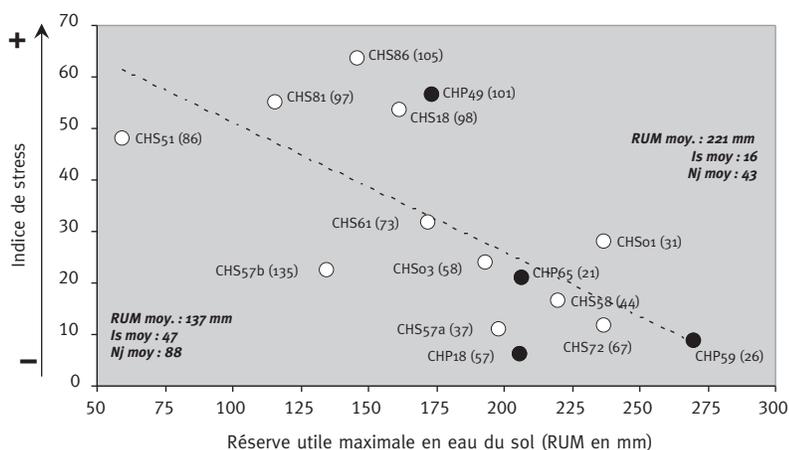
FIGURE 2

RELATIONS ENTRE L'INTENSITÉ MOYENNE DE LA SÉCHERESSE ET LA RÉSERVE UTILE MAXIMALE EN EAU DU SOL (RUM en mm) POUR LES 15 CHÊNAIES DU RÉSEAU RENECOFOR

CHS et CHP = Chênes sessile et pédonculé

Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre de jours de stress hydrique. Les indications en italiques et en gras correspondent aux moyennes des différents paramètres pour les peuplements se situant en dessous (7 placettes) et au-dessus (8 placettes) de la valeur moyenne de RUM (182 mm).

Le coefficient de corrélation r^2 entre l'indice de stress et la RUM est de 0,468 et l'équation linéaire du type $Is = -0,2506 (RUM) + 76,2$ (ligne en pointillé). Pour le nombre de jours de stress, le r^2 est de 0,445 avec $Nj = -0,359 (RUM) + 128,79$.



Les effets du climat sur la croissance ont été analysés en trois étapes. Dans un premier temps, seules les années caractéristiques ont été comparées aux indices de déficit issus du modèle. Cette analyse permet de mettre en évidence l'effet de phénomènes climatiques peu fréquents mais "extrêmes" sur la croissance. Dans un second temps, les corrélations simples entre les chronologies moyennes et les paramètres climatiques considérés au niveau annuel ont été analysées. Dans une dernière étape, des "fonctions de réponse bootstrapped" ont été calculées en combinant des paramètres climatiques au niveau mensuel et les indices de croissance (Guiot, 1991). Ces paramètres ont été organisés de façon à former des combinaisons de 24 régresseurs (12 indices de déficit hydrique et 12 températures minimales ou maximales) associant à la fois les données de l'année n et l'année $n - 1$ afin de prendre en compte d'éventuels arrière-effets climatiques. Les calculs permettent de préciser la relation linéaire moyenne entre les cernes et chaque facteur climatique et d'élaborer des modèles climatiques permettant de reconstruire les variations interannuelles de croissance. Selon les données climatiques disponibles, les fonctions de réponse ont été calculées sur une période de 33 (1962-1994) à 46 ans (1949-1994).

RÉSULTATS

Analyse des années caractéristiques

Sur la période 1949-1994, le nombre d'années caractéristiques calculé sur le cerne complet a varié de 8 à 19 (moyenne : 13 années) (tableau II, p. 35). Le nombre d'années caractéristiques est d'autant plus grand que la valeur de la sensibilité moyenne⁽¹⁾ des cernes est élevée (0,193 à 0,294 ; moyenne : 0,231). Au-dessus du seuil de 0,25, la fréquence d'années caractéristiques dépasse le seuil de 30 %, c'est-à-dire qu'il y a plus de 15 années caractéristiques sur la période 1949-1994.

Les Chênes ont réagi fortement et négativement en 1976 (diminution relative de croissance : - 31 %), 1989 (- 25 %), 1972 (- 23 %), 1956 (- 27 %) et 1962 (- 24 %). La majorité de ces années correspond à des sécheresses exceptionnelles en durée et en intensité (figure 3, p. 34). L'année 1976 a été l'année la plus sèche pour plus de 60 % des peuplements. Cette année a été caractérisée par une sécheresse annuelle deux fois plus longue que la normale (114 jours en moyenne) avec une intensité supérieure de 1 à 8 fois. De la même façon, l'intensité et la durée de la sécheresse ont été en moyenne deux fois supérieures aux valeurs normales pour les années 1989 et 1962, ce qui les place parmi les 5 années les plus sèches pour la plupart des peuplements. Les fortes réductions de l'année 1956 (- 27 %) sont liées essentiellement au gel hivernal. Février 1956 a été le mois le plus froid de toute la période pour tous les peuplements. En moyenne, la température minimale a été de - 9,4 °C (- 7 °C pour CHS61 à - 13,5 °C pour CHS01).

Les fortes croissances ont été observées en 1958, 1982 et 1993 (tableau II, p. 35). Ces années sont toutes caractérisées par un déficit hydrique très faible voire nul (figure 3, p. 34). Les années caractéristiques observées sur le bois final sont comparables avec celles observées pour le cerne complet, mais les écarts sont généralement plus importants (données non montrées). Ceci est cohérent avec les valeurs plus élevées de sensibilité moyenne (SM) calculée pour ce compartiment (0,254 à 0,446 ; moyenne : 0,324) qui reflète bien une réactivité accrue aux événements extérieurs. C'est l'inverse pour le bois initial. Les années caractéristiques sont peu nombreuses (0 à 8 par site ; moyenne : 3) et les valeurs de SM faibles (0,189 à 0,261 ; moyenne : 0,230).

(1) La sensibilité moyenne est une mesure de la variabilité entre deux cernes successifs. Plus la valeur est élevée (gamme de 0,1 à 0,5 en général) et plus les variations interannuelles sont fortes (successions de cernes fins et larges). Cette sensibilité donne une indication sur la réactivité des arbres aux facteurs extérieurs et notamment climatiques.

FIGURE 3
ÉVOLUTION
DE LA RÉSERVE UTILE EN EAU DU SOL
POUR 3 ANNÉES CARACTÉRISTIQUES
DANS LA CHÊNAIE
DE LA FORÊT DE VERNEUIL (CHP18)

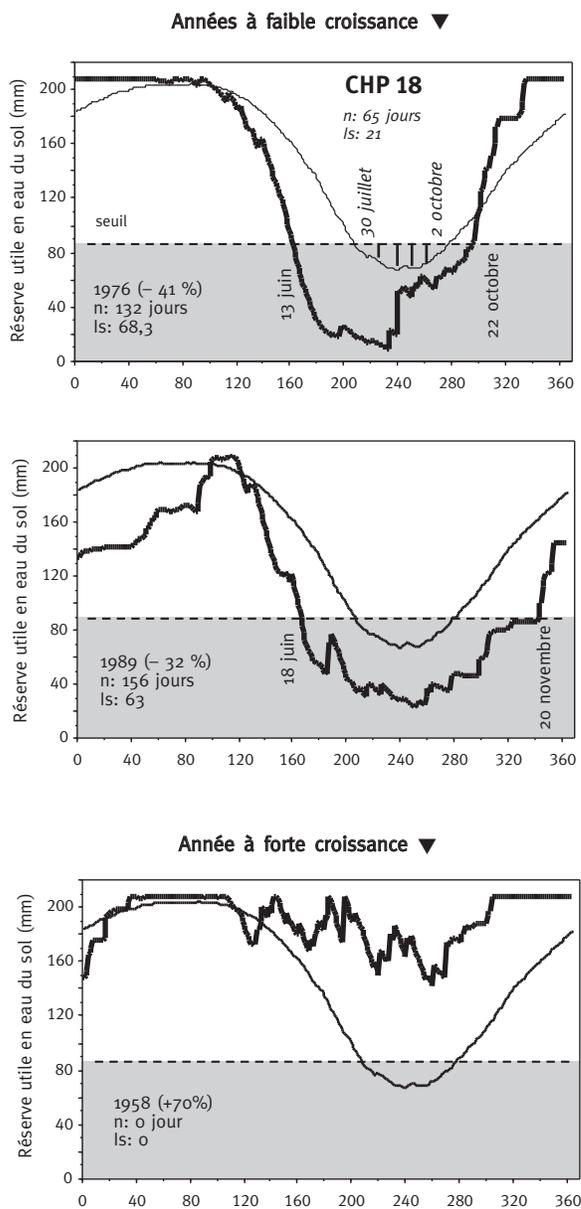
Le trait fin indique l'évolution moyenne de la réserve en eau (1961-1990).

Les données en italiques indiquent les conditions moyennes : dates de début et de fin de la sécheresse ; n = nombre moyen de jours de sécheresse ; Is = indice moyen de déficit hydrique (zone hachurée dans la première figure).

Le trait en pointillé indique le seuil de 40 % de la réserve à partir duquel il y a régulation stomatique (arrêt de la transpiration et de la croissance).

Les traits épais retracent l'évolution de la réserve pour les années considérées. Les dates de début et de fin de la sécheresse sont indiquées, ainsi que les valeurs de l'indice de stress et du nombre de jours de sécheresse. La variation de croissance (en + ou en -) est indiquée entre parenthèses à côté de l'année.

Concernant les deux espèces, il n'apparaît pas d'années caractéristiques spécifiques à chaque chêne, mais les différences relatives de croissance semblent un peu plus prononcées dans le cas des Chênes pédonculés. Ainsi, pour les 24 années négatives différentes observées dans les peuplements de Chêne pédonculé, la diminution relative de croissance a été en moyenne de - 30 %. Pour les Chênes sessiles, la réduction moyenne a été de - 26,8 % (26 années négatives). Pour les années positives, l'augmentation moyenne a été de 53,4 % pour le pédonculé (17 années) et 43,6 % pour le sessile (31 années). La comparaison des 3 peuplements soumis au même climat (CHP18, CHS03 et CHS18) et présentant des conditions stationnelles comparables illustre cette différence. Pour les 3 années sèches 1962, 1976 et 1989, la diminution de croissance a été de - 32 %, - 41 % et - 32 % pour les Chênes pédonculés et - 19 %, - 32 % et - 29 % pour les sessiles. Cette différence de réponse est cohérente avec les valeurs plus élevées de sensibilité moyenne observées pour les Chênes pédonculés (0,259 contre 0,221 pour les sessiles).



TABEAU II Années caractéristiques observées sur le cerne complet sur la période 1949-1994 pour les 15 chênaies du RENECOFOR (le chiffre indique le numéro du département)

Une année n est caractéristique quand au moins 23 des 30 arbres du peuplement présentent le même signe de changement (10 % par rapport à l'année précédente).

	Chêne pédonculé				Chêne sessile										Total		n(+)		n(-)		
	18	49	59	65	01	03	18	51	57a	57b	58	61	72	81	86	n	Fréq. (%)	n	EcR %	n	EcR %
1994					+	+	+	+	+	+	+					7	47	7	39		
1993	+	+				+							+	+	+	6	40	6	59		
1992			+			-							-	-		4	27	1	67	3	-27
1991			-									+		-		3	20	1	48	2	-23
1990		-	-		+	-										4	27	1	30	3	-35
1989	-	-			-	-	-			-		-	-	-		8	53			8	-25
1988			+					+								2	13	2	43		
1987	+				+									+		3	20	3	56		
1986															-	1	7			1	-32
1985		+													-	2	13	1	37	1	-24
1984			-	-												2	13			2	-28
1983								-	-					+		3	20	1	58	2	-25
1982			+		+		+	+	+		+	+	-			8	53	7	57	1	-25
1981					-	-		+		-						4	27	1	43	3	-29
1980		+	-		+	+			-	+						6	40	4	36	2	-32
1979								+								1	7	1	32		
1978			+		+					+	+	+				5	33	5	54		
1977		-								+			-	+		4	27	2	53	2	-31
1976	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	80			12	-31
1975	+	+	+		+	+									+	6	40	6	35		
1974	-					-									-	3	20			3	-28
1973					+			+								2	13	2	45		
1972		-	-		-	-		-		+	-		-	-		9	60	1	41	8	-23
1971								-			-					3	20			3	-24
1970		+	-							-				-		4	27	1	75	3	-19
1969	+	-			+	+			+							5	33	4	50	1	-22
1968			-					+								2	13	1	63	1	-29
1967																1	7			1	-16
1966										-						1	7			1	-35
1965		-	+					+		+	+					5	33	4	38	1	-39
1964		+							-		-					3	20	1	28	2	-23
1963				+							+					2	13	2	34		
1962	-				-	-		-	-	-				-		7	47			7	-24
1961					+			+	+							3	20	3	32		
1960			-	-								+				3	20	1	40	2	-31
1959	-	-			-										+	4	27	1	60	3	-33
1958	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	80	12	59		
1957			+	-				-								4	27	1	55	3	-33
1956		-	-		-	-		-	-	-	-					7	47			7	-27
1955								+						+		2	13	2	47		
1954		-			-	-					-		+	-		6	40	1	55	5	-26
1953			-		+			-		+				+		5	33	3	41	2	-29
1952	-				+			-		-			-	-		6	40	1	33	5	-28
1951			-		+			+								3	20	2	27	1	-20
1950		+		+			+				+					4	27	4	48		
1949				-			-	+						-		4	27	1	39	3	-27
n	11	18	17	10	12	11	16	11	19	12	15	11	8	17	13						
Fréq. (%)	24	39	37	22	26	24	35	24	41	26	33	24	17	37	28						
n(+)	5	8	8	3	7	6	7	7	10	7	7	7	4	6	5						
EcR %	53	48,7	61,2	50,1	42,6	36,9	45,4	43,1	41,1	45	35,3	43,6	56,5	58,3	61,3						
n(-)	6	10	9	7	5	5	9	4	9	5	8	4	4	11	8						
EcR %	-36	-28	-30	-27	-29	-24	-23	-28	-27	-31	-24	-29	-26	-24	-28						

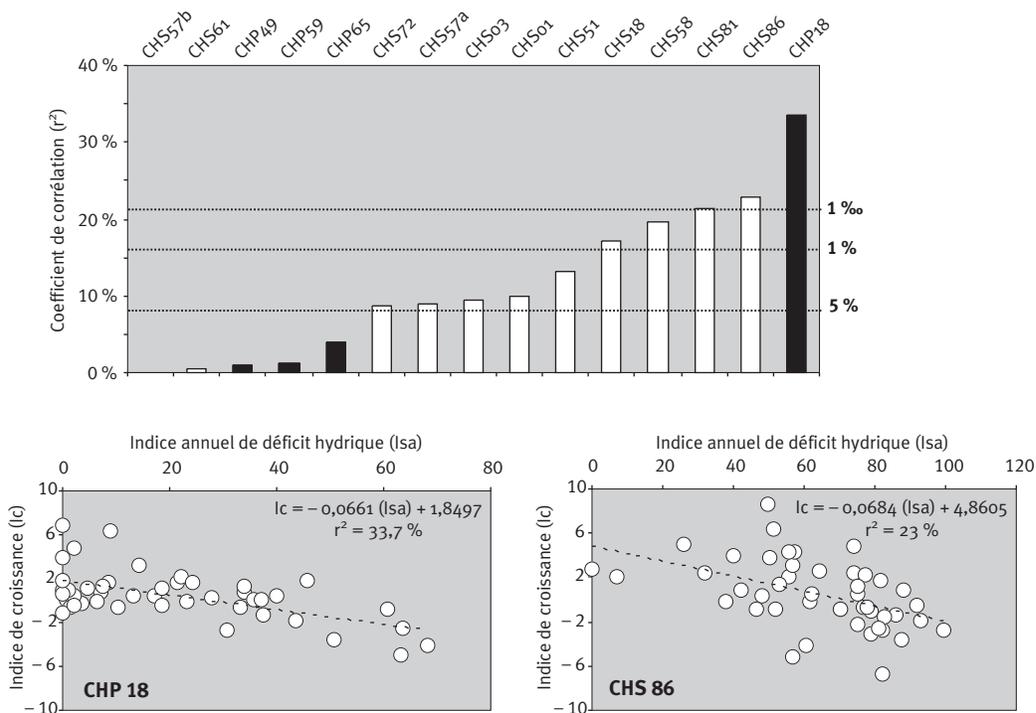
n = nombre d'années.
 (+) : croissance plus forte.
 (-) : croissance plus faible.
 EcR % = écart relatif moyen en %.
 Par exemple, pour CHP18, la variation moyenne de croissance pour les 5 années positives est de +53 %.

Analyse des relations cerne-climat

L'indice de déficit hydrique cumulé sur l'année (Isa) explique entre 9 % et 34 % de la variation de la croissance des peuplements (moyenne : 17 %) (figure 4, ci-dessous). Avec ce paramètre, aucune corrélation significative n'est observée pour 5 chênaies. Les corrélations avec le nombre de jours de stress sont légèrement supérieures et comprises entre 14,3 % et 28,2 % (moyenne : 18 %), mais significatives pour seulement 6 peuplements sur 15.

FIGURE 4 CORRÉLATION ENTRE L'INDICE DE DÉFICIT HYDRIQUE CUMULÉ SUR L'ANNÉE (Isa) ET L'INDICE DE CROISSANCE DES CHÊNAIES (Ic, CERNE COMPLET)

Les lignes indiquent les seuils de significativité. Les barres noires correspondent aux Chênes pédonculés.



Les différents modèles climatiques expliquent en moyenne 28,5 % de la variabilité de la croissance des chênaies (de 6,8 % à 52,3 % selon le peuplement et la combinaison des régresseurs climatiques) (tableau III, p. 37 et figure 5, p. 38). Il n'apparaît pas de facteur climatique commun fort à l'ensemble des chênaies. Une corrélation négative avec le déficit hydrique de juillet apparaît pour 8 sites. Ce paramètre explique entre 10,1 % et 28,6 % de la variation des largeurs des cerne (moyenne : 18,5 %). Une corrélation avec le déficit d'août est observée pour 5 sites. Le déficit hydrique d'octobre de l'année précédente influence négativement mais faiblement la croissance annuelle pour 6 peuplements (5,1 % à 9,3 % ; moyenne : 7,1 %). Concernant les températures, c'est le régime thermique de décembre qui apparaît le plus important avec cependant des seuils de significativité souvent faibles (5 et 10 %). Ainsi, des températures élevées de décembre (surtout pour la température minimale) participent à la mise en place d'un cerne large pour 7 peuplements (tableau III, ci-contre p. 37).

TABLEAU III Synthèse des variables climatiques entrant significativement dans les modèles

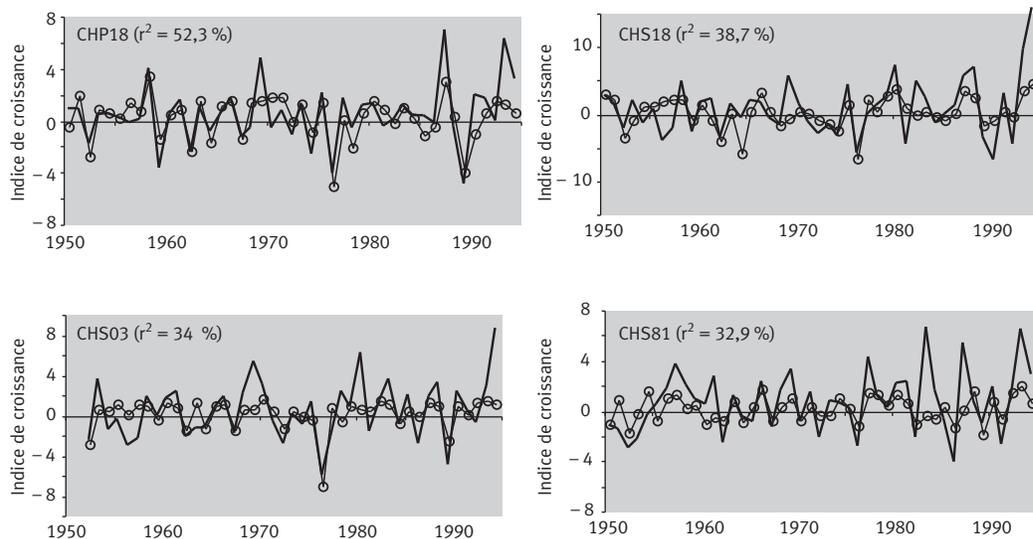
La première ligne correspond à l'association indice de déficit et température minimale, et la seconde au cas indice de déficit et température maximale. Une flèche dirigée vers le haut indique une relation "directe" et vers le bas une relation inverse (effet négatif des fortes valeurs du facteur). Les doubles flèches indiquent les variables les plus significatives (au moins au seuil de 1 %). Le r² indique la corrélation entre les indices de croissance observés et les indices reconstruits à partir des seules variables climatiques (* : significatif à 10 %). N1 et D1 = novembre et décembre de l'année précédente. Pour CHS57a, seule la combinaison Indice-Tmoy a été considérée (période 1950-1994).

	Indices de déficit hydrique						Température										r ² (%)								
	année n						année n-1																		
	M	Ju	J	A	S	O	M	Ju	J	A	S	O	N1	D1	J	F		M	A	M	Ju	J	A	S	O
CHP18 1950-1994		↓	↓	↓	↓	↓								↑				↑					↑	↑	34,5 52,3
CHP49 1950-1994										↑		↓					↓						↑	↓	31,2 ns
CHP59 1950-1994																↑		↓							ns 6,8*
CHP65 1956-1994						↓										↓									ns 19
CHS01 1950-1994					↓	↓								↑							↑				23,6 28,6
CHS03 1952-1994	↓	↓										↓									↑				33,7 34
CHS18 1950-1994	↓	↓	↓									↓		↑							↑				38,4 38,7
CHS51 1962-1994	↓	↓										↓		↑											26,1 31,7
CHS57a				↓	↓	↓																	↑		33,5
CHS57b 1950-1994																									ns ns
CHS58 1952-1994			↓	↓	↓									↑								↑			32,1 33,1
CHS61 1950-1994														↓									↑		8,5* ns
CHS72 1950-1994			↓													↑					↑				13 7,8*
CHS81 1950-1994	↓	↓										↓		↑											33,5 32,9
CHS86 1950-1994	↓	↓	↓	↓	↓						↓	↓		↑									↑		28,9 33,6
total	10	13	9	7	5					1	1	7	1	12	2	1	3	2		3	4	1	5	1	
effet -	10	13	9	7	5					1	7		1		1		3	1						1	
effet +										1				12	1	1		1		3	4	1	5		

Les modèles obtenus avec le bois final sont comparables à ceux définis sur le cerne complet, mais les pourcentages de variance expliquée sont souvent supérieurs (moyenne : 30,4 %). Le seul mois de juillet explique en moyenne 21 % de la variance de la largeur de ce compartiment (12,9 % à 31,5 %). Pour le bois initial, les pourcentages expliqués sont nettement plus faibles (moyenne : 19,1 %). Pour cette partie du cerne annuel, ce sont les conditions climatiques esti-

FIGURE 5 VARIATIONS DES INDICES DE CROISSANCE OBSERVÉS (trait épais) ET PRÉDITS PAR LE MODÈLE CLIMATIQUE (ronds blancs) POUR QUATRE CHÊNAIES

Pour la reconstruction, ce sont les modèles obtenus avec l'association Indice de déficit et température minimale qui ont été pris en compte (cerne complet).



vales de l'année précédente qui influencent partiellement la mise en place du bois initial l'année suivante (effet positif pour 6 peuplements). Le signal thermique est essentiellement lié aux valeurs minimales et des températures élevées en juin ou juillet favorisent un bois initial large pour 7 peuplements. Enfin, il apparaît également une corrélation significative pour 9 sites entre le bois final de l'année précédente et le bois initial de l'année suivante (moyenne : 12,4 %).

DISCUSSION ET COMPARAISON AVEC LES HÊTRAIES

L'année humide 1958 et les années sèches 1976 et 1989 sont remarquables au niveau européen car elles ont été observées dans de très nombreux peuplements feuillus (Kelly *et al.*, 1989 ; Becker *et al.*, 1994 ; Bridge *et al.*, 1996 ; Badeau, 1995 ; Romagnoli et Codipietro, 1996 ; Lebourgeois *et al.*, 2004 ; Raffalli-Delerce *et al.*, 2004). Ces années ont également été observées pour les 15 hêtraies du réseau avec des fréquences comparables mais des variations relatives de croissance différentes (figure 6, p. 40). Par rapport aux chênaies, les années sèches se sont traduites par des réductions supérieures de près de 40 % dans les hêtraies et l'année humide par un cerne plus large d'environ 10 %. Cette différence peut s'expliquer en partie par la sensibilité moyenne plus importante du Hêtre et par les niveaux plus faibles de réserve utile maximale en eau (figure 6, p. 40). Concernant les deux chênes, la plus forte sensibilité du Chêne pédonculé aux sécheresses extrêmes est cohérente avec les observations faites par différents auteurs avec la même approche dendroécologique (Lévy *et al.*, 1992 ; Becker *et al.*, 1994 ; Bréda, 2000). Ils coïncident également avec les résultats des travaux d'écophysiologie qui montrent que la distinction physiologique des deux espèces est réelle mais n'apparaît évidente que dans le cas de déficits hydriques importants et prolongés. Ainsi, l'arrêt de la croissance, le dysfonctionnement

du réseau conducteur (embolie) et la mortalité sont observés plus précocement chez le pédonculé, c'est-à-dire à des niveaux de contraintes hydriques plus faibles (Cochard *et al.*, 1992 ; Bréda *et al.*, 1993 ; Vivin *et al.*, 1993). Les différences quant à la structure des vaisseaux et des cernes et aux propriétés hydrauliques (Ponton *et al.*, 2001) expliquent, en partie, ces comportements différents des deux chênes.

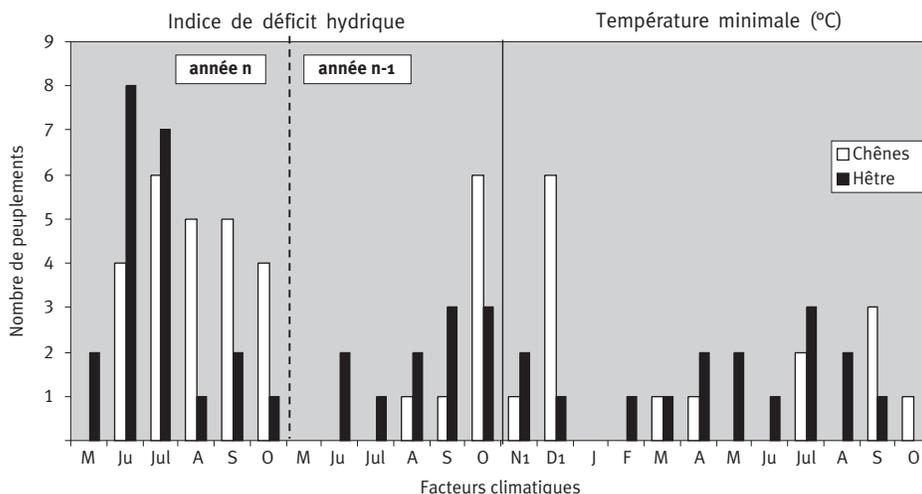
Si certaines années extrêmes permettent de distinguer les deux espèces, la réactivité moyenne des chênaies au climat apparaît en revanche similaire pour les deux essences. Les modèles expliquent en moyenne 29 % des variations de croissance, et c'est le bilan hydrique de juillet qui est le facteur climatique prépondérant en expliquant 19 % des variations d'accroissement pour un peuplement sur deux (tableau III, p. 37 et figure 6, p. 40). Pour une partie des chênaies, il apparaît également que l'absence de sécheresse en automne et des températures hivernales clémentes participent à la mise en place d'un cerne large. Le niveau d'explication relativement faible des modèles suggère que les conditions climatiques sont, en moyenne, peu limitantes pour une bonne croissance des arbres : faible altitude, climat tempéré humide associé à des sols profonds. Concernant ce dernier point, la réserve utile maximale est, en moyenne, de 182 mm sur 1,50 m. Différentes études ont montré que les chênes étaient capables d'une prospection racinaire beaucoup plus importante en l'absence de fortes contraintes (Lebourgeois et Jabiol, 2002). Ainsi, on peut supposer que l'enracinement (fin surtout) est, dans un certain nombre de cas, supérieur à 1,50 m, ce qui augmente la profondeur de calcul de la réserve utile et tend à minimiser encore les effets de la sécheresse. Bien que faible, le taux moyen d'explication des modèles est cohérent avec les résultats obtenus dans d'autres contextes en France et en Europe (valeurs souvent autour de 30 %).

Dans le contexte du réseau RENECOFOR, la comparaison avec les hêtraies (figure 6, p. 40) illustre bien la très grande difficulté à expliquer le déterminisme climatique d'accroissement du Chêne avec des paramètres climatiques "simples" considérés à des pas de temps assez longs (valeurs cumulées sur le mois, la saison ou l'année). Le Hêtre paraît être une essence plus "facile à modéliser". Sa sensibilité aux facteurs du milieu est plus forte et un facteur climatique unique explique la plus grande part du déterminisme des largeurs de cernes (rôle central du bilan hydrique du début d'été) (figure 6, p. 40). Pour les chênaies, la réponse est parfois très variable entre les peuplements et il n'est pas possible de mettre en évidence un facteur explicatif commun. La croissance semble dépendre non seulement des conditions climatiques de l'ensemble de la saison de végétation, mais également des conditions automnales et hivernales précédant la mise en place du cerne. Il est possible que les différences notables de conditions écologiques de croissance expliquent en partie ces deux comportements ; les hêtraies bénéficient globalement des conditions stationnelles ou climatiques moins favorables les rendant plus sensibles aux aléas.

Une autre explication fait appel au fonctionnement physiologique des deux genres en liaison avec l'anatomie du bois. Les larges vaisseaux des Chênes (bois initial) sont sensibles à l'embolie hivernale et printanière (gel du xylème entre 0 et - 2 °C) alors que les petits vaisseaux du bois de Hêtre le sont peu (Tyree et Cochard, 1996 ; Cruziat *et al.*, 2002). Ainsi, pour le Hêtre, la réactivation de la croissance au printemps est donc moins dépendante des réserves carbonées stockées (amidon, etc.) en fin de saison précédente. Le transport de l'eau du sol à la cime étant possible, la croissance radiale du Hêtre commence quelques jours après l'expansion des feuilles et l'assimilation carbonée (Barbaroux et Bréda, 2002). Fin juin, entre 30 et 70 % de l'accroissement radial a déjà eu lieu et la croissance s'arrête entre fin août et mi-septembre (Barbaroux et Bréda, 2002). De plus, contrairement aux chênes pour lesquels seuls quelques cernes restent fonctionnels pour le transport de l'eau (en conditions normales), un nombre important de cernes est utilisé pour le flux d'eau chez le Hêtre, ce qui rend cette essence beaucoup moins dépen-

FIGURE 6
COMPARAISON DES FONCTIONS DE RÉPONSE OBTENUES
POUR LES 15 HÊTRAIES (Lebourgeois, 2005) ET LES 15 CHÊNAIES
DU RÉSEAU RENECOFOR (cerne complet)

Les histogrammes représentent, pour chaque variable climatique, le nombre de peuplements dans lequel le paramètre intervient. Dans le tableau, les valeurs entre crochets correspondent aux moyennes. SM = sensibilité moyenne. Pour les modèles, seules les variables rencontrées dans au moins 4 peuplements sont présentées.



	Hêtre	Chêne
Nb peuplements	15	15
Nb arbres.....	450	443
Ht (m)	21,4-30,2	17,7-30,4
Dia (cm)	29-50	25-44
Âge (ans)	54-160	54-139
Dens. (t/ha).....	201-764	190-569
Alt. (m).....	50-1 300 [470]	57-370 [222]
RUM (mm)	77-274 [133]	59-270 [182]
Lc (mm/an)	1,36-3,80 [2,3]	1,34-2,38 [2,0]
MS	0,199-0,319 [0,266]	0,193-0,294 [0,231]
AC	0,301-0,665 [0,523]	0,386-0,598 [0,499]
An. caract.		
1989	Fréq : 67 % ; EcR(%) : - 34	Fréq : 53 % ; EcR(%) : - 25
1976	Fréq : 80 % ; EcR(%) : - 43	Fréq : 80 % ; EcR(%) : - 31
1958	Fréq : 60 % ; EcR(%) : + 64	Fréq : 80 % ; EcR(%) : + 59
Modèles		
r ²	15,8 % à 57 % [34,1 %]	6,8 % à 52,3 % [28,5 %]
Fact. climat.		
8-10 peupl.	BH juin [26,6 %]	
6-7 peupl.	BH juil.	BH juil. [18,5 %] BH oct. (n-1) Temp. déc. (n-1)
4-5 peupl.		BH juin BH août BH sept. BH oct.

dante des vaisseaux formés pendant l'année. Ceci explique, en grande partie, l'importance du bilan hydrique en début de saison pour la mise en place du cerne annuel, et plus particulièrement pour celle du bois initial. Pour le Chêne, la production de larges vaisseaux avant l'apparition des feuilles est nécessaire pour une restauration de l'intégrité du système conducteur au printemps (Cochard *et al.*, 1992 ; Tyree et Cochard, 1996). Plusieurs auteurs ont également montré qu'une partie non négligeable de l'accroissement radial était acquis avant la sortie des nouvelles feuilles et le développement complet du houppier (jusqu'à 30 %). Cet accroissement est possible grâce à la forte remobilisation printanière des réserves carbonées stockées en automne (Barbaroux et Bréda, 2002). Ces traits physiologiques expliquent, en grande partie, les corrélations climatiques observées. En favorisant un stockage de carbone important et la translocation des différents nutriments des feuilles aux branches et aux bourgeons avant la sénescence, les automnes humides participent à la mise en place d'un cerne large l'année suivante. D'une façon similaire, en diminuant le pourcentage de vaisseaux embolisés, les températures hivernales clémentes permettent le maintien de l'intégrité du système conducteur et donc de meilleures conditions de croissance.

Une autre explication pourrait être que ces bonnes conditions automnales et hivernales favorisent le développement ou le maintien du système racinaire, ce qui à terme permet une meilleure efficacité de l'utilisation des ressources. Par la suite, la croissance aérienne des Chênes est organisée en vagues successives et, au cours de l'été, la même branche peut produire plusieurs générations de feuilles. Des déficits hydriques pendant l'été limitent donc le développement foliaire, diminuent le taux de photosynthèse et ralentissent voire stoppent la croissance. D'une façon générale, les conditions climatiques estivales semblent être un facteur clé pour les Chênes car des relations entre les conditions estivales et la croissance des arbres ont déjà été observées dans de nombreux contextes en France (Becker *et al.*, 1994), au Nord de l'Espagne (Rozas, 2001), en Italie (Santini *et al.*, 1994) ou encore en Allemagne (Gonzalez et Eckstein, 2003). Des travaux récents, utilisant comme indicateur du fonctionnement physiologique des arbres le rapport isotopique du carbone (= $\delta^{13}\text{C}$), ont confirmé ce modèle de croissance. En cas de sécheresse estivale (rôle central de juillet), les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ augmentent, ce qui traduit une fermeture des stomates et une diminution de la fourniture en CO_2 atmosphérique et aboutit à la mise en place d'un cerne étroit (Raffalli-Delerce *et al.*, 2004).

En conclusion, il apparaît que les chênaies sont sensibles aux sécheresses estivales (rôle du bilan hydrique de juillet) ainsi qu'aux conditions climatiques automnales (bilan hydrique) et hivernales (température). Des conditions clémentes en automne et en hiver et l'absence de déficits hydriques au cours de l'été participent à la mise en place d'un cerne large. En moyenne, les deux chênes présentent la même réactivité au climat. C'est seulement en cas de déficits très importants (au moins le double des conditions normales) que la plus forte sensibilité du pédonculé est révélée par cette approche dendroécologique. Ainsi, l'étude du comportement des arbres vis-à-vis du climat, et particulièrement des extrêmes climatiques, est importante dans la perspective des changements climatiques.

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

(lebourgeois@engref.fr)

Remerciements

L'auteur remercie le Service central d'Exploitation de la Météorologie (SCEM) de Toulouse pour l'aide apportée lors de la sélection des stations du réseau Météo-France. Ce travail a été soutenu financièrement par l'Union européenne, DG VI, projet n° 9760FR0030, INRA – CEE.

BIBLIOGRAPHIE

- BADEAU (V.). — Étude dendroécologique du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) sur les plateaux calcaires de Lorraine. Influence de la gestion sylvicole. — Nancy : Université de Nancy I Henri Poincaré, 1995 (Thèse de doctorat).
- BADEAU (V.), DUPOUEY (J.-L.), CLUZEAU (C.), DRAPIER (J.). — Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. — *Forêt-Entreprise*, vol. 162, n° 2, 2005, pp. 25-29.
- 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, 2002, pp. 1201-1210.
- BECKER (M.), NIEMENEN (T.), GEREMIA (F.). — Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO₂. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 51, 1994, pp. 477-492.
- BRÉDA (N.). — Water storage as a key factor in the case of the oak dieback in the Harth Forest (Alsation plain, France) as demonstrated by dendroecological and ecophysiological study. In : Recent advances on oak health in Europe / T. Oszako, C. Delatour Editors. — Warsaw (Poland) : Forest Research Institute, 2000. — pp. 157-159.
- BRÉDA (N.), GRANIER (A.), AUSSENAC (G.). — La Sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiological et influence sur les arbres forestiers. — *Revue forestière française*, vol. LVI, n° 2, 2004, pp. 109-131.
- BRÉDA (N.), GRANIER (A.), DREYER (E.), COCHARD (H.). — Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 50, 1993, pp. 571-582.
- BRÉDA (N.), PEIFFER (M.), DUPOUEY (J.-L.), GEREMIA (F.), SCHIPFER (R.), KIEFFER (C.). — Le Rôle clé des déficits hydriques dans le dépérissement de chênaies en forêt de la Harth (Alsace du Sud) établi par une analyse dendroécologique et écophysiological. In : Les cahiers du DSF (La santé des forêts [1998]). — Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation (DERF), 1999.
- BRÊTHES (A.), ULRICH (E.). — RENECOFOR. Caractéristiques pédologiques des 102 peuplements du réseau. — Office national des Forêts - Département des Recherches techniques, 1997. — 573 p.
- BRIDGE (M.C.), GASSON (P.E.), CUTLER (D.F.). — Dendroclimatological observations on trees at Kew and Wakehurst place: event and pointer years. — *Forestry*, vol. 69, 1996, pp. 263-269.
- CLUZEAU (C.), ULRICH (E.), LANIER (M.), GARNIER (F.). — RENECOFOR. Interprétation des mesures dendrométriques de 1991 à 1995 des 102 peuplements du réseau. — Office national des Forêts - Département des Recherches techniques, 1998. — 309 p.
- 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, 1992, pp. 225-233.
- CRUIZIAT (P.), COCHARD (H.), AMÉGLIO (T.). — Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. — *Annals of Forest Science*, vol. 59, 2002, pp. 723-752.
- DOBREMEZ (J.F.), CAMARET (S.), BOURJOT (L.), ULRICH (E.), BRÊTHES (A.), COQUILLARD (P.), DUMÉ (G.), DUPOUEY (J.-L.), FORGEARD (F.), GAUBERVILLE (C.), GUEUGNOT (J.), PICARD (J.-F.), SAVOIE (J.-M.), SCHMITT (A.), TIMBAL (J.), TOUFFET (J.), TRÉMOLIÈRES (M.). — RENECOFOR. Inventaire et interprétation de la composition floristique de 101 peuplements du réseau. — Office national des Forêts - Département des Recherches techniques, 1997. — 511 p.
- FRITTS (H.C.). — Tree-ring and climate. — New York : Academic Press, 1976. — 576 p.
- GONZALEZ (I.G.), ECKSTEIN (D.). — Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. — *Tree Physiology*, vol. 23, 2003, pp. 497-504.

- GRANIER (A.), BADEAU (V.), BRÉDA (N.). — Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 59-68.
- GRANIER (A.), BRÉDA (N.), BIRON (P.), VILLETTE (S.). — A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. — *Ecological Modelling*, vol. 116, 1999, pp. 269-283.
- GUIOT (J.). — The bootstrapped response function. — *Tree-Ring Bulletin*, vol. 51, 1991, pp. 39-41.
- KELLY (P.M.), MUNRO (M.A.R.), HUGHES (M.K.), GOODESS (C.M.). — Climate and signature years in west European oaks. — *Nature*, vol. 340, 1989, pp. 57-59.
- LANDMANN (G.), BRÉDA (N.), HOULLIER (F.), DREYER (E.), FLOT (J.-L.). — Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises. — *Revue forestière française*, vol. LV, n° 4, 2003, pp. 229-306.
- LEBOURGEOIS (F.). — Analyse du bilan hydrique et de la croissance des arbres dans le RENECOFOR. Rapport scientifique final, Union européenne, DG VI, projet n° 9760FR0030, INRA - CEE. — INRA - Unité d'Écophysiole forestière, 1999. — 72 p.
- LEBOURGEOIS (F.). — Approche dendroécologique de la sensibilité du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) au climat en France et en Europe. — *Revue forestière française*, vol. LVII, n° 1, 2005, pp. 33-50.
- LEBOURGEOIS (F.). — RENECOFOR. Étude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau. — Office national des Forêts - Département des Recherches techniques, 1997. — 307 p.
- LEBOURGEOIS (F.), BRÉDA (N.), ULRICH (E.), GRANIER (A.). — Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). — *Trees*, vol. 19, 2005, pp. 385-401.
- LEBOURGEOIS (F.), COUSSEAU (G.), DUCOS (Y.). — Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France). — *Annals of Forest Science*, vol. 61, 2004, pp. 361-372.
- LEBOURGEOIS (F.), COUSSEAU (G.), DUCOS (Y.). — Étude d'une chênaie sessiliflore exceptionnelle : la futaie des Clos (Sarthe). — *Revue forestière française*, vol. LV, n° 4, 2003, pp. 333-346.
- LEBOURGEOIS (F.), JABIOL (B.). — Enracinements comparés des Chênes (sessile et pédonculé) et du Hêtre sur différents matériaux. Réflexions sur l'autécologie des essences. — *Revue forestière française*, vol. LIV, n° 1, 2002, pp. 17-42.
- 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, 1992, pp. 51-63.
- MOISSELIN (J.-M.), SCHNEIDER (M.), CANELLAS (C.), MESTRE (O.). — Les Changements climatiques en France au XX^e siècle. — *La Météorologie*, n° 38, 2002, pp. 45-56.
- PONTON (S.), DUPOUEY (J.-L.), BRÉDA (N.), FEUILLAT (F.), BODÉNÈS (C.), DREYER (E.). — Carbon isotope discrimination and wood anatomy variations in mixed stands of *Quercus robur* and *Quercus petraea*. — *Plant, Cell and Environment*, vol. 24, 2001, pp. 861-868.
- RAFFALLI-DELERCE (G.), MASSON-DELMOTTE (V.), DUPOUEY (J.-L.), STIEVENARD (M.), BRÉDA (N.), MOISSELIN (J.-M.). — Reconstruction of summer droughts using tree-ring cellulose isotopes: a calibration study with living oaks from Brittany (western France). — *Tellus*, vol. 56B, 2004, pp. 160-174.
- ROMAGNOLI (M.), CODIPIETRO (G.). — Pointer years and growth in Turkey oak (*Quercus cerris* L.) in Latium (Central Italy). A dendroclimatic approach. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 53, 1996, pp. 671-684.
- ROZAS (V.). — Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. — *Annals of Forest Science*, vol. 58, 2001, pp. 237-251.
- SANTINI (A.), BOTTACCI (A.), GELLINI (R.). — Preliminary dendroecological survey of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Tuscany (Italy). — *Annales des Sciences forestières*, vol. 51, 1994, pp. 1-10.
- TESSIER (L.), NOLA (P.), SERRE-BACHET (F.). — Deciduous *Quercus* in the Mediterranean region: tree-ring/climate relationships. — *New Phytologist*, vol. 126, 1994, pp. 355-367.
- TYREE (M.T.), COCHARD (H.). — Summer and winter embolism in oak: impact on water relations. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 53, 1996, pp. 173-180.
- ULRICH (E.). — Le Réseau RENECOFOR : objectifs et réalisation. — *Revue forestière française*, vol. XLVIII, n° 2, 1995, pp. 107-124.
- VIVIN (P.), AUSSENAC (G.), LÉVY (G.). — Differences in drought resistance among 3 deciduous oak species grown in large boxes. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 50, 1993, pp. 221-233.

SENSIBILITÉ AU CLIMAT DES CHÊNES SESSILE ET PÉDONCULÉ DANS LE RÉSEAU RENECOFOR. COMPARAISON AVEC LES HÊTRAIES (Résumé)

Les relations entre le climat et la croissance radiale de 11 chênaies pédonculées et de 4 chênaies sessiliflores (433 arbres) du réseau RENECOFOR ont été étudiées à travers l'analyse des "années caractéristiques" et l'établissement de fonctions de réponse. Les bilans hydriques mensuels utilisés pour expliquer la croissance sont issus d'un modèle à base écophysiological qui utilise des données climatiques journalières et des paramètres stationnels pour estimer le déficit hydrique du sol. Sur la période 1949-1994, les sécheresses particulièrement intenses et longues des années 1962, 1976 et 1989 et l'année très froide 1956 se sont traduites par des croissances très réduites pour la majorité des peuplements. À l'opposé, l'année humide 1958 a coïncidé avec une forte croissance. Pour le cerne complet, les modèles climatiques expliquent, en moyenne, 28,5 % de la variabilité interannuelle. Les chênaies sont sensibles aux sécheresses estivales ainsi qu'aux conditions climatiques automnales (bilan hydrique d'octobre de l'année $n - 1$) et hivernales (température de décembre). Le bilan hydrique de juillet intervient dans un peuplement sur deux et explique en moyenne 18,5 % de la croissance des chênaies. Les mêmes paramètres interviennent pour la formation du bois final et les modèles sont plus explicatifs (r^2 moyen : 30,4 %). Pour le bois initial, les modèles sont moins explicatifs (19,1 % en moyenne). Sa formation est en partie liée aux conditions climatiques estivales de l'année précédente et aux températures minimales de juin ou juillet. La différence entre les deux essences n'apparaît que pour les années particulièrement sèches avec des réductions plus importantes pour le Chêne pédonculé. Les résultats sont comparés à ceux obtenus sur les hêtraies.

SENSITIVITY OF SESSILE AND PEDUNCULATE OAK TO CLIMATE IN THE RENECOFOR NETWORK. A COMPARISON WITH BEECH STANDS (Abstract)

The influence of climate on the radial growth of sessile and pedunculate oaks was investigated using 15 chronologies (433 trees) developed from mature stands of the French Network RENECOFOR growing under different climatic and soil conditions. The relationships between climate and ring widths were analyzed using extreme growth years, simple correlations and response functions analysis. Monthly climatic regressors were derived from a physiological water balance model that uses daily data and stand parameters to estimate soil water deficits. The negative pointer years result from a particularly intense drought (1962, 1976, 1989) or extreme frost (1956), whereas positive years (1958, 1982, 1993) coincide with wet conditions. During severe droughts, the growth decrease is greater for pedunculate trees than for sessile trees highlighting the higher sensitivity of pedunculate oaks to water stress. Inter-site consistency of oak response to climate is weak and there is no obvious common climatic factor controlling total growth-ring widths. The total growth-ring chronology variance attributable to climate averages 28.5 % (6.8 % to 52.3 %). Current soil water deficit in July explains between 10.1 % and 28.6 % (mean: 18.5 %) in 50 % of the stands. Soil water deficit in August and Prior water deficit in October weakly and negatively influence total growth at 40 % of the sites. Temperature in December entered in 6 models with positive regression coefficients. The response pattern for latewood is very similar and the percentage of variance explained is higher (mean: 30.4 %). Earlywood is less sensitive to climate, and the climatic signal is partly related to minimum temperature in early summer and prior water deficit in late summer. The percentage of variance explained in earlywood chronologies averages 19.1 %. The results are compared with those obtained for beech stands.
