

ÉTUDE D'UNE CHÊNAIE SESSILIFLORE EXCEPTIONNELLE : LA FUTAIE DES CLOS (SARTHE)

FRANÇOIS LEBOURGEOIS - GUILLAUME COUSSEAU - YVES DUCOS

La Futaie des Clos est située dans le département de la Sarthe à environ 30 kilomètres au sud du Mans. Cette parcelle de Chêne sessile (n° 226a) de 8 ha fait partie de la forêt domaniale de Bercé. En octobre 1669, le séjour dans ce massif de monsieur Hurault (grand Maître des Eaux et Forêts) et monsieur Leferon (Député pour la réformation générale des Eaux et Forêts), chargés par Colbert de visiter plusieurs forêts françaises, aboutit à la rédaction d'un procès-verbal stipulant de « *faire labourer et semer les glands, le plutôt que faire se pourra, les places vides et mal peuplées* ». C'est quelques années après cette visite que la Futaie des Clos est née (Viney, 1950). L'aménagement de 1843 classait ce peuplement de Chêne sessile parmi les parcelles à régénérer entre 1903 et 1933. La distraction de l'aménagement de la parcelle est décidée en 1904 par l'administration sous la pression des différents acteurs locaux (forestiers, politiques, habitants). Les critères mis en avant par ces derniers pour retarder l'assiette des coupes étaient tout d'abord les critères dendrométriques tels que la hauteur totale (40 m pour les plus hauts) et la hauteur sans branche (20 à 30 mètres). Les autres arguments utilisés étaient la rectitude et la qualité du bois. Enfin, l'aspect esthétique venait conclure et soutenir les arguments précédents (Rapport de R. de Roussière en 1895). La préservation officielle de la Futaie des Clos date de 1911 à l'issue de son inscription sur la liste nationale des arbres remarquables.

L'objectif de cet article est d'établir un bilan passé et actuel de cette parcelle forestière et d'analyser l'évolution du peuplement au cours du temps. La comparaison des 7 inventaires dendrométriques disponibles depuis 1888 permettra d'étudier les changements de structure, de composition... du peuplement au cours du XX^e siècle. L'étude dendroécologique, qui associe l'analyse du milieu et la mesure de la croissance radiale des arbres, doit permettre de caractériser la station, de déterminer précisément l'âge des arbres, la largeur moyenne du cerne annuel, les principales crises de croissance, ponctuelles ou de plus longues durées, subies par les arbres au cours de leur vie, ainsi que l'effet et la réactivité des arbres aux interventions sylvicoles pratiquées dans le peuplement.

CONTEXTE CLIMATIQUE ET ANALYSE DU MILIEU

Les relevés météorologiques pour la station du Mans, située à environ 20 kilomètres au nord de la Forêt de Bercé, indiquent des précipitations totales de 678 mm assez bien réparties (50 à 70 mm mensuels) et 170 jours de pluie (moyenne 1961-1990) (tableau I, p. 334). La température annuelle est de 11,1 °C avec un minimum de 4,1 °C en janvier et un maximum de 18,8 °C en juillet. Les précipitations pendant la saison de végétation (mai à octobre) sont de 313 mm avec 60 % de jours sans pluie et 23 % de jours avec une température maximale supérieure à 25 °C.

TABLEAU I Caractéristiques climatiques moyennes (1961-1990) pour la station météorologique du Mans (47°56'49,3"N, 00°11'40,5"W, 51 m)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année	Mai-Octobre
Pluie (mm)														
P	64,8	59,4	58,7	50,7	60,8	45,6	49,6	45,1	54,1	57,7	67,6	63,8	677,9	313
NJ	17	15	16	14	16	12	11	11	11	14	17	16	170	75
Temp. (°C)														
min.	1,2	1,5	2,8	4,9	8,2	11,3	13,1	12,6	10,5	7,6	3,8	1,9	6,6	10,6
moy.	4,1	5	7,2	9,8	13,3	16,7	18,8	18,3	16	12,1	7,3	4,8	11,1	15,9
max.	7,1	8,5	11,6	14,7	18,4	22,0	24,5	24,0	21,5	16,6	10,8	7,7	15,6	21,2
Tmin < 0°C														
NJ	12	10	9	3	1					2	7	11	55	4
Tmax ≥ 25°C														
NJ				2	3	7	13	11	6	2			44	42

NJ = nombre de jours.

Géologiquement, l'ensemble du massif repose sur de l'argile à silex résultant de la décarbonatation de la craie à l'étage turonien. Cette argile est recouverte par des dépôts plus ou moins importants (jusqu'à 1,5 m) de limons des plateaux d'origine éolienne. Pour l'étude du milieu, 8 placettes circulaires de 20 ares ont été installées selon 4 transects (environ 1 point par hectare, 1 à 3 points par transect) (Cousseau, 2002). Sur chaque parcelle, un inventaire floristique classique complet a été effectué. Le type d'humus a été déterminé et le sol décrit à partir d'une fosse pédologique (profondeur entre 1 et 1,50 m).

Du point de vue stationnel, la Futaie des Clos se rapproche de la "chênaie sessiliflore acidophile de plateau" décrite dans le catalogue de la région Perche et du Plateau calaisien (seul catalogue disponible proche de la forêt étudiée). Bien que réduit, le cortège floristique traduit un statut hydrique plutôt favorable (espèces mésophiles). Concernant la richesse trophique, on trouve des espèces acidiphiles telles que *Carex pilulifera*, *Melampyrum pratense*, *Polytrichum formosum*, acidiphiles (*Lonicera peryclimenum*, *Rubus fruticosus*, *Sorbus torminalis*), neutroclines (*Dryopteris filix-mas*, *Hedera helix*) et à large amplitude (*Ilex aquifolium*, *Thuidium tamariscinum*). L'humus est de type eumoder. La texture du sol est limono-sableuse à sablo-limoneuse dans les horizons supérieurs (A de 0 à 8 cm brun ; E beige clair de 8 à 45 cm). Elle s'enrichit en argile en profondeur (BT de couleur ocre à partir de 45-50 cm). Quelques taches diffuses d'hydromorphie sont parfois observables à partir de 10 cm (effet d'un tassement local du sol dû aux exploitations). Le sol ne présente aucune contrainte majeure au développement des racines. L'enracinement est fort dans les horizons supérieurs (3 à 10 racines/dm²) et encore non négligeable à plus de 1 m (1 à 3 racines/dm²). La méthode des textures conduit à une estimation théorique du réservoir en eau de 130 mm à 150 mm sur 1 m. La capacité du Chêne à prospecter un volume de sol très important en l'absence de contraintes majeures (Lebourgeois et Jabiol, 2002) suggère que la réserve utile doit être ici (largement) sous-estimée. Globalement, les conditions locales d'approvisionnement en eau semblent donc favorables au développement du Chêne sessile (Jacquemin *et al.*, 2000), mais on ne peut pas exclure que des années particulièrement sèches aient eu des répercussions notables sur le comportement des arbres. Les analyses chimiques effectuées lors de l'aménagement de 1957 indiquent un pH et un rapport C/N de 4,2 et 18,2 et 4,6 et 14,7 pour les horizons A et E respectivement. La richesse chimique est faible et les taux de saturation sont

inférieurs à 10 %. On peut émettre l'hypothèse que la pauvreté minérale est en partie compensée par une prospection latérale plus importante du sol ou encore que le Chêne trouve en profondeur des éléments minéraux dans l'argile à silex.

INVENTAIRE DU PEUPEMENT ET ANALYSE DENDROCHRONOLOGIQUE

En 2001, un inventaire en plein des chênes et des hêtres a été réalisé sur les 8 ha (diamètre de pré-comptage fixé à 17,5 cm) (Cousseau, 2002). Pour le Chêne, la longueur de qualité tranche et merrain contenue dans certains fûts a été notée. La présence de gélivures a été systématiquement signalée. Pour chaque inventaire disponible (1888, 1895, 1929, 1947, 1957, 1986 et 2001), la densité de tiges, la surface terrière par hectare, le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (ou le diamètre quadratique moyen, D_g), le volume par hectare (m^3/ha) et le volume moyen par tige ($m^3/tige$) ont été calculés. Le volume total (volume grume sans branches) a été calculé à l'aide d'un tarif établi spécialement en 1895 pour la Futaie des Clos (tarif au seul diamètre). Il a été révisé en 1947 et est nommé tarif "exceptionnel". Comme ce tarif unique ne prend pas en compte la croissance en hauteur, il est possible que les estimations pour les données les plus récentes soient un peu biaisées.

Sur les 8 placettes "milieu", la hauteur totale du Chêne le plus gros et la hauteur découpe (hauteur sous branche) des six arbres les plus proches du centre de la placette ont été mesurées (soit 56 mesures). Les mesures de hauteur ont été complétées par un échantillonnage supplémentaire de 25 chênes répartis d'une façon homogène sur l'ensemble de la parcelle (diamètre > 90 cm).

La nature des interventions sylvicoles dans la Futaie des Clos est "connue" depuis 1864. Cependant, les inventaires sont, dans la majorité des cas, imprécis tant au niveau du nombre de tiges coupées qu'à celui du volume total exploité. La ventilation des volumes par hectare prélevés à chaque coupe n'est pas précisée. Depuis 1864, seules 6 coupes d'amélioration ont été répertoriées. Un volume total (Chênes et Hêtre confondus) de 1 438 m^3 a été extrait suite aux 3 coupes des années 1920 (216 m^3), 1923 (603 m^3) et 1929 (619 m^3) (coupes progressives de rattrapage). En 1977, 177 m^3 de Chêne ont été extraits (30 tiges). Les dernières coupes ont été pratiquées en 1996 et 2001 avec, respectivement, 439 m^3 (42 chênes) et 327 m^3 (44 chênes) exploités. En ce qui concerne les chablis, les événements les plus marquants sont les 1 683 m^3 exploités (230 chênes) suite aux tempêtes des années 1967 et 1968 et les 135 m^3 provenant des 23 chênes tombés en 1990. D'autres chablis sont inventoriés mais leurs volumes sont inconnus ou "faibles" (10 à 20 m^3 ; essence non précisée).

Des travaux récents menés sur le Hêtre et le Chêne (Dhôte, 1995) montrent que l'effet de la sylviculture sur la croissance peut être étudié en reliant la croissance actuelle du peuplement à un indice de densité (Relative Density Index, RDI). Cet indice est calculé à partir de la circonférence quadratique moyenne du peuplement et du nombre de tiges à l'hectare (étage dominant). Sa valeur tend vers 0 quand les densités deviennent très faibles (faible compétition entre arbres ; croissance forte). Les valeurs supérieures ou proches de 1 correspondent à la densité maximale pour laquelle des phénomènes "d'autoéclaircie" entrent en jeu. De telles valeurs indiquent donc une sylviculture "prudente" avec une concurrence très forte et une croissance réduite au moins dans les décennies précédentes. Pour appréhender la sylviculture passée, la valeur actuelle du RDI est insuffisante. En effet, ce paramètre évolue au cours du temps en lien avec les coupes d'éclaircies et les perturbations. Il est donc nécessaire d'analyser l'évolution temporelle de ce facteur pour appréhender l'évolution sylvicole.

En raison du caractère exceptionnel des chênes et des limites de possibilité de sondage, l'analyse rétrospective de la croissance radiale n'a porté que sur un sous-échantillon de 18 chênes (sur 422 chênes présents en 2001) de "faibles" diamètres (moyenne = 79,5 cm). Ainsi, même si tous ces arbres sont actuellement dans l'étage dominant, il est certain que leur évolution et leur niveau d'accroissement radial ne sont pas représentatifs de l'évolution moyenne du peuplement. Le carottage a été effectué à 50 cm du sol afin de minimiser la dépréciation de la grume inhérente au carottage. Il a été effectué à l'aide d'une tarière de Pressler motorisée de 5 mm de diamètre intérieur dans une direction quelconque en évitant les défauts visibles sur le tronc (méplats, gélivures, blessures...). Après extraction, les trous de sondage ont été rebouchés et la plaie de l'écorce étanchéifiée par un cicatrisant. La limite de l'aubier a été notée en observant par transparence la carotte juste après extraction du tronc puis sa largeur mesurée en mm. Les 5 483 cernes ont été mesurés à l'aide d'un système vidéo-informatisé (précision : 1/100 mm). Pour chaque cerne annuel, la largeur du bois initial (bois de printemps caractérisé par de gros vaisseaux) et la largeur du bois final (bois d'été caractérisé par de petits vaisseaux et riche en fibres) ont été mesurées séparément, la largeur du cerne étant la somme des deux. Ceci devait permettre d'apprécier la qualité des grumes à travers, entre autres, la texture (rapport largeur du bois final / largeur totale) (Polge et Keller, 1973). Après la mesure, les 18 profils dendrochronologiques ont été interdatés (synchronisés), afin de vérifier que chaque cerne correspondait bien à la date réelle de son élaboration (Fritts, 1976). Le principe de cette interdatation repose sur l'utilisation d'années caractéristiques pour lesquelles la grande majorité des arbres présente le même comportement. Dans la majorité des cas, ces années reflètent des conditions climatiques particulières (Schweingruber *et al.*, 1989). Une année donnée a été considérée comme "caractéristique" quand la largeur du cerne correspondant était différente d'au moins 10 % (en plus ou en moins) de celle du cerne formé l'année précédente, et qu'au moins 70 % des arbres présentaient le même comportement pour cette année. Après interdatation, le profil moyen de croissance radiale a été calculé en faisant la moyenne par date de tous les cernes disponibles.

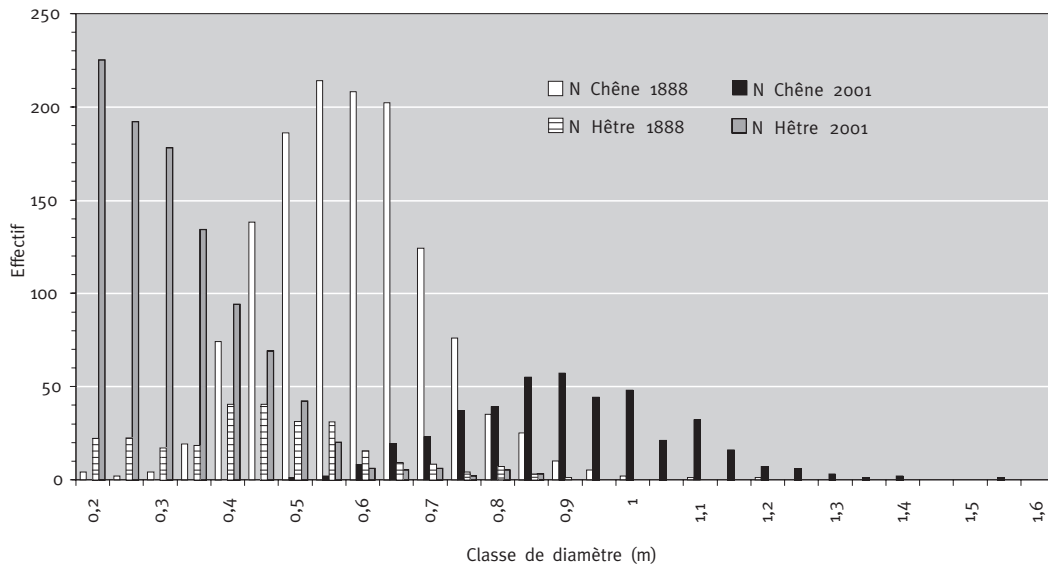
LA FUTAIE DES CLOS : UN PEUPEMENT REMARQUABLE

En 2001, le Chêne sessile représente plus de 75 % de la surface terrière totale (figure 1 et tableau II, p. 337). Le diamètre des arbres varie de 50 cm à près de 1,60 m et plus de 30 % des tiges ont un diamètre supérieur à 100 cm (diamètre quadratique moyen $D_g = 92$ cm). Le volume par arbre varie de 3,5 à 15 m³ et est en moyenne de 10,9 m³. L'étude dendrochronologique permet d'estimer l'âge actuel du peuplement entre 300 et 330 ans. En 1888, la hauteur moyenne du peuplement oscillait entre 35 et 40 m (âge estimé : 190-200 ans). En 2001, elle est de 45,2 m (écart-type de 2,1 m) avec une hauteur à la découpe de 23,1 m (écart-type de 1,4 m). Le coefficient d'élanement (H_0/D_g) est de 49. Sur les 422 chênes présents sur la parcelle, seulement 32 présentent des gélivures (soit 8 %). De par le nombre de tiges recensées en 2001 (plus de 400), l'âge (plus de 300 ans), la rectitude des arbres et leurs dimensions exceptionnelles, le peuplement de la Futaie des Clos représente bien un peuplement remarquable.

ÉVOLUTION DU PEUPEMENT AU COURS DU XX^e SIÈCLE

Dans son étude sur les potentialités du Chêne sessile en régions Centre et Est, Bergès (1998) donne, pour une chênaie de 150 à 200 ans, une hauteur dominante qui varie entre 20 à 25 m pour les stations les moins favorables, 32-37 m pour les stations moyennes et 42-50 m pour les fertilités les plus élevées. En se référant à l'inventaire de 1888 qui correspond à cette gamme

FIGURE 1 **ÉVOLUTION DE L'EFFECTIF (N) DES CHÊNES ET DES HÊTRES**
PAR CLASSE DE DIAMÈTRE (en m) ENTRE 1888 ET 2001 POUR LA FUTAIE DES CLOS
 Forêt domaniale de Bercé (Sarthe)



TABEAU II **Évolution des caractéristiques dendrométriques de la Futaie des Clos**
entre 1888 et 2001

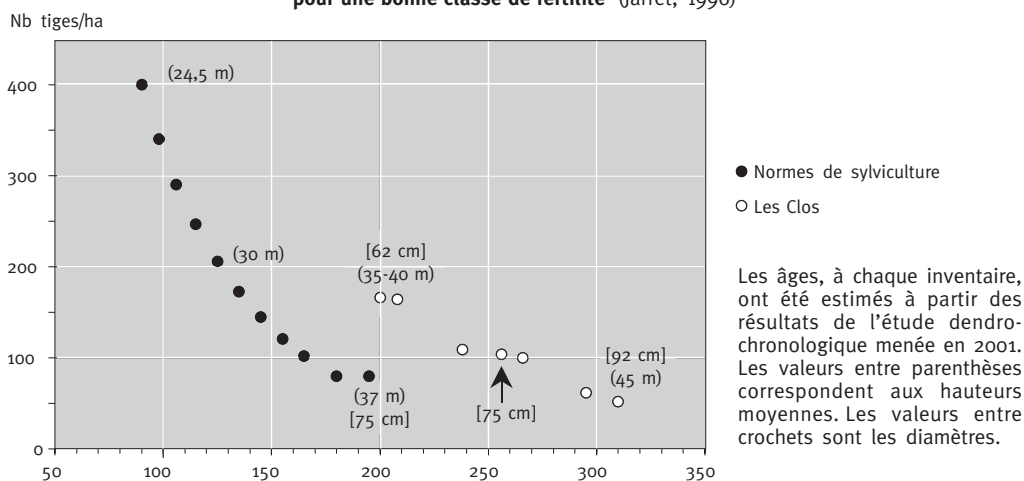
Dg = diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (diamètre quadratique moyen).
 RDI = relative density Index (indice de densité relative)

Chêne							
Année d'inventaire	1888	1895	1929	1947	1957	1986	2001
Âge estimé* (ans à 50 cm)	192	200	235	254	265	295	311
Nb tiges/ha	166	164	109	105	100	63	53
Surface terrière (m ² /ha)	46,7	49,6	43,8	45,8	46,0	32,8	35,2
Dg (cm)	60	62	72	75	77	81	92
Volume (m ³ /ha)	838	888	776	807	808	573	574
Volume moyen (m ³)	5,0	5,4	7,1	7,7	8,1	9,1	10,9
RDI	1,02	1,07	0,92	0,95	0,94	0,64	0,67
Hêtre							
Année d'inventaire	1888	1895	1929	1947	1957	1986	2001
Nb tiges/ha	34	33	17	16	59	103	123
Surface terrière (m ² /ha)	5,9	5,7	3,3	3,2	4,7	7,4	11,1
Dg (cm)	47	47	49	-	-	-	-
Volume (m ³ /ha)	89	84	49	47	6	97	152
Volume moyen (m ³)	2,7	2,6	2,8	3,0	0,11	0,94	1,24
% Surface terrière							
Chêne	89	90	93	94	91	82	76
Hêtre	11	10	7	6	9	18	24

*: l'âge à chaque inventaire a été estimé à partir des données de l'étude dendrochronologique (âge moyen en 2001 = 311 ans).

d'âge, on constate que la hauteur dominante pour la Futaie des Clos était comprise entre 35 et 40 m (figure 2, ci-dessous). Ceci confirme bien que, sans être exceptionnelles, les conditions stationnelles apparaissent bonnes pour la culture de Chêne sessile de qualité.

FIGURE 2 COMPARAISON DES CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE LA FUTAIE DES CLOS AUX NORMES dans le cadre d'une sylviculture dynamique sans dépressage pour une bonne classe de fertilité (Jarret, 1996)



La sylviculture menée en Futaie des Clos au cours du XX^e siècle est apparue très peu dynamique (figure 2, ci-dessus). Pour une station de bonne fertilité et une sylviculture dynamique sans dépressage, Jarret (1996) donne comme normes, pour un âge d'exploitabilité de 195 ans, un diamètre de 75 cm, une longueur de bille de 10 m et une densité de 80 tiges/ha. En se référant toujours à l'inventaire de 1888, on constate que le diamètre moyen était très nettement inférieur au diamètre préconisé (60 cm contre 75 cm) et la densité supérieure du double de celle préconisée (tableau II, p. 337). Le diamètre d'exploitabilité n'est atteint qu'à l'âge de 250 ans. Les valeurs élevées de l'indice RDI montrent que la concurrence a été effectivement très forte entre les tiges jusque vers les années 1960 et que le peuplement a donc été maintenu très serré pendant de nombreuses années. Cependant, depuis les années 1950, la structure du peuplement a été profondément modifiée. Entre 1947 et 1957, le nombre de tiges de Hêtre à l'hectare a été multiplié par 3,5 (tableau II, p. 337). En 2001, le Hêtre est présent en sous-étage et présente une structure irrégulière. Les petits bois de moins de 30 cm de diamètre représentent plus de 60 % des tiges de Hêtre (figure 1, p. 337). Le développement du Hêtre est très certainement la résultante de l'amélioration des conditions microclimatiques (notamment l'éclaircissement) consécutive aux coupes (et aux chablis) pratiquées dans le peuplement surtout depuis les années 1920-1930. Ainsi, entre 1895 et 1947, 35 % des tiges de Chêne ont été retirées, ce qui se traduit par un niveau de concurrence nettement plus faible (RDI < 0,7) (tableau II, p. 337).

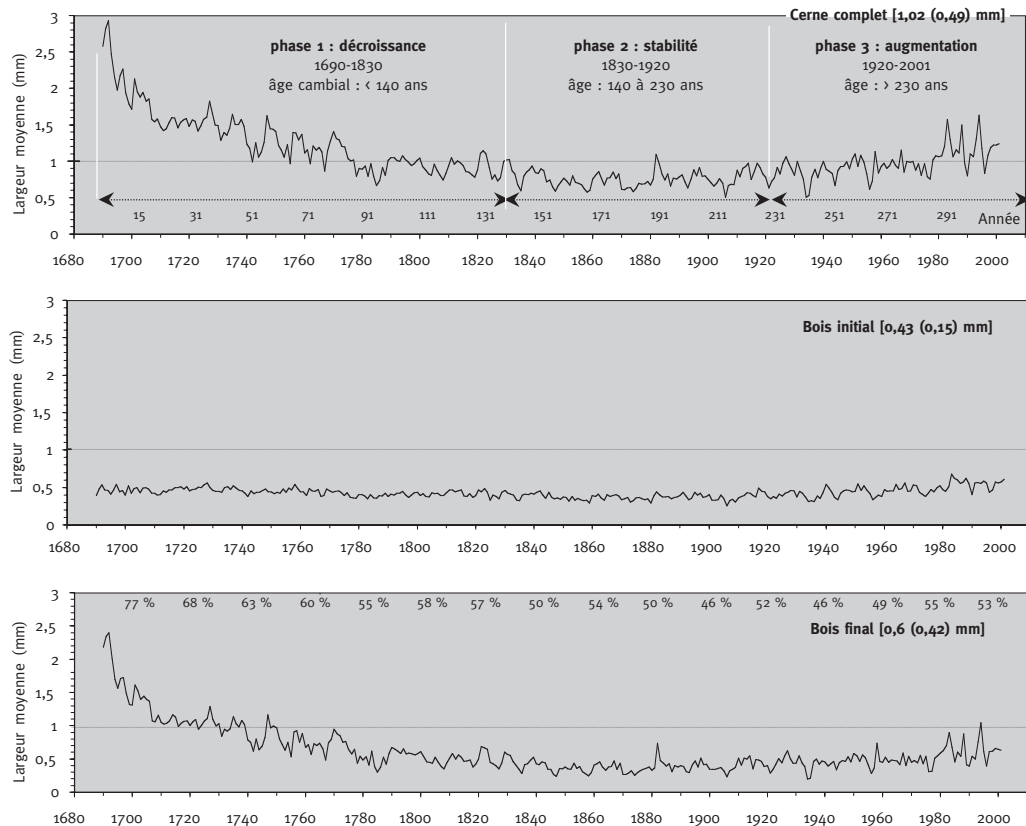
ÉVOLUTION DE LA CROISSANCE RADIALE DEPUIS LE XVIII^e SIÈCLE

Il est important de rappeler que, même si les arbres échantillonnés sont actuellement dominants, ils sont parmi les "plus petits". Ainsi, leur comportement (croissance, réponse aux interventions sylvicoles...) n'est certainement pas totalement représentatif du peuplement. Les 18 arbres échan-

tillonnés sont âgés en moyenne de 311 ans (288 à 326 ans ; âge à 50 cm) (tableau III, p. 340). Pour le cerne complet, les accroissements radiaux moyens sont très fins de l'ordre du millimètre par an. Outre les variations inter-annuelles ou décennales de plus ou moins forte intensité, le profil moyen de croissance radiale révèle trois phases dans l'évolution des arbres (figure 3, ci-dessous) : une première phase de décroissance jusque vers les années 1830, une phase de stabilité entre 1830 et 1920 et une augmentation depuis. La décroissance est en grande partie liée à la diminution normale de la largeur de cerne au cours du vieillissement des arbres. La décroissance est forte dans les premières années — environ – 30 % entre 1700 et 1740, c'est-à-dire entre 15 et 50 ans (bois "juvénile") — et se ralentit par la suite. À partir de 40-50 ans ("bois adulte"), l'augmentation de la concurrence inter-arbres doit également jouer un rôle important dans cette diminution. Entre 1830 et 1920, la croissance radiale a été relativement stable mais à un niveau faible (0,76 mm/an en moyenne). Les potentialités stationnelles étant bonnes,

FIGURE 3 ÉVOLUTION DE LA LARGEUR MOYENNE DU CERNE COMPLET, DU BOIS INITIAL ET DU BOIS FINAL (en mm) POUR LES 18 CHÊNES SESSILES ÉCHANTILLONNÉS DANS LA FUTAIE DES CLOS (Sarthe)

Les valeurs entre crochets sont les moyennes et les écart-types. Pour chaque date, la moyenne a été calculée sur au moins 3 arbres (18 chênes à partir de 1715). Les valeurs sous les flèches doubles correspondent à l'âge cambial moyen par date, c'est-à-dire à l'âge moyen des arbres au moment où le cerne a été élaboré. En 1720, par exemple, les arbres avaient en moyenne 31 ans quand le cerne a été élaboré. Les pourcentages représentent l'évolution de la proportion moyenne de bois final dans le cerne complet.

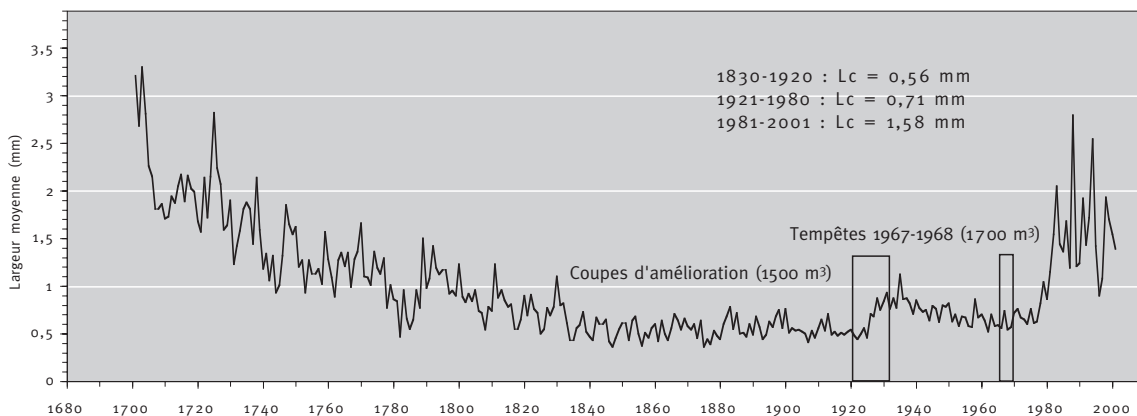


	Cerne complet						Bois initial				Bois final				
	Dia.	Âge	Date	Lc	Et	Min.	Max.	Lbi	Et	Min.	Max.	Lbf	Et	Min.	Max.
	96,1	300	1703	1,05	0,29	0,40	2,47	0,52	0,16	0,23	1,11	0,53	0,26	0,05	1,90
	82,8	311	1696	1,00	0,47	0,34	3,13	0,45	0,12	0,21	0,80	0,55	0,42	0,05	2,73
	83,4	308	1699	0,98	0,42	0,30	3,34	0,50	0,15	0,16	1,20	0,47	0,34	0,11	2,66
	86,9	288	1715	1,07	0,43	0,31	2,67	0,46	0,14	0,18	0,91	0,61	0,35	0,10	1,99
	73,5	315	1691	1,05	0,54	0,25	3,37	0,41	0,13	0,13	0,77	0,64	0,47	0,11	3,01
	78,9	317	1692	1,07	0,47	0,32	3,63	0,38	0,13	0,12	0,95	0,69	0,41	0,07	2,89
	80,5	288	1714	1,20	0,58	0,37	3,63	0,49	0,16	0,12	1,20	0,71	0,46	0,13	2,82
	77,0	311	1698	1,05	0,43	0,28	2,76	0,44	0,12	0,13	0,75	0,62	0,37	0,10	2,36
	75,1	320	1683	0,88	0,67	0,20	4,81	0,28	0,09	0,11	0,70	0,60	0,60	0,05	4,11
	81,5	326	1686	1,00	0,43	0,22	2,63	0,41	0,16	0,12	0,96	0,59	0,32	0,04	2,03
	75,4	320	1694	0,93	0,50	0,26	2,82	0,35	0,12	0,15	0,90	0,57	0,41	0,06	2,38
	89,8	308	1699	1,10	0,54	0,33	3,25	0,43	0,16	0,13	0,95	0,67	0,44	0,10	2,30
	82,4	308	1701	0,99	0,55	0,36	3,30	0,43	0,15	0,16	1,00	0,56	0,44	0,11	2,30
	74,8	315	1690	0,96	0,54	0,20	3,74	0,38	0,13	0,10	0,85	0,58	0,45	0,08	2,93
	77,0	326	1698	1,08	0,48	0,48	3,20	0,44	0,15	0,13	1,29	0,64	0,39	0,17	2,41
	86,6	311	1692	1,10	0,57	0,33	3,53	0,43	0,13	0,17	0,98	0,68	0,49	0,09	2,98
	69,7	321	1686	1,00	0,46	0,30	3,56	0,46	0,15	0,15	1,04	0,54	0,39	0,12	2,96
	67,2	>300	1715	0,97	0,37	0,35	3,08	0,44	0,14	0,19	0,97	0,52	0,28	0,09	2,11
Moyenne	79,9	311		1,02*				0,43*				0,60*			
Écart-type	7,2	11,1		0,49*				0,15*				0,42*			
Min.	67,2	288		0,20				0,10				0,04			
Max.	96,1	326		4,81				1,29				4,11			

* : moyenne et écart-type calculés sur les 5483 cerne disponibles.

** : moyenne et écart-type calculés sur les 558 cerne d'aubier.

FIGURE 4
ÉVOLUTION DE LA LARGEUR MOYENNE DU CERNE COMPLET
D'UN CHÊNE SESSILE ÉCHANTILLONNÉ DANS LA FUTAIE DES CLOS (Sarthe)
PRÉSENTANT UNE FORTE RÉACTIVITÉ AUX ÉCLAIRCIES
 (diamètre à 1,30 m = 83 cm)
 Lc = largeur moyenne du cerne annuel par période



Aubier				
La	Nc	Lca	Et	%aubier
67,1	62	1,08	0,24	21,4
33,3	35	0,95	0,25	10,9
31,7	20	1,59	0,46	10,7
35,8	22	1,63	0,45	11,6
27,4	41	0,67	0,15	8,4
48,2	36	1,34	0,41	14,6
42,5	37	1,15	0,37	12,3
28,5	25	1,14	0,30	8,9
22,9	36	0,64	0,20	8,1
33,1	24	1,38	0,33	10,5
20,8	35	0,59	0,21	7,3
37,6	32	1,17	0,41	11,3
37,9	27	1,41	0,53	12,8
19,9	21	0,95	0,14	6,6
22,9	20	1,14	0,20	6,9
19,8	27	0,73	0,17	5,8
52,7	36	1,46	0,44	16,7
30,4	22	1,38	0,54	10,9
34,0	31,0	1,10**		10,9
12,5	10,4	0,45**		3,96
19,8	20	0,24		5,8
67,1	62	3,08		21,4

TABLEAU III
Caractéristiques des cerne et de l'aubier des 18 chênes sessiles échantillonnés dans la Futaie des Clos (Sarthe)

Lc, Lbi, Lbf, Min. et Max.: largeur moyenne, minimale et maximale (en mm). Et: écart-type (en mm). Dia = diamètre à 1,30 m (en cm). L'âge est estimé à 50 cm. La date est celle du dernier cerne mesuré. Le % d'aubier a été calculé en faisant le rapport entre la largeur d'aubier (La en mm) et le rayon mesurés. Nc : nombre de cerne dans l'aubier. Lca correspond à la largeur moyenne des cerne dans l'aubier (en mm)

cette faible croissance s'explique très probablement par l'absence d'interventions sylvicoles notables et donc le maintien d'une très forte concurrence dans le peuplement (Indices RDI proches de 1) (tableau II, p. 337). Depuis les années 1920, l'accroissement radial augmente avec une reprise de croissance assez "spectaculaire" (pour des arbres âgés de près de 300 ans) depuis les années 1980 (figure 3, p. 339). Pour la période 1980-2001, la largeur moyenne du cerne est supérieure de plus de 55 % à celle de la période 1830-1920 (1,18 mm contre 0,76 mm). Les fortes coupes d'amélioration pratiquées dans le peuplement entre 1920 et 1929 et les exploitations liées aux tempêtes des années 1967 et 1968 sont très certainement responsables de cette reprise de croissance (indices RDI actuels < 0,7). Pour un des chênes, l'amélioration des conditions locales s'est traduite par la mise en place d'un cerne trois fois plus large (figure 4,

p. 340). Comme cela a déjà été observé pour d'autres essences (Lebourgeois *et al.*, 1998), des chênes très âgés sont donc capables de réagir fortement et durablement aux (fortes) interventions sylvicoles tardives.

L'évolution de la largeur du bois final est comparable à celle du cerne complet (largeur moyenne = 0,6 mm/an). En revanche, la largeur du bois initial apparaît très stable au cours du temps (largeur moyenne = 0,43 mm/an) (figure 3, p. 339). En ce qui concerne les proportions des deux compartiments, le pourcentage de bois final (= texture) diminue linéairement des jeunes cerne aux cerne âgés dans des proportions de 75 % à 50 % entre 15 et 150 ans (figure 5, p. 342). Pour des cerne plus âgés, l'âge n'intervient plus significativement.

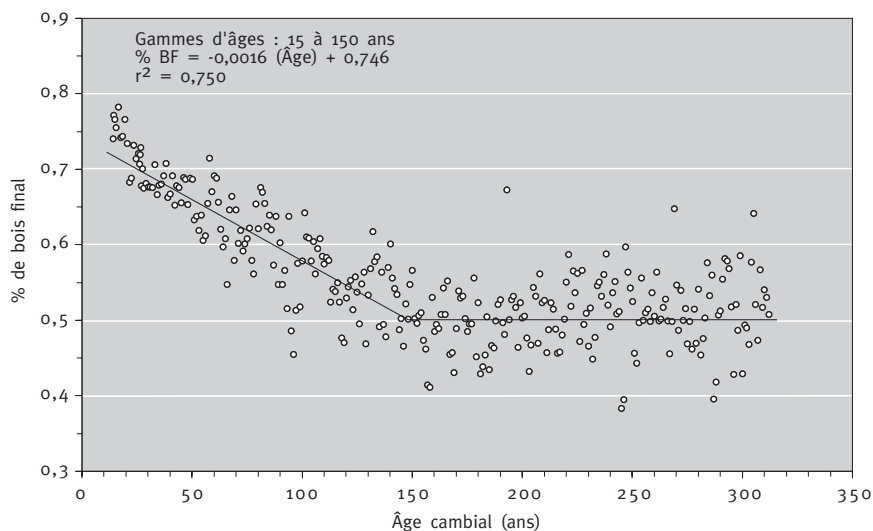
En revanche, la texture augmente quand la largeur du cerne annuel augmente. Ainsi, pour des cerne âgés de plus de 150 ans, un accroissement de 0,5 mm à 1,5 mm se traduit par une augmentation d'environ 30 % de la proportion de bois final (45 % à 60 %). Du point de vue qualitatif, ceci signifie que la densité du bois tend à augmenter (de 0,35 à 0,50 kg/m³ entre 0,5 et 1,5 mm selon Polge et Keller, 1973).

La largeur moyenne de l'aubier est de 34 mm (19,8 à 67,1 mm) avec 31 cerne en moyenne (tableau III, ci-dessus). Le pourcentage d'aubier dans le tronc est de 11 % et la croissance dans l'aubier de l'ordre de 1,1 mm/an. Ces caractéristiques de l'aubier sont cohérentes avec celles observées dans différentes chênaies sessiliflores en France (Lebourgeois, 1999).

Du fait de leurs accroissements serrés (environ 1 mm) et réguliers, les 18 chênes échantillonnés peuvent être qualifiés de "grain fin", ce qui, à l'heure actuelle, est reconnu comme un descrip-

FIGURE 5 **ÉVOLUTION DE LA PROPORTION DE BOIS FINAL DANS LE CERNE ANNUEL SELON L'ÂGE CAMBIAL**
(âge de l'arbre au moment de l'élaboration du cerne)
POUR LES CHÊNES SESSILES DE LA FUTAIE DES CLOS (Sarthe)

Chaque point est la moyenne d'au moins 11 cerne.
 La période correspondant à ces âges cambiaux est 1698-1839.
 Avant 150 ans, la proportion diminue linéairement avec l'âge de l'ordre de 1,6 % par décennie.



teur important de qualité (porosité, richesse en extractible...) (Bergès, 1998). Même si nous ne pouvons pas présager du niveau de croissance de l'ensemble du peuplement et de sa qualité, le maintien d'une forte concurrence entre les arbres et la longueur des révolutions imposés par la sylviculture "prudente" expliquent les répercussions favorables sur la qualité avec, à la clé, des tiges droites dépourvues de branches sur environ 20 mètres, des accroissements fins et un bois tendre et stable.

Sur la période 1698-2001, les chênes ont subi un certain nombre de crises parmi lesquelles on peut citer les périodes 1770-1789 (croissances les plus faibles en 1778 et 1785), 1867-1882 (creux en 1870), 1897-1910 (creux en 1906), 1931-1937 (creux en 1934)... (figure 3, p. 339). Sur les 304 années étudiées, 34 présentent des variations de croissance caractéristiques pour le cerne complet (figure 6, p. 343). 21 sont des années à forte croissance et 13 sont des années à croissance réduite. En moyenne, on observe 2 années caractéristiques par décennie. Cependant, il apparaît que 8 des 34 années correspondent à la période récente 1980-2001 (3 années entre 1980 et 1989 et 5 années entre 1990 et 2001). Des modifications climatiques locales (Lebourgeois *et al.*, 2001) associées à une moindre concurrence pourraient expliquer en partie ces observations (sensibilité plus forte des arbres à la plus grande amplitude des variations climatiques inter-annuelles).

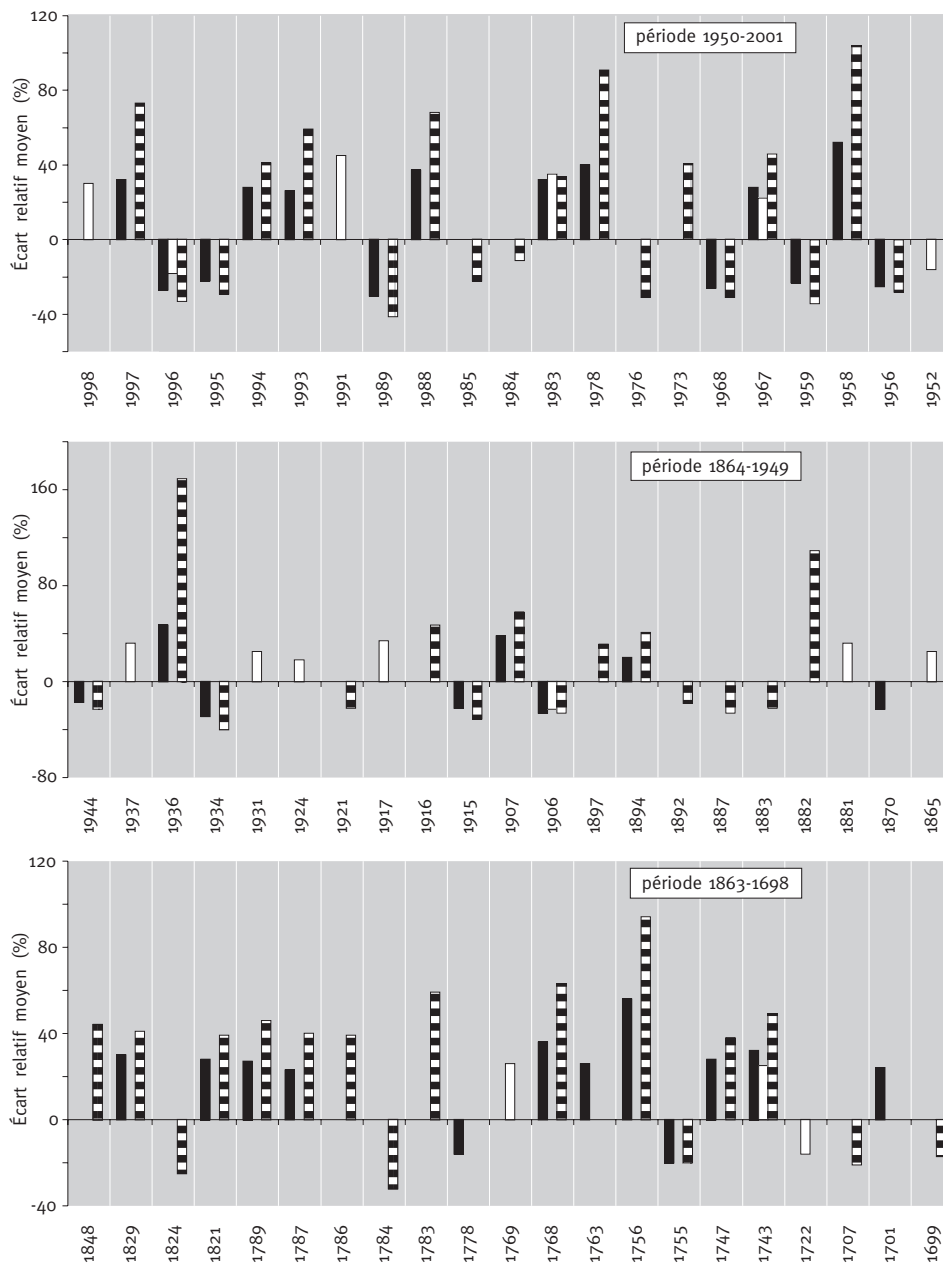
Les deux compartiments du cerne ont des comportements très différents. Les années remarquables sont au nombre de 16 pour le bois initial (4 années à faible croissance) et 48 pour le bois final (22 années à accroissement faible) reflétant bien la plus forte sensibilité du bois d'été aux aléas climatiques (Lebourgeois *et al.*, 2004). Sur l'ensemble de la période, seulement 5 années sont communes aux trois compartiments. Il s'agit des années 1996 (-), 1983 (+), 1967 (+), 1906 (-) et 1743 (+) (figure 6, p. 343). Pour le bois initial, 11 années (1998, 1991,

FIGURE 6

ANNÉES CARACTÉRISTIQUES POUR LA FUTAIE DES CLOS

Une année n est considérée comme caractéristique quand la largeur de cerne n est différente d'au moins 10 % de celle du cerne formé l'année n₁ (écart relatif moyen en %) et qu'au moins 70 % des arbres présentent le même comportement pour cette année.

■ CC	Nt	(+)	(-)	CC, BP, BE = cerne complet, bois initial et bois final Nt = nombre total d'années caractéristiques (+) : forte croissance (-) : croissance réduite	
□ BP	CC	34	21		13
▨ BE	BP	16	12		4
	BE	48	26		22



1952...) sur les 16 sont propres à ce compartiment (soit 69 %). Pour le bois final, 17 années (1985, 1984, 1976...) sur les 48 n'apparaissent que dans ce compartiment (soit 35 %).

Sur la période récente (1921-2001), l'analyse dendroclimatique publiée par ailleurs (Lebourgeois *et al.*, 2004) a montré que les années de croissance extrêmes coïncident fréquemment avec des printemps pluvieux ou secs (plus ou moins 40 % par rapport à la normale) souvent associés avec un mois de juillet frais ou très chaud. D'autres facteurs peuvent également intervenir comme, par exemple, des gelées hivernales ou tardives : 1956 (61 jours de gel entre janvier et avril), 1985 (46 jours de gel de janvier à mars) et 1968 (gel le 13 mai), 1995 (gel le 14 mai). Des attaques de parasites peuvent être également invoquées. Ainsi, la forte dépression observée en 1933 et 1934 est très certainement la résultante des attaques de la tordeuse du Chêne (*Tortrix viridana* L.) observées pendant ces deux années.

CONCLUSIONS

L'âge (plus de 300 ans), le nombre de tiges (plus de 400) et les caractéristiques des arbres (Dg = 92 cm, Ho = 45 m) font de la Futaie des Clos un peuplement remarquable (Camus et Granet, 2001 ; ONF, 2001). La sylviculture "très prudente" a joué un rôle essentiel dans la formation de cette futaie. Même si nous ne disposons pas d'informations précises avant le XIX^e siècle, le maintien des arbres dans un état de concurrence élevée pendant près de trois siècles a permis la production de bois à très haute valeur ajoutée, c'est-à-dire la formation de billes droites aux accroissements fins (bois tendre et stable) et parfaitement élaguées sur environ 20 m. Parallèlement à la station bien adaptée, il est possible que le facteur génétique ait également joué un rôle dans la qualité de ces arbres. En forêt de Bercé, on évoquait déjà en 1669 la présence de « futaies de belle venue ». Les forestiers travaillant généralement au profit des arbres "d'élite", il est raisonnable de penser que les sujets aux patrimoines génétiques supérieurs aient été sélectionnés au cours des siècles.



Depuis le début du XX^e siècle, la réduction de la densité par les différentes coupes d'amélioration et les chablis semble être à l'origine du développement important du Hêtre (modification de la composition du peuplement) et de la "reprise" de croissance du Chêne. Même si la stratégie à adopter est, à l'heure

Photo G. COUSSEAU

actuelle, encore sujet à discussion (régénération naturelle, plantation...) (Cousseau, 2002), la pérennisation de cette parcelle doit passer par un contrôle précis du développement du Hêtre, essence qui tend à se substituer au Chêne. La gestion "touristique" du site apparaît tout aussi importante que la gestion sylvicole. À l'heure actuelle, les très nombreux visiteurs ont un accès libre à l'ensemble des 8 hectares. Il n'est évidemment pas question de mettre sous cloche un tel patrimoine. Cependant, en raison de la rareté d'un tel peuplement et de la "fragilité" du milieu, il nous semble important de rappeler qu'il est souhaitable que ce soit le visiteur qui s'adapte au peuplement et non l'inverse.

<p>François LEBOURGEOIS Unité Mixte de Recherche INRA-ENGREF 1092 Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois Équipe Écosystèmes forestiers et Dynamique du Paysage ENGREF 14, rue Girardet CS 4216 F-54042 NANCY CEDEX (lebourgeois@engref.fr)</p>	<p>Guillaume COUSSEAU – Yves DUCOS Agence départementale du Loiret OFFICE NATIONAL DES FORÊTS Parc technologique Orléans Charbonnière 100, boulevard de la Salle BP 22 F-45760 BOIGNY-SUR-BIONNE (yves.ducos@onf.fr)</p>
--	--

Remerciements

Les auteurs remercient l'équipe technique de la forêt domaniale de Bercé (J. Picard, P. Chagnoleau, J.-F. Clémence, Y. Gouchet, E. Rocher, B. Serain) ainsi que M. Grenier (École supérieure des Topographes et Géomètres du Mans) et l'équipe Phytoécologie forestière (INRA-Nancy).

BIBLIOGRAPHIE

- BERGÈS (L.). — Variabilité individuelle et collective de la croissance et de la densité du bois de *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. en relation avec les facteurs écologiques. — Nancy : INRA ; ENGREF, 1998. — 348 p. (Thèse de doctorat de l'ENGREF, spécialité Sciences du Bois).
- CAMUS (R.), GRANET (A.-M.). — Dossier : les arbres remarquables, un trésor vivant. — *Arborescences*, vol. 92, n° 9-10, 2001, pp. 1-25.
- COUSSEAU (G.). — Étude d'un peuplement exceptionnel : la Futaie des Clos (Forêt de Bercé, 72). — Mémoire de BTS "Gestion forestière", 2002. — 34 p. + annexes.
- DHÔTE (J.-F.). — Définition de scénarios d'éclaircie pour le Hêtre et le Chêne. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 106-110.
- FRITTS (H.C.). — *Tree-ring and climate*. — New-York : Academic Press, 1976. — 576 p.
- JACQUEMIN (B.), LACROIX (R.), DEMARCQ (P.), DUPLAT (P.). — Relation entre station et fertilité du Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) en forêt de Tronçais. — *Bulletin technique de l'ONF*, vol. 39, n° 1, 2000, pp. 33-44.
- JARRET (P.). — Sylviculture du Chêne sessile. — *Bulletin technique de l'ONF*, vol. 31, n° 10, 1996, pp. 21-28.
- 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. LI, n° 4, 1999, pp. 522-536.

- 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*, 2004 (accepté pour publication).
- LEBOURGEOIS (F.), GRANIER (A.), BRÉDA (N.). — Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en termes de conséquences pour les écosystèmes forestiers. — *Annals of Forest Science*, vol. 58, 2001, pp. 733-754.
- LEBOURGEOIS (F.), JABIOL (B.). — Enracinements comparés du Chêne sessile, du Chêne pédonculé et du Hêtre. Réflexions sur l'autécologie des essences. — *Revue forestière française*, vol. LIV, n° 1, 2002, pp. 17-41.
- LEBOURGEOIS (F.), ULRICH (E.), PONCE (R.). — Réactivité des arbres âgés à l'ouverture des peuplements. Quelques exemples livrés par l'étude des placettes du réseau RENECOFOR. — *Revue forestière française*, vol. L, n° 2, 1998, pp. 139-147.
- OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. — Guide de gestion : les arbres remarquables en forêt. — Fontainebleau : Office national des Forêts - Département des Recherches techniques, 2001. — 47 p.
- POLGE (H.), KELLER (R.). — Qualité du bois et largeur d'accroissements en forêt de Tronçais. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 30, n° 2, 1973, pp. 91-125.
- SCHWEINGRUBER (F.H.), ECKSTEIN (D.), SERRE-BACHET (F.), BRAKER (O.U.). — Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. In : Informal meeting of dendrochronologists from southern and central Europe, Lourmarin, Provence, France, 4 May, 1989, pp. 9-38.
- VINEY (R.). — À propos d'une parcelle artistique. — *Revue forestière française*, vol. II, n° 12, 1950, pp. 734-736.

ÉTUDE D'UNE CHÊNAIE SESSILIFLORE EXCEPTIONNELLE : LA FUTAILLE DES CLOS (SARTHE) (Résumé)

À partir d'une approche dendrométrique et dendroécologique, l'évolution de la structure, de la composition et de la croissance radiale de la futaie de Chêne sessile des Clos (8 hectares en forêt domaniale de Bercé, Sarthe) a été étudiée. Par les caractéristiques de ses arbres (plus de 300 ans, nombre supérieur à 400 tiges, hauteur dominante de 45 m, diamètre moyen de 92 cm), la Futaie des Clos constitue une des plus remarquables chênaies en France. Le maintien d'une très forte densité pendant près de trois siècles a permis la formation d'un bois tendre aux accroissements fins et réguliers et la production de billes droites parfaitement élaguées sur plus de 20 m. Depuis 1698, la Futaie des Clos a traversé un certain nombre de crises de croissance d'origine essentiellement climatique (sécheresses, gelées...). Depuis le début du XX^e siècle, on observe un développement important du Hêtre et une reprise de croissance du Chêne (particulièrement observable depuis les années 1980). Le rôle de la sylviculture dans ces modifications récentes est discuté.

STUDY OF AN EXCEPTIONAL SESSILE OAK GROVE – THE CLOS HIGH FOREST (SARTHE) (Abstract)

Using a dendrometric and dendroecological approach, we investigated changes in structure, composition and radial increment in the sessile oak grove of *Les Clos* (8 hectares in the Bercé state forest). The particular features of the grove, i.e., trees over 300 years old, more than 400 stems, dominant height 45 m, average girth 92 cm, make it one of the most remarkable in France. Because very high density was maintained for nearly three centuries, it produces lumber with tight, regular increments and perfectly thinned, straight logs of more than 20 m in length. Since 1698, the *Futaie des Clos* has run into a number of growth crises essentially due to climate (drought, frost, etc.). Since the beginning of the 20th century, beech has developed significantly and oak growth (particularly visible since the 80's) has resumed. The impact of silvicultural practises in these recent modifications is discussed.
