

La production de biomasse par des sylvicultures dédiées à base de peuplier a été étudiée par l'AFOCEL et l'INRA à partir des années 1980 (Berthelot et Gavaland, 2007). Des TCR à vocation papetière ont été développés sur quelques centaines d'hectares à l'initiative de plusieurs usines de pâte. Plus récemment, depuis une dizaine d'années, un regain d'intérêt pour la biomasse ligno-cellulosique est apparu à l'occasion de décisions politiques nationales ou européennes visant à augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique. De nombreux projets de recherche ont cherché à caractériser l'intérêt pour le monde agricole ou forestier de cultures énergétiques (Lignoguide, 2013 ; Bastien *et al.*, 2015).

Au sein des espèces ligneuses, le peuplier bénéficie d'atouts importants tels qu'une croissance rapide, une bonne capacité à rejeter de souche, une bonne adaptation aux conditions pédoclimatiques françaises, une facilité de multiplication et un haut niveau d'amélioration génétique (variétés clonales). L'insertion de ce type de cultures dédiées pérennes dans des exploitations agricoles pose toutefois la question de la sylviculture pratiquée : densité de plantation, durée des rotations, type de récolte. Sur cette base, plusieurs expérimentations ont été conduites pour comparer la production de biomasse de peuplier selon un schéma de **taillis à très courte rotation (TTCR)** ou de **taillis à courte rotation (TCR)**.

- TTCR : densité de plantation de 5 000 à 10 000 tiges/ha, rotation de 2 à 4 ans,
- TCR : densité de plantation de 1 000 à 2 000 tiges/ha, rotation de 7 à 10 ans.

Huit à dix ans après l'installation des plantations, après avoir procédé à plusieurs récoltes de TTCR et au moment où les premières rotations de TCR arrivent à maturité, il paraissait opportun de faire un point sur les productions constatées.

Matériel et méthodes

Les résultats présentés porteront sur trois parcelles où sont comparées, pour les mêmes variétés de peuplier, une production TCR et TTCR. Deux parcelles ont été installées en partenariat avec In VIVO et grâce au soutien financier de la fondation Tuck (projet BiomAGRI, programme Enerbio) et une parcelle dans le cadre d'un projet porté par l'INRA et soutenu par l'ANR (SYLVABIOM).

Les principales caractéristiques des parcelles sont résumées dans le tableau 1. Les trois parcelles sont d'excellentes stations pour le peuplier, présentant des sols profonds, bien structurés, riches et bien alimentés en eau. Les sites de La-Brosse-Montceaux et de Saint-Usage portaient 6 cultivars de peuplier (Dorskamp, I-214, Trichobel, Triplo, Bakan et Skado) et le site d'Echigey un seul cultivar (Dorskamp). A Saint-Usage, le TTCR a été planté avec un an de retard sur le TCR. Sur cette parcelle, les résultats des deux sylvicultures seront comparés à âge égal (6 ans).



Photo 1 : Parcelle de La-Brosse-Montceaux (77)
au centre : la parcelle de TTCR,
à droite : la parcelle de TCR,
à gauche : une parcelle de Miscanthus

Parcelle (Dpt) et nombre de clones	Sylv.	Surf. (ha)	Année	Type de sol
La-Brosse-Montceaux (77) – 6 clones	TCR	1	2008	Colluvions et alluvions argilo-limoneuses, très bien structuré, vallée de l'Yonne, pH 8
	TTCR	1	2008	
Saint-Usage (21) – 6 clones	TCR	1	2008	Alluvions de la vallée de la Saône, texture argile lourde, très bien structuré, pH 6,5 à 7
	TTCR	1	2009	
Echigey (21) – 1 clone	TCR	0,75	2009	Alluvions récentes, texture argile lourde, très bien structuré, pH 7,5 à 8
	TTCR	0,35	2009	

Tableau 1 : Principales caractéristiques des trois parcelles

Les parcelles ont été installées en suivant parfaitement les itinéraires techniques nécessaires à la bonne installation des boutures. Le travail du sol a été particulièrement soigné (labour profond, suivi d'une reprise de labour), de même que la plantation (manuelle) et les premiers entretiens (Bonduelle et Berthelot, 1994). A noter que la parcelle de TTCR de Saint-Usage a été installée sous bâche plastique (biodégradable), contrairement à toutes les autres qui ont reçu un herbicide de prélevée, juste après la plantation. Des entretiens inter-rang ont été pratiqués durant les deux premières années. En fin de première année, les parcelles étaient considérées comme réussies, avec une mortalité moyenne de 8 % (variant de 1 % à 15 %) et une hauteur moyenne de 2,17 m (variant de 1,40 m à 2,88 m). La plus mauvaise croissance de première année (1,40 m) a été observée en 2009, à Saint-Usage. L'explication tient à une plantation assez tardive et à la plantation sous bâche plastique (biodégradable) qui n'a pas permis un contrôle assez efficace de la végétation,

notamment à l'interface bande plastique/inter-rang, ce qui a permis le développement de graminées estivales qui ont concurrencé les boutures de peuplier. Enfin, une partie de la plantation de TCR de La-Brosse-Montceaux a été endommagée par des dégâts de lapins en première année, ce qui a conduit à l'élimination d'une répétition.

La récolte des TTCR a été effectuée avec plusieurs types de machine pour les parcelles de Saint-Usage et La-Brosse-Montceaux, tandis qu'elle a été effectuée à la main (dispositif expérimental complexe et petite surface) à Echigey.

L'estimation de la croissance et de la production a porté sur des placettes d'une surface variant de 99 m² à 336 m² (tableau 2). Toutes les placettes étaient entourées d'au moins une ligne d'isolement.

Parcelle	Sylv.	Densité plantation (tiges/ha)	Surf. parcelle unitaire mesurée (m ²)	N placette	Surface totale (m ²)	Effectifs mesurés (arbres)
La-Brosse-Montceaux	TCR	1 428	126	1*	126	18
	TTCR	7 272	121	3	363	264
Saint-Usage	TCR	1 428	126	2	252	36
	TTCR	7 407	121,5	3	364,5	270
Echigey	TCR	1 428	336	2	672	96
	TTCR	7 272	99	4	396	288

Tableau 2 : Densité de plantation, surfaces et effectifs mesurés par cultivar pour les trois parcelles

Le TCR de La-Brosse-Montceaux a été endommagé par des dégâts de lapins en première année, ce qui a conduit à ne conserver qu'une répétition sur les deux installées en 2008.

La production de biomasse totale aérienne hors feuille a été estimée grâce à des tarifs réalisés au moment de la récolte pour les TTCR, et par l'utilisation d'un tarif général FCBA (Bouvet et Berthelot, 1994), pour les TCR. Ces tarifs sont basés sur des relations allométriques entre certains caractères dendrométriques (diamètre, hauteur et nombre de brins par souche pour les TTCR) et la biomasse aérienne sans feuille de la tige ou de la cèpe.

Les TCR n'ont pas encore été récoltés, ils sont donc tous en 1^{ère} rotation et ont un âge compris entre 6 et 8 ans. Les TTCR ont été récoltés au moins deux fois, selon le calendrier suivant :

Parcelle	Année	1	2	3	4	5	6	7	8
La Brosse Montceaux	TCR	rotation 1							
	TTCR	rot.1	rot.2	rot.3					
Saint-Usage	TCR	rotation 1							
	TTCR	rot.1	rot.2						
Echigey	TCR	rotation 1							
	TTCR	rot. 1	rot.2	rot. 3					

Tableau 3 : Calendrier de récolte des TTCR

Résultats

Par rapport aux densités initiales installées, la mortalité des souches, observée entre 6 et 8 ans, reste très faible en étant comprise entre 0 et 11 % (moyenne 2 %) pour les TCR (tableau 4). Pour les TCCR, la mortalité des souches est plus élevée et varie entre 5 et 23 % (moyenne 13 %) selon les parcelles et les cultivars. La nature de cette mortalité diffère selon les sites : à Saint-Usage, il s'agit d'une mortalité de première année (année

de reprise), différente selon les cultivars. Par la suite la densité de souche à l'hectare reste stable (figure 1). A La-Brosse-Montceaux en revanche s'ajoute à la mortalité de première année, une mortalité après la deuxième récolte, à 4 ans, (figure 2) qui concerne principalement les cultivars euraméricains (Dorskamp, I-214 et Triplo) tandis qu'elle épargne les cultivars de type baumiers (Trichobel, Bakan, Skado).

Parcelles	La Brosse Montceaux		Saint-Usage		Echigey	
Cultivar	TCR 8 ans	TCCR 8 ans	TCR 6 ans	TCCR 6 ans	TCR 7 ans	TCCR 7 ans
Dorskamp	11 %	23 %	0 %	8 %	1 %	9 %
I-214	0 %	22 %	3 %	11 %		
Trichobel	0 %	8 %	0 %	18 %		
Triplo	11 %	18 %	0 %	8 %		
Bakan	0 %	11 %	0 %	11 %		
Skado	0 %	5 %	3 %	16 %		
Moyenne	4 %	15 %	1 %	12 %	1 %	9 %

Tableau 4 : Mortalité moyenne des souches par parcelle, par cultivar et par sylviculture

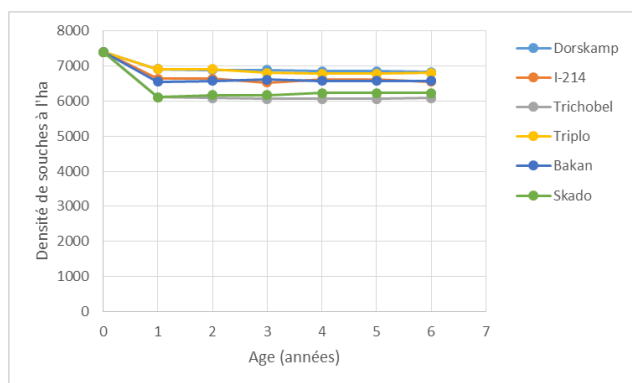


Figure 1 : Densité de souches à l'ha, par cultivar, à Saint-Usage (TCCR)

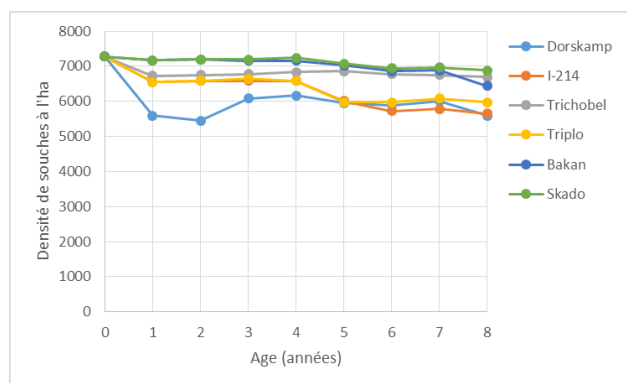


Figure 2 : Densité de souches à l'ha, par cultivar, à La-Brosse-Montceaux (TCCR)

Le tableau 5 résume les principaux résultats dendrométriques moyens des différents sites, ainsi que la production de biomasse estimée en tonnes sèches / ha. La figure 3 illustre la croissance moyenne en hauteur des trois parcelles, selon le type de sylviculture. Elle exprime bien la bonne potentialité des trois sites puisque les TCR atteignent environ 12 m à 5 ans (tous clones confondus).

Parcelle	Mesure	Age	1	2	3	4	5	6	7	8
La-Brosse-Montceaux (moy. 6 cultivars)	Hauteur (m)	TCR	2,1		7,6	9,6	12,1	13,6	14,3	17,2
		TCCR	2,3	4,8	3,7	5,3	2,4	4,4	5,9	8,0
	Diamètre (cm)	TCR		4,1	6,2	8,3	9,8	11,2	12,5	13,7
		TCCR		3,6		3,1		2,7	3,7	4,4
	Biomasse (ts/ha)	TCR			8,7	17,1	26,4	38,3	49,6	65,4
		TCCR		8,7		12,8			16,6	29,5
Saint-Usage (moy. 6 cultivars)	Hauteur (m)	TCR	1,8		5,8	9,2	11,9	13,3	14,0	
		TCCR	1,4	3,0	5,4	3,3	5,4	7,0		
	Diamètre (cm)	TCR		2,7	5,2	8,1	10,3	11,9	13,4	
		TCCR			3,4		3,1	4,3		
	Biomasse (ts/ha)	TCR			7,5	16,5	29,7	44,9	58,6	
		TCCR			9,4			20,7		
Echigey (Dorskamp)	Hauteur (m)	TCR	2,9	5,1	9,2	10,8	12,0	13,5	15,7	16,7
		TCCR	2,5	4,5	2,7	4,9	6,7	2,9	4,4	6,0
	Diamètre (cm)	TCR		4,0	6,2	9,1	11,0	12,1	13,2	14,1
		TCCR		3,0	1,5	2,8	4,1	1,5	2,6	3,7
	Biomasse (ts/ha)	TCR				23,1	34,9	48,0	61,8	74,6
		TCCR		6,4		9,7	16,9	2,6	8,5	14,0

Tableau 5 : Résultats moyens par parcelle et type de sylviculture

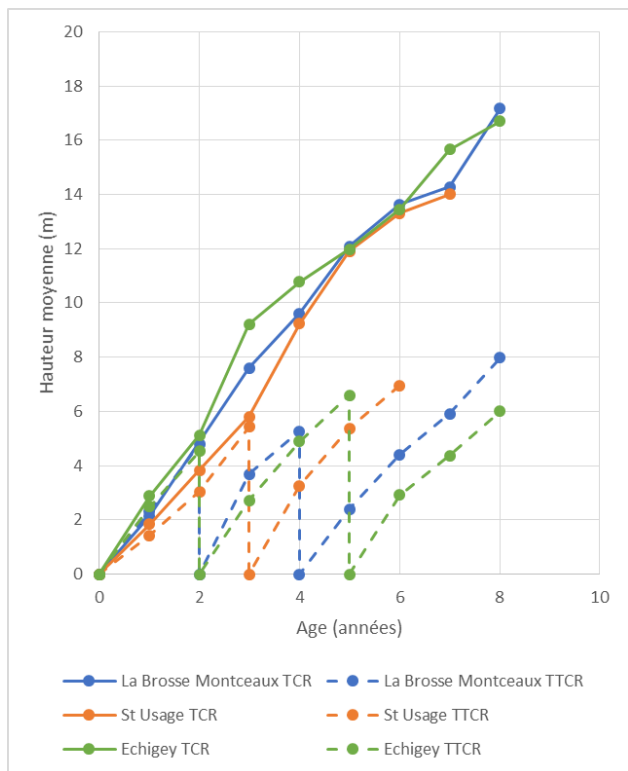
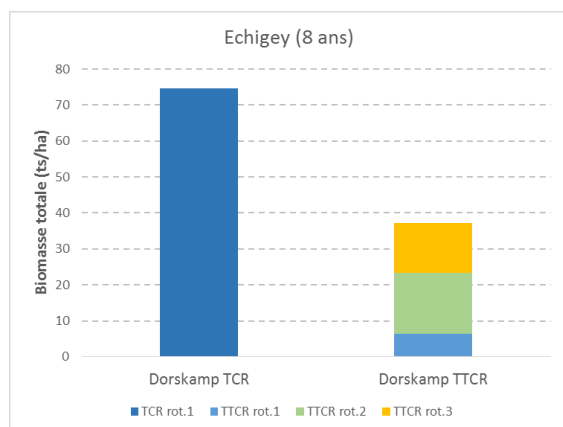
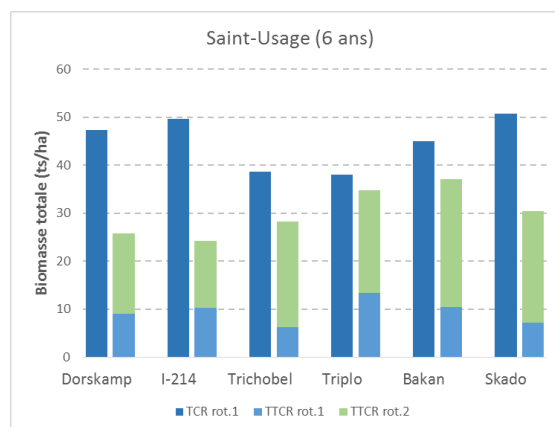
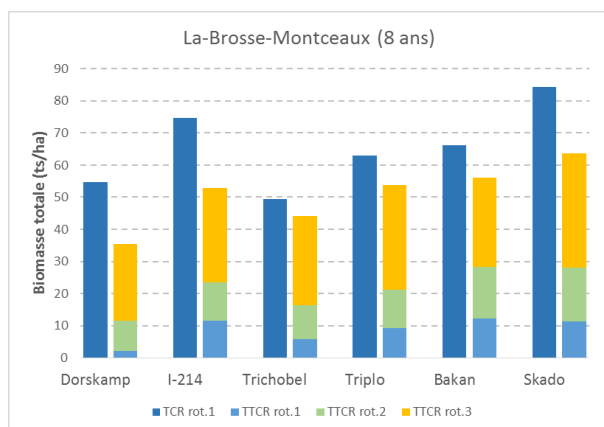


Figure 3 : Hauteur moyenne par parcelle et type de sylviculture

Même si les premières rotations de TCR n'ont pas encore été récoltées, l'estimation de leur biomasse sur pied entre 6 et 8 ans est largement supérieure à la somme des récoltes des TTCR. Ce phénomène se vérifie sur les 3 parcelles et pour tous les cultivars utilisés (figure 4). Le différentiel de production varie entre 10 et 50 % (moyenne = 29 %), selon les parcelles et les cultivars, en faveur des TCR.

La première rotation des TTCR a été récoltée à 2 ou 3 ans, avec une production très faible, le plus souvent inférieure à 5 ts/ha/an, y compris pour des parcelles parfaitement réussies (Bastien *et al.*, 2015). Malgré une croissance satisfaisante, le fait qu'il n'y ait qu'un seul brin par souche pénalise le rendement pour une densité initiale de l'ordre de 7 000 tiges/ha. La situation s'améliore en deuxième rotation, avec des rendements qui augmentent significativement pour tous les cultivars. A noter également que l'allongement des rotations à 3 ou 4 ans augmente là aussi la production moyenne, sans toutefois atteindre la production des parcelles de TCR (tableau 6).



Figures 4 : Biomasse totale (ts) par ha en fonction des parcelles, des sylvicultures et des cultivars.

TCR : production de la 1^{ère} rotation,

TTCR : somme des 2 ou 3 rotations.

Parcelle	La Brosse Montceaux		Saint Usage		Echigey	
Cultivar	TCR 8 ans	TTCR 8 ans	TCR 6 ans	TTCR 6 ans	TCR 8 ans	TTCR 8 ans
Dorskamp	6,8	4,4	7,9	4,3	9,3	4,7
I-214	9,3	6,6	8,3	4,0		
Trichobel	6,2	5,5	6,4	4,7		
Triplo	7,9	6,7	6,3	5,8		
Bakan	8,3	7,0	7,5	6,2		
Skado	10,6	8,0	8,5	5,1		
Moyenne	8,2	6,4	7,5	5,0	9,3	4,7
dont 1 ^{ère} rotation (+durée)		4,3 (2 ans)		3,1 (3 ans)		3,2 (2 ans)
dont 2 ^{ème} rotation (+durée)		6,4 (2 ans)		6,9 (3 ans)		5,6 (3 ans)
dont 3 ^{ème} rotation (+durée)		7,4 (4 ans)				4,7 (3 ans)

Tableau 6 : Production moyenne annuelle de biomasse par parcelle (en ts/ha/an), par cultivar et par sylviculture

Le rendement des TCR présentés ici n'atteint pourtant pas les productions de 10 à 12 ts/ha/an vers 7 ou 8 ans, atteintes dans les années 1990 (Bonduelle *et al.*, 1995). A l'époque, les cultivars utilisés étaient des hybrides de type interaméricains (*P. trichocarpa* x *P. deltoides*) qui bénéficiaient d'une très forte vigueur juvénile et supportaient bien la compétition. Malheureusement ces variétés ne sont plus utilisables aujourd'hui car trop sensibles à la rouille foliaire (*Melampsora larici-populina*). Les meilleurs cultivars utilisés ici atteignent plutôt 9 à 10 ts/ha/an vers 7 ou 8 ans et il paraît nécessaire d'attendre 9 ou 10 ans pour atteindre le maximum de production.

La productivité des TTCR peut sans doute être améliorée soit en augmentant la densité de plantation, soit en allongeant la durée des cycles entre deux récoltes. Ces solutions se heurtent à deux inconvénients : la première augmente le coût d'installation (déjà élevé) et la seconde nécessite des cultivars adaptés à supporter la compétition et le recépage. De plus, l'allongement des rotations induira des dimensions unitaires des tiges plus importantes ce qui nécessitera des têtes de récolte adaptées.

Les variétés utilisées dans ces expérimentations, bien que n'ayant pas été sélectionnées spécifiquement pour produire de la biomasse, montrent un assez large éventail de performances. Les variétés récentes de *P. trichocarpa* x *P. maximowiczii* (Bakan et Skado) présentent de bonnes performances dans les deux sylvicultures, même si le premier semble plus performant en TTCR et le second en TCR. Les hybrides de type euraméricains (Dorskamp, I-214 et Triplo) ont des comportements différenciés selon les sites et les sylvicultures. I-214 et Dorskamp sont plutôt performants en TCR et Triplo en TTCR. Trichobel, qui présente une croissance assez lente les premières années, est le cultivar le moins productif, mais il devrait voir sa performance relative augmenter au fil des recépages, comme c'est déjà visible en TTCR, car il supporte bien les recépages successifs.



Photo 2 : TTCR de Saint-Usage (In VIVO / FCBA) fin de 2^{ème} rotation (0-3-3 ans)



Photo 3 : TCR de Saint-Usage (In VIVO / FCBA) fin de 1^{ère} rotation (0-7 ans)

Conclusion

Ces résultats, obtenus sur des sites bien adaptés au peuplier et pour plusieurs cultivars, indiquent clairement que les systèmes de type TCR produisent plus de biomasse ligneuse à l'hectare que les systèmes TTCR, sur une période de 6 à 8 ans. D'autres facteurs semblent également en faveur des TCR tels qu'une meilleure qualité de la biomasse (proportion d'écorce moins élevée) et une moindre exportation d'éléments minéraux (Berthelot *et al.*, 2010) ainsi qu'un coût d'installation moins élevé (de Morogues *et al.*, 2011).

Les TTCR de peuplier peuvent conserver un intérêt dans des situations particulières, telles que des plantations destinées à l'épuration ou la phytoremédiation, des systèmes irrigués, où leur production va être fortement stimulée par les apports d'eau, ou encore sous des lignes électriques où la hauteur maximale tolérée des arbres est faible.

L'abandon des hybrides interaméricains à partir des années 2000 a nécessité de réutiliser d'anciennes variétés un peu moins productives ou des hybrides récents encore peu connus. Il est déjà perceptible que certains cultivars sont plus ou moins adaptés à des scénarios TCR ou TTCR, ce qui demande toutefois à être vérifié sur un plus grand nombre de sites. L'amélioration génétique devrait pouvoir fournir, à moyenne échéance, des génotypes à la fois productifs et tolérants aux bio-agresseurs tout en étant efficaces vis-à-vis des ressources du milieu que sont l'eau et les éléments minéraux (Toillon *et al.*, 2013 et 2016). L'aspect qualitatif de la ressource est également un caractère pris en compte, en fonction de la destination finale de la biomasse (ratio cellulose / lignine, par exemple). Même si ce n'est pas l'axe de travail principal du GIS Peuplier, qui vise avant tout à proposer des cultivars destinés au bois d'œuvre, les variétés en test actuellement sont caractérisées aussi sur ces aspects production de biomasse, pour la plupart des types botaniques étudiés par le GIS.



Photo 4 : Parcelle de Saint-Usage en juin 2012
au premier plan : rejets de TTCR
à l'arrière plan : TCR de 4 ans

Bibliographie

- Lignoguide, 2013. Guide d'aide au choix des cultures lignocellulosiques. RMT Biomasse, 211 p.
- Bastien J-C., Berthelot A., Brignolas F., Marron N., Maury S., Bodineau G., Gauvin J., Toillon J., Dallé E., Delaunay A., Le Jan I., Charnet F., Maine P., Merzeau D., 2015. Augmenter le niveau de production de biomasse des cultures ligneuses dédiées ou semi-dédiées. Principaux enseignements du projet SYLVABIOM. Revue Forestière Française LXVII, 3-2015, pp 249-262.
- Berthelot A., Maine P., Preudhomme M., Gauvin J., Ranger J., 2010. Nutrient exportations in very-short rotation coppice of poplar. Proceedings of the 18th European Biomass Conference & Exhibition, Lyon, France, 3-7 may 2010, 2265-2268.
- Berthelot A., Gavaland A., 2007. Produire de la biomasse avec des taillis de peupliers. Fiche Informations-Forêt FCBA 4-2007, fasc. n° 760, 6 p.
- Bonduelle P., Berthelot A., Sutter B., Reuling D., 1995. La récolte du TCR de peuplier. Fiche Informations-Forêt AFOCEL 2-1995, fasc. n° 508, pp 141-152.
- Bonduelle P., Berthelot A., 1994. La culture du TCR de peuplier, 2ème partie : itinéraire technique. Fiche Informations-Forêt AFOCEL 2-1994, fasc. n° 483, pp 157-172.
- Bouvet A., Berthelot A., 1994. Taillis à courtes rotations de peuplier - Tarifs masses et volumes. Annales des recherches sylvicoles AFOCEL, pp 219-234.
- de Morogues F., Nguyen-The N., Berthelot A., Melun F., 2011. Réflexions sur la rentabilité des taillis à courte et très courte rotation d'eucalyptus et de peuplier. Revue Forestière Française LXIII, 6-2011, pp 705-721.
- Toillon J., Dallé E., Bodineau G., Berthelot A., Bastien J-C., Brignolas F., Marron N., 2016. Plasticity of yield and nitrogen removal in 56 *Populus deltoides* x *P. nigra* genotypes over two rotations of short-rotation coppice. Forest Ecology and Management 375 (2016) 55-65.
- Toillon J., Fichot R., Dallé E., Berthelot A., Brignolas F., Marron N., 2013. Planting density affects growth and water-use efficiency depending on site *Populus deltoides* x *P. nigra*. Forest Ecology and Management 304 (2013) 345-354.

Contact

Alain BERTHELOT ● alain.berthelot@fcba.fr
Tél. 03 80 36 36 20



Pôle Biotechnologies Sylviculture Avancée
Délégation Nord-Est
60 route de Bonnencontre
21170 Charrey-sur-Saône