

Synthèse sur la production de cultures pérennes

Livrable [WP2]4

Synthèse bibliographique sur la production de miscanthus et de taillis à (très) courte rotation de saule et peuplier



© C. CZERYBA – AGT-RT



© N. MARRON – INRA



© CGT-RT

Document de restitution – Décembre 2016

des travaux menés dans le cadre
du projet Réseau de sites démonstrateurs IAR (2015 – 2020)

Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires, avec comme partenaires :

Projet soutenu financièrement de 2015 à 2020 par le FEDER, le FNADT au titre de l'initiative « Territoires catalyseurs d'innovation » et la Région Hauts-de-France



Cette compilation bibliographique, faite dans le cadre du projet « Réseau de sites démonstrateurs IAR », a été réalisée par Marie-Laure Savouré (AGT-RT) à partir des travaux du projet OPTABIOM et a reçu l'expertise de François-Xavier VALENGIN (CRPF) et Denis CAPRONNIER (CA60) sur les parties taillis et miscanthus, respectivement. Ce travail de synthèse a été coordonné par Lucile GODARD (AGT-RT).

Table des matières

Partie 1 – La culture de miscanthus	4
I. Adaptation au milieu et productivité de la culture	4
I. A. Productivité du miscanthus en Picardie	4
I. B. Critères pédologiques et seuils discriminants influençant le rendement	4
II. Cycle de la plante	5
III. Conduite de la culture	6
III. A. Plantation	6
III. B. Entretien de la parcelle.....	6
III. C. Récolte	7
IV. Proposition d’itinéraire technique type pour la Picardie	7
Partie 2 – La culture de taillis à courte rotation de peupliers.....	9
I. Adaptation au milieu et productivité de la culture	9
I. A. Productivité du TCR de peupliers en Picardie	9
I. B. Critères pédologiques et seuils discriminants influençant le rendement	9
II. Conduite de la culture	11
II. A. Plantation	11
II. B. Entretien de la parcelle.....	11
II. C. Récolte.....	11
II. D. Conditions d’accès à la parcelle.....	12
II. E. Aspects juridiques.....	12
III. Proposition d’itinéraire technique type pour la Picardie	12
Partie 3 – La culture de taillis à très courte rotation de saules.....	14
I. Adaptation au milieu et productivité de la culture	14
I. A. Productivité du TtCR de saules en Picardie	14
I. B. Critères pédologiques et seuils discriminants influençant le rendement	14
II. Conduite de la culture	15
II. A. Plantation	15
II. B. Entretien de la parcelle.....	16
II. C. Récolte.....	16
II. D. Surfaces des parcelles	17
II. E. Conditions d’accès à la parcelle	17
II. F. Aspects juridiques.....	17
III. Proposition d’itinéraire technique type pour la Picardie	18

Le miscanthus est une graminée (famille des Poaceae, genre *Miscanthus*) originaire d'Asie du Sud-Est, plante rhizomateuse pérenne. Elle dispose d'un métabolisme photosynthétique de type C4.

Le génotype utilisé pour la production de biomasse est *Miscanthus x giganteus*, hybride stérile entre deux espèces naturelles (*Miscanthus sinensis* et *Miscanthus sacchariflorus*). Le miscanthus est parfois désigné à tort sous le nom d' « herbe à éléphant », qui désigne en réalité le Napier (*Pennisetum purpureum*, originaire d'Afrique).



© AGT-RT

I. Adaptation au milieu et productivité de la culture

I. A. Productivité du miscanthus en Picardie

Pour une récolte en fin d'hiver (produit sec), la productivité attendue du miscanthus est de l'ordre de **10 à 15 tMS/ha** (avec des pointes à 20 tMS/ha et plus). Elle peut varier de :

- 7 à 12 tMS/ha en conditions défavorables
- 15 à 25 tMS/ha en conditions favorables

(RMT Biomasse, 2013)

Les rendements attendus retenus pour le contexte picard sont indiqués dans Tableau 1. Ils ont été discutés et validés par Stéphane CADOUX (INRA Agro-Impact).

Tableau 1 : Rendements attendus en Picardie

Potentiel du sol	Rendement attendu (tMS/ha/an)
Bas	10
Moyen	14
Haut	18

I. B. Critères pédologiques et seuils discriminants influençant le rendement

Le miscanthus et son milieu

-  Préférence pour les sols profonds bien alimentés en eau (sensibilité au stress hydrique de juin à septembre), terres limono-argileuses à privilégier.
-  Nécessité d'une bonne portance de la parcelle pour permettre une récolte mécanisée en hiver.
-  Bonne résistance au froid mais sensibilité aux gelées de printemps en 1^{ère} année.

Des caractéristiques pédologiques sont considérées comme discriminantes pour l'implantation du miscanthus car elles entraînent des problèmes d'implantation ou de développement de la culture, et par conséquent des rendements très faibles. Nous considérons que le miscanthus **ne doit pas être implanté pour les sols présentant une des caractéristiques suivantes** :

✖ **Taux d'argile > 45%**

Pas d'implantation dans les argiles lourdes hydromorphes (RMT Biomasse, 2009) car problèmes lors de l'implantation (pour la reprise des rhizomes) et à la récolte (portance du sol) (Communications M. Preudhomme et F. Ferchaud, INRA Agro-Impact)

✖ **Signes d'hydromorphie < 40 cm**

Sensibilité du miscanthus à l'asphyxie racinaire (RMT Biomasse, 2009).

✖ **Réserve Utile Maximale < 100 mm**

La disponibilité en eau peut être un facteur limitant majeur de la production de miscanthus (RMT Biomasse, 2009). D'après le modèle de Richter et al. (2008) paramétré avec les données météo de Beauvais-Tillé, avec une RUM < 100 mm, le rendement du miscanthus est inférieur à 10 tMS/ha. Ce résultat est confirmé par les premiers résultats diffusés du programme REGIX.

✖ **CaCO₃ > 25%**

Le pH optimal pour le miscanthus est compris entre 5,5 et 7,5 (DEFRA, 2007).

Néanmoins, sur les sites d'essais conduits dans le cadre des projets REGIX et LIDEA, aucun lien direct entre le pH et le rendement n'a été établi. D'après les observations réalisées sur ces sites d'essai, il apparaît que le miscanthus est affecté par les sols très calcaires en surface. H. Boizard (INRA Agro-Impact) signale que de son point de vue les sols très calcaires sont inaptes. Le seuil de 25% de CaCO₃ peut être retenu pour caractériser un sol très calcaire (seuil utilisé dans la base de données des sols de l'Aisne). Ce critère nécessite d'être exploré plus en détail dans le futur.

II. Cycle de la plante

Le miscanthus est une culture pérenne ayant une durée de vie de 15 à 20 ans.

Son implantation se fait en avril de la 1^{ère} année.

Il est récolté une fois par an avec une entrée en production à partir de la 2^{ème} ou 3^{ème} année, en fonction de la qualité d'implantation.

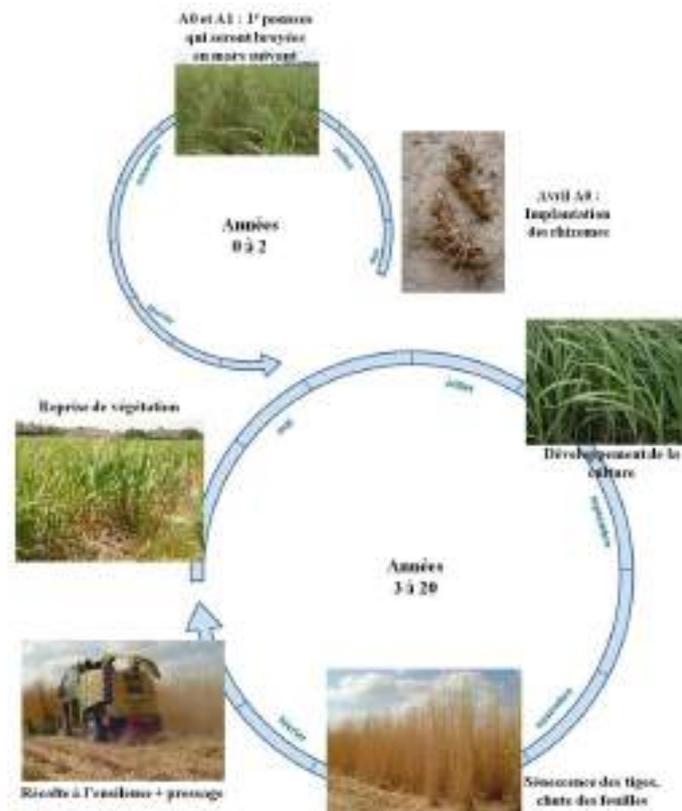


Figure 1 : Schéma du cycle de développement du miscanthus (AGT-RT)

Plus d'informations sur la fiche culture « Le Miscanthus » réalisée par le RMT Biomasse (2009)

III. Conduite de la culture

III. A. Plantation



Implantation en avril



Implantation coûteuse et délicate



Préparation du sol fine et en profondeur, équivalente à la pomme de terre



Matériel utilisé pour l'implantation de la culture : fragment de rhizome

III. B. Entretien de la parcelle



Croissance de la plante d'avril à septembre (jusqu'à 2 - 4 m de hauteur atteint en juillet-août)



Perte de biomasse au cours de l'hiver : environ 1/3 de la masse aérienne totale, sous forme de feuilles



Enracinement profond pouvant atteindre 2 m

NPK

Besoins en fertilisation modérés et peu de protection phytosanitaire nécessaire :

- Sensible aux adventices, essentiellement en début de cycle (deux premières années)
- Peu sensible aux maladies et ravageurs

NPK

Durant l'hiver, une partie des éléments nutritifs migre des parties aériennes vers les rhizomes, où ils sont mis en réserve pour être remobilisés au printemps suivant. Les feuilles sèches chutent au cours de l'hiver. Ces deux phénomènes permettent de limiter l'exportation des nutriments lors de la récolte de la matière aérienne en fin d'hiver.

III. C. Récolte



La récolte est réalisée le plus souvent en fin d'hiver et permet d'obtenir un produit à faible densité avec un taux de matière sèche entre 70 et 80%.



Elle pourrait être envisagée en automne pour obtenir un produit vert et humide (environ 40% de matière sèche) et une production maximale. Néanmoins, cette date de récolte précoce ne permet pas la mise en réserve des éléments minéraux et la chute des feuilles, phénomène pouvant avoir des conséquences négatives à long terme sur la productivité du système.

La productivité d'une culture de miscanthus est fortement conditionnée par la réussite de l'implantation et par les conditions pédoclimatiques (en particuliers les apports en eau et la nature des sols). Elle est généralement comprise entre 10 et 15 tMS/ha.

Plus d'informations sur la fiche culture « Le Miscanthus » réalisée par le RMT Biomasse (2009)

IV. Proposition d'itinéraire technique type pour la Picardie

Tableau 2 : Itinéraire technique type du miscanthus pour une durée de culture de 20 ans

Année	Mois	Activité	Matériel	Intrant + Dose	Débit chantier (ha/h)
0	Début septembre	Déchaumage	Tracteur 4RM- 126-140 ch Déchaumeur rapide disques indépendants, 4m		2.0
	Décembre	Labour	Tracteur 4 RM - 126-140 ch Charrue 5 corps, portée, boulon de rupture		0.85
1	Mars	Reprise de labour	Tracteur 4RM- 116-125 ch Vibroculteur 4m rouleaux cage		2.4
	Avril	Préparation du sol	Tracteur 4RM- 126-140 ch Herse rotative, 4m, rouleau packer		1.7
		Plantation Prestation extérieure	Rhizomes de miscanthus + plantation avec planteuse NOVABIOM	15 à 2000 rhizomes/ha	-
		<i>OU</i>			
		Plantation Par l'agriculteur	Tracteur 4RM- 116-125 ch Planteuse de pomme de terre automatique à godets 4 rangs (2 personnes mobilisées)	15 à 2000 rhizomes/ha	2.0
	Fin juin	Dés herbage	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Callisto 0,75L/ha (mesotrione 100 g/l)	8.0
Mars	Broyage	Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur tracté, axe horizontal 3m, ou giro 360 cm		1.5	
	Dés herbage	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate 3L/ha	8.0	
2	Mars	Broyage	Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur tracté, axe horizontal 3m, ou giro 360 cm		1.5
		Dés herbage	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate 3L/ha	8.0
5 10 15	Mai	Fertilisation P et K	Tracteur 4RM- 116-125 ch Distributeur engrais projection, 20 à 32 hl, porté, DPAE, 24-36m (Apport en même temps que la fertili N annuelle)	50 kg P/ha 100 kg K/ha	10.0

Année	Mois	Activité		Matériel	Intrant + Dose	Débit chantier (ha/h)	
3 à 20	Mai-juin (1 mois après redémarrage)	Fertilisation N		Tracteur 4RM- 116-125 ch Distributeur engrais projection, 20 à 32 hl, porté, DPAE, 24-36m	50 kgN/ha	10.0	
	Fin février - mars	Fauçage + pressage	Récolte	Tracteur 4 RM - 126-140 ch Fauçuse à disques, conditionneur à doigts, portée, 2,4m		1.5	
			Pressage	Tracteur 4 RM - 126-140 ch Presse cubique haute densité, 90x120x240	Ficelle pour balles cubiques	30 balles/h, (Variable selon rendement)	
		<i>OU</i>					
		Ensileuse	Récolte	Ensileuse ramasseur herbe et bec maïs, 2RM, 6 rangs rotatifs		1.5	
		<i>OU</i>					
		Ensileuse brin courts + pressage	Récolte	Ensileuse ramasseur herbe et bec maïs, 380-410 ch, 2RM, 6 rangs rotatifs		1.5	
			Pressage	Tracteur 4 RM - 126-140 ch Presse cubique haute densité, 90x120x240	Ficelle pour balles cubiques	30 balles/h, (Variable selon rendement)	
20	Mi juin	Broyage		Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur tracté, axe horizontal 3m, ou giro 360 cm		1.5	
	Au redémarrage des repousses Juillet	Remise en état de la parcelle	Fragmentation des rhizomes	Tracteur 4RM- 126-140 ch Cultivateur rotatif, 3m à pointes, rouleau packer		1.5	
				Tracteur 4RM- 126-140 ch Cultivateur rotatif, 3m à pointes, rouleau packer		1.5	
	Fin juillet / début août, quand repousses	Remise en état de la parcelle	Mise en surface des fragments de rhizomes	Tracteur 4RM- 126-140 ch Décompacteur 3m monopoutre, 4 lames droites		1.2	
				Tracteur 4RM- 126-140 ch Décompacteur 3m monopoutre, 4 lames droites		1.2	
	Septembre	Désherbage		Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate 6L/ha	8.0	

A noter : Rajouter un anti-taupin à l'implantation si ancienne jachère ou prairie

Légende :

Opération facultative
Prestation extérieure

Sources mobilisées sur la conduite technique du miscanthus :

- Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie, 2010, « Récolte du Miscanthus et du Switchgrass - Résultats des démonstrations 2010 en Picardie »
- DEFRA, 2007, Planting and Growing Miscanthus – Best Practices Guidelines for Applicants to Defra's Energy Crops Scheme.
- Richter G.M., Riche A.B., Dailey A.G., Gezan S.A., Powlson D.S., 2008, Is UK biofuel supply from Miscanthus water-limited ? Soil Use and Management, September 2008, 24, 235-245.
- RMT Biomasse, 2009, Fiche culture "Le Miscanthus"
- RMT Biomasse, 2011, « Le désherbage du miscanthus et du switchgrass »
- RMT Biomasse, 2012. Fiche culture « L'implantation du miscanthus »
- RMT Biomasse, 2013 Fiche culture « Le Miscanthus »
- Expertises de Stéphane Cadoux, Fabien Ferchaud, Matthieu Preudhomme de l'INRA Agro-Impact
- Expertise du Groupe Biomasse mobilisé dans le projet OPTABIOM : Marie Pillon (CA60), Denis Capronnier (CA60), Pierre Guy (CA80), Olivier Sené (CA02), Emeline Défossez (CR HF), Marie-Laure Savouré (AGT-RT)

Le peuplier appartient au genre *Populus*, de la famille des Salicacées.

Les espèces cultivées en TCR sont les hybrides *P.trichocarpa x P. deltoides* ou *P. deltoides x P. nigra*, qui présentent chacun plusieurs cultivars.

Les rotations sont dites courtes et durent 7 à 10 ans. Une culture de TCR de peupliers s'étend sur une durée d'environ 20 – 25 ans pour 3 rotations.



© C. CZERYBA – AGT-RT

I. Adaptation au milieu et productivité de la culture

I. A. Productivité du TCR de peupliers en Picardie

Les rendements moyens attendus dans le contexte picard sont indiqués dans le Tableau 3. Ils ont été discutés et validés avec Nicolas Nguyen Thé et Alain Berthelot (FCBA).

Tableau 3 : Rendements moyens attendus pour des TCR de peupliers en Picardie

Potentiel du sol	Rendement attendu (tMS/ha/an)
Bas	8
Moyen	10
Haut	12

I. B. Critères pédologiques et seuils discriminants pour le rendement

Le peuplier et son milieu

Le peuplier est une essence bien adaptée au climat tempéré humide, qui nécessite des sols profonds, aérés, bien alimentés en eau et riches chimiquement (FCBA, ENERBIO, *Le Peuplier*).

L'implantation et la productivité de la culture sont conditionnées par des **facteurs pédoclimatiques dont les critères discriminants** sont :

✖ **Profondeur exploitable par les racines < 80cm**

La profondeur du sol prospectable par les racines doit être au moins de 80 cm à 1 m et comporter un minimum d'obstacles à l'enracinement (gley, roches, lentilles de graviers, etc.) (FCBA, ENERBIO, *Le Peuplier*).

✖ **Taux de sable > 80% (sol trop pauvre)**

Le peuplier est relativement indifférent à la texture du sol. Seuls les sols trop sableux (> 80% de sable) sont à éviter (FCBA, ENERBIO, *Le Peuplier*).

Les sols très argileux peuvent être favorables si l'argile est structurée. L'optimum se situe dans les textures fines et équilibrées (limon argileux ou argile limoneuse). La structure et la texture du sol conditionnent l'aération du sol, qui est un facteur essentiel pour le peuplier.

× **Pierrosité > 20%**

A. Berthelot (communication personnelle) recommande un seuil de pierrosité maximale de 20%.

× **RUM < 150 mm**

L'alimentation en eau doit être assurée toute l'année. D'après A. Berthelot et N. Nguyen-Thé (FCBA, communication personnelle), l'alimentation hydrique (en lien avec la topographie) est un critère important pour l'élaboration du rendement de production du peuplier. Les alluvions récentes (localisées en bas de pente et vallées) ont, en général, une réserve utile élevée et/ou une nappe assez proche alors que les alluvions anciennes (en haut de pente) sont en général de texture grossière – sables et graviers – sans nappe proche.

Les besoins en eau du peuplier sont donc mieux satisfaits en fond de vallée, avec une nappe proche (moins de 2m), plutôt que dans les hauteurs. On utilisera donc pour ce critère l'hypothèse de RUM ci-dessus.

En outre, les sols hydromorphes et inondables (excès d'eau prolongés) sont à proscrire surtout en raison des difficultés de récolte.

× **pH > 8 – Par extrapolation CaCO₃ > 25%**

Le pH doit être situé entre 5,5 et 7,5 (Jobling, 1990 in Tubby & Armstrong, 2002 ; Fiche AGRICE, 1998). En dehors de cet intervalle, des baisses de productivité sont observées.

En l'absence de données sur le pH dans la base de données des sols, les sols très calcaires (teneur en CaCO₃ > 25%) et donc à pH élevé peuvent être exclus (risques de chlorose avec certains cultivars).

× **Taux d'argile**

Un taux d'argile élevé n'est pas défavorable si l'argile est bien structurée (pH > 6), mais peut être problématique si pH < 6.

Sources mobilisées sur l'adaptation au milieu du TCR de peupliers :

- Expertise de A. Berthelot, FCBA (communications personnelle ML Savouré et K. Monvoisin)
- Expertise de Nicolas N'Guyen Thé (FCBA - communication personnelle)
- FCBA, ENERBIO. Espèces ligneuses pour la production de biomasse – Le peuplier.
- Tubby I., Armstrong A, 2002. Establishment and Management of Short Rotation Coppice. Practice Note. Forestry Commission.

II. Conduite de la culture

II. A. Plantation

Tableau 4 : Caractéristiques de la plantation de TCR de peupliers

Boutures	Longueur : 30 cm Diamètre : 1 cm
Densité	Environ 1 000 à 2 000 plants/ha
Ecartement entre chaque ligne	3,5 m

NB : La densité de plantation est fonction de la fréquence prévisionnelle des récoltes. En effet, plus les récoltes seront fréquentes et plus la densité de plantation est élevée. Cela permet de maintenir une production égale quel que soit la fréquence de récolte.



© N. MARRON – INRA

II. B. Entretien de la parcelle



Un désherbage est nécessaire juste après la plantation car les boutures ne supportent pas la concurrence herbacée au cours des premiers mois.

Un travail de maîtrise des adventices sera nécessaire durant les deux premières années de la culture.

NPK

Une fertilisation NPK est également conseillée en début de cycle afin de favoriser le développement de la culture.



Le peuplier est sensible aux attaques d'insectes phyllophages et aux maladies cryptogamiques foliaires (rouilles à *Melampsora*). Les attaques tardives (estivales) auront moins d'incidences que les attaques précoces (printanières). Ces risques impliquent la nécessité d'une surveillance phytosanitaire.



Eventuellement : Dépressage post-récolte : Pour ne conserver qu'un brin principal parmi les rejets et ainsi augmenter la taille des tiges récoltées. Ce dépressage revêt un intérêt faible sachant que l'objectif est la production de bois énergie et non pour celle de bois d'œuvre.

II. C. Récolte



Pour assurer une bonne qualité des rejets, la récolte peut s'envisager entre octobre et avril (hors feuilles) et si possible sur sol portant.

Matériel pour l'abattage du taillis



Pour une surface inférieure à 2 – 3 ha, une récolte de type manuelle a un intérêt

- ✓ bucheronnage (tronçonneuse)
- ✓ broyeur à poste fixe (bord de route) ou sur la parcelle (avec remorque suiveuse)

Afin de limiter le risque de tassement du sol, il est possible d'envisager une récolte où les branches ne sont pas ramenées en bord de parcelle (aller-retours) mais au fur et à mesure de l'abattage. Ainsi, les machines ne passent qu'une seule fois sur un interligne.



Au-delà de 3 ha, une récolte mécanisée justifie le déplacement d'une abatteuse à pince ou également de machines de type Feller buncher qui se développent pour la récolte du bois énergie.

La mise en plaquette peut se concevoir en bord de route après débardage des javelles d'arbres entiers.

Tableau 5 : Caractéristiques de la biomasse récoltée (TCR de peuplier)

Javelles	Longueur : 15 à 17 m Diamètre : 11 à 13 cm
Rendements moyens	8 à 12 tMS/ha/an
Humidité	50 % 20 – 25% après séchage à l'air libre

II. D. Conditions d'accès à la parcelle



La parcelle doit être accessible à un tracteur



L'implantation des TCR sur la parcelle doit respecter la réglementation vis à vis des lignes électriques, implantation de gaz et autres règles de visibilité (route, SNCF, ...) et le Code civil.

II. E. Aspects juridiques

Depuis 2017 et dans le cadre du verdissement de la Politique agricole commune (PAC), les exploitations agricoles doivent avoir 5% de leur surface arable en surfaces d'intérêt écologique (SIE) pour être éligibles à la PAC. Les surfaces en TCR de peupliers sont considérées comme des SIE s'il n'y a pas eu d'apport d'engrais ou de produits phytosanitaires au cours de l'année. Ces surfaces doivent être localisées sur la surface arable de l'exploitation ou y être adjacente. Selon la table d'équivalence en SIE, un mètre carré de TCR de peuplier correspond à 0,3 m² de SIE.

III. Proposition d'itinéraire technique type pour la Picardie

Tableau 6 : Itinéraire technique type de TCR de peuplier pour une durée de culture de 21 ans

Année	Mois	Activité	Matériel	Intrant + Dose	Débit chantier (ha/h)
0	Septembre	Désherbage total Si précédent friche ou prairie permanente	Tracteur 4RM - 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate 2,4 L/ha	8.0
	Octobre	Labour 20-25 cm	Tracteur 4 RM - 126-140 ch Charrue 5 corps, portée, boulon rupture	-	0.85
	Octobre	Décompactage de la ligne de plantation	Tracteur 4RM- 126-140 ch Herse rotative, 3m, rouleau packer		2,5
1	Avril	Reprise de labour	Tracteur 4RM- 126-140 ch Herse rotative, 3m, rouleau packer	-	2.5
	Avril	Plantation (prestation)	Planteuse	2 000 boutures/ha	1.3
	Avril (immédiatement après plantation)	Désherbage : herbicide de pré-levée	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Gardenet paysage 3,5L/ha (oxyfluorène 134 g/l + propyzamide 357 g/l)	8.0
	Fin mai-début juin	Désherbage mécanique entre lignes	Tracteur 4RM- 120-140 ch Herse rotative, 3m, rouleau packer		2.5
	Juillet	Désherbage mécanique entre lignes	Tracteur 4RM- 120-140 ch Herse rotative, 3m, rouleau packer		2.5

Année	Mois	Activité	Matériel	Intrant + Dose	Débit chantier (ha/h)
2	Fin hiver de l'année 1	Désherbage mécanique entre lignes	Tracteur 4RM- 120-140 ch Herse rotative, 3m, rouleau packer		2.5
8 15	Automne année précédente ou printemps année en cours	Récolte (prestation)	1. Abattage de tiges entières avec combiné d'abattage (12 h/ha – 1 personne)		0,029 à 0,033 ha/h selon tonnage
			2. Débardage des tiges entières bord de route avec porteur 8x8 (13 h/ha – 1 personne)		
			3. Broyage bord de route (5 h/ha – 1 personne)		
	Printemps après récolte	Fertilisation N P K	Tracteur 4RM-116-125 ch Distributeur engrais projection, 20 à 32 hl, porté, DPAE, 24-36m	112 kg N / ha 64 kg P2O5 / ha 140 kg K2O / ha	10.0
Hiver après récolte	Dépressage	Tronçonneuse		0.16	
21	Automne année précédente ou printemps année en cours	Récolte (prestation)	1. Abattage de tiges entières avec combiné d'abattage (12 h/ha – 1 personne)		0,029 à 0,033 ha/h selon tonnage
			2. Débardage des tiges entières bord de route avec porteur 8x8 (13 h/ha – 1 personne)		
			3. Broyage bord de route (5 h/ha – 1 personne)		
	Eté	Remise en état de la parcelle	Broyage des souches (prestation)	Tracteur + broyeur forestier (2 h/ha – 1 personne)	
Désherbage total			Tracteur 4RM - 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate 2,4L/ha	8.0

Légende :

Prestation extérieure

Opération facultative

Sources mobilisées sur la conduite technique du TCR de peupliers :

- Berthelot A. dans le cadre du projet LIGNOGUIDE – Itinéraire technique type utilisé dans le projet LIGNOGUIDE
- Berthelot A. Fiche Peuplier. FCBA
- Expertise de A. Berthelot, FCBA (communications personnelle ML Savouré et K. Monvoisin)
- Expertise de Nicolas N'Guyen Thé (FCBA - communication personnelle)
- Berthelot A. 2007. TCR et TCCR dans la production de bioénergie. Aspects techniques et économiques. Formation Chambre d'agriculture Meuse.
- FDSEA, 2017, *Infos PAC : les aides directes*, Le carnet de l'agriculteur 2017, 166p, *Réussir – L'action agricole picarde*
- FCBA, ENERBIO. Espèces ligneuse pour la production de biomasse – Le peuplier.
- Fiche Agrice 1998, TCR de peuplier.
- Marron N., et al. 2009. Itinéraires techniques – Taillis à courte et à très courte rotation. CREFF
- Tubby I., Armstrong A, 2002. Establishment and Management of Short Rotation Coppice. Practice Note. Forestry Commission.

Le saule appartient au genre *Salix*, de la famille des Salicacées. De nombreux cultivars issus de croisements interspécifiques sont cultivés en TtCR. Les rotations sont dites très courtes et durent 3 ans. Une culture de TtCR de saules s'étend sur une durée d'environ 15 -25 ans.



© N. MARRON – INRA

I. Adaptation au milieu et productivité de la culture

I. A. Productivité du TtCR de saules en Picardie

La production du TtCR de saule avec une rotation de 3 ans peut varier de 8 à 12 tMS/ha/an (AILE, Guide des bonnes pratiques agricole TtCR saule). Les rendements attendus retenus en Picardie sont indiqués dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Rendement attendus pour des TtCR de saules en Picardie

Potentiel du sol	Rendement attendu (tMS/ha/an)
Bas	8
Moyen	10
Haut	12

I. B. Critères pédologiques et seuils discriminants influençant le rendement

Le saule et son milieu

Le saule est peu exigeant vis-à-vis du sol, dans la mesure où les réserves en eau ne sont pas limitantes. On obtiendra les meilleurs rendements dans les terres profondes et bien pourvues en eau (AILE, Guide des bonnes pratiques agricole « TtCR saule »). D'autre part, le développement du saule est possible dans les sols chargés en métaux lourds (ex : cadmium), il peut donc être utilisé dans le cadre de chantiers de phytoremédiation.

Peu de références existent sur les caractéristiques de sol influençant le rendement. D'après N. Nguyen Thé (FCBA, communication personnelle), le saule serait un peu plus rustique que le peuplier, mais les critères discriminants seraient les mêmes que ceux du peuplier.

× RUM < 150 mm

Le saule nécessite une très bonne alimentation en eau. Aucune référence de réserve utile minimale n'a été trouvée dans la bibliographie. Nous nous baserons donc sur le même seuil que pour le peuplier.

Les sols où l'alimentation en eau peut être limitante (avec RUM < 150 mm) sont exclus pour l'implantation de TtCR de saule. Par contre, il ne nous est pas possible de fixer des seuils de RUM intermédiaires pour lesquels le rendement du saule varierait, car les racines colonisent le sol en profondeur.

× Profondeur exploitable par les racines < 80cm

Le saule nécessite des terres profondes (AILE, Guide des bonnes pratiques agricole TtCR saule) et a peu d'intérêt sur les terres asséchantes et superficielles.

Comme pour le peuplier, une profondeur du sol exploitable par les racines minimales de 80cm à 1m est retenue.

× pH

Le pH doit être supérieur à 5,5 (AILE, Guide des bonnes pratiques agricole TtCR saule).

A noter : les pH inférieurs à 5.5 sont rares en Picardie. Ils ne se rencontrent que dans les sols sableux du Pays de Bray, en général boisés.

Sources mobilisées sur l'adaptation au milieu du TtCR de saules :

- Expertise de l'Association AILE (projet Wilwater)
- Expertise de Nicolas N'Guyen Thé (FCBA - communication personnelle)
- AILE, Projet Wilwater. Le Taillis de Saules à Très courte Rotation. Guide des bonnes pratiques agricoles. Programme Life Environnement 2004 – 2007.
- DEFRA. 2002. Growing short rotation coppice – Best practice guidelines for applicants to Defra's Energy Crops Scheme.
- Tubby Y., Armstrong A., 2002. Establishment and management of short rotation coppice. Practice Note. Forestry Commission.

II. Conduite de la culture

II. A. Plantation

La plantation des TtCR nécessite de préférence un matériel spécifique. Dans les essais du projet WILWATER, une planteuse STEP (Figure 2) développée en Suède (construite par Salix Maskiner) est utilisée.

Tableau 8 : Caractéristiques d'un chantier de plantation de TtCR de saules



Figure 2 : Planteuse STEP

Débit de chantier	1ha/h
Boutures	Tiges de 2m coupées en tronçons de 20 cm Tiges de 1cm de diamètre
Densité de plantation	15 000 plants/ha (> 10 000 plants/ha)
Ecartement des plants	Double avec rangs espacés de 1,5 cm
Période de plantation	Printemps

II. B. Entretien de la parcelle



Un désherbage chimique, mécanique ou mixte est nécessaire au cours de la phase d'installation, car la concurrence des adventices peut nuire au développement des jeunes saules.

NPK

Des besoins en azote peuvent survenir selon l'historique de la parcelle, d'autant que les TtCR sont composés de beaucoup d'écorces, résultant d'une exportation importante d'éléments minéraux lors des récoltes, devant être compensé par de la fertilisation.



La rouille (*Melampsora spp*) est la maladie la plus grave du saule. Les traitements chimiques n'étant pas efficaces, le seul moyen de lutte est la sélection clonale.



Dans certains cas, des rongeurs ou des cervidés peuvent provoquer des dégâts importants. Il est alors conseillé de clôturer la plantation.



Pour une remise en culture de la parcelle la même année, un travail superficiel du sol est préconisé, puis une implantation d'une culture « de surface » type colza, orge, blé, etc. Un labour ne peut être envisagé qu'au moins deux ans après la destruction des saules, de même que l'implantation d'une culture.

II. C. Récolte



La récolte de TtCR doit théoriquement avoir lieu en hiver, lorsque les feuilles sont tombées au sol et avant la reprise de la végétation au printemps, pendant une période de gel pour éviter les tassements de sol.

La culture de TtCR nécessite une récolte mécanisée de type agricole. Deux modes de récolte sont possibles selon l'utilisation et le mode d'approvisionnement prévus. Cependant, le matériel de récolte employé pour les TtCR reste, actuellement, très peu répandu en France.

Récolte de plaquettes à l'ensileuse équipée d'une tête de récolte adaptée



C'est la technique la plus développée en Europe.

Elle a l'avantage de réaliser la coupe et le broyage en un seul temps, permettant d'optimiser les coûts de fonctionnement des chantiers de récolte.

Dans ce cas d'une récolte des saules directement sous forme de plaquette, attention à ne pas avoir de feuilles sur les saules pour éviter qu'elles ne compostent lors du séchage.

Tableau 9 : Caractéristiques d'un chantier de récolte à l'ensileuse de TtCR de saules

Vitesse d'avancement	0,3 à 1 ha/h
Chantier de remorques	Au moins 3 remorques
Sol	Nécessite un terrain portant



Figure 3 : Récolte de plaquettes à l'ensileuse



Récolte de tiges entières avec une récolteuse

Ces outils permettent de récolter des tiges de 6 cm de diamètre.

La récolte en tiges entières pouvant être entreprise en feuilles, cette technique permet d'assouplir le calendrier de récolte et un meilleur séchage des tiges, induisant un meilleur stockage de la biomasse.

La récolte avec feuilles est préconisée pour de la phytoremédiation. Elle entraîne cependant des difficultés dans le maniement des tiges.

De plus, elle engendre une exportation d'éléments minéraux beaucoup plus importante qu'en l'absence de feuilles.

Tableau 10 : Caractéristiques d'un chantier de récolte à la récolteuse d'un TtCR de saules

Vitesse d'avancement	0.2 à 0.5 ha/h
Sol	Peut intervenir sur des parcelles relativement humides (planning plus souple)
Débardage	Nécessite un débardage si la longueur des rangs est supérieure à 300 m, avec pince spéciale sur le télescopique ou le débardeur pour ne pas emmêler les tiges
Broyage	Le broyage des tiges peut se faire en bout de parcelle ou sur une plateforme de stockage. Il nécessite un broyeur à grappin.



Figure 4 : Récolte de tiges entières avec une récolteuse

Plus d'informations sur les modes de récolte dans les documents du projet WILWATER

Tableau 11 : Caractéristiques de la biomasse récoltée (TtCR de saule)

Rendements moyens	30 tMS/ha/récolte soit une moyenne de 10 tMS/ha/an
Humidité des plaquettes	50 % 20 – 25% après séchage à l'air libre

II. D. Surfaces des parcelles

D'après François-Xavier VALENGIN (CRPF), la surface des parcelles doit au minimum être de 5 ha, au regard des machines employées pour récolter le taillis.

II. E. Conditions d'accès à la parcelle



La parcelle doit être accessible à un tracteur



L'implantation des TCR sur la parcelle doit respecter la réglementation vis à vis des lignes électriques, implantation de gaz et autres règles de visibilité (route, SNCF, ...) et le Code civil.

II. F. Aspects juridiques

Depuis 2017 et dans le cadre du verdissement de la Politique agricole commune (PAC), les exploitations agricoles doivent avoir 5% de leur surface arable en surfaces d'intérêt écologique (SIE) pour être éligibles à la PAC. Les surfaces en TtCR de saules sont considérées comme des SIE s'il n'y a pas eu d'apport d'engrais ou de produits phytosanitaires au cours de l'année. Ces surfaces doivent être localisées sur la surface arable de l'exploitation ou y être adjacente. Selon la table d'équivalence en SIE, un mètre carré de TCR de peuplier correspond à 0,3 m² de SIE.

III. Proposition d'itinéraire technique type pour la Picardie

Année	Mois	Activité	Matériel	Intrant + Dose	Débit chantier (ha/h)	
1	Septembre	Désherbage total	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate 3L/ha	8	
	Mars	Labour	Tracteur 4 RM - 126-140 ch Charrue 5 corps, portée, boulon rupture	-	0.85	
	Avril	Reprise de labour	Tracteur 4RM- 116-125 ch Vibroculteur 4m rouleaux cage	-	2.4	
	Mars	Décompactage de la ligne de plantation				
	Avril (mars à fin juin, le plus tôt possible)	Plantation (Prestation extérieure)	Tracteur + planteuse (1 ha/h, 3 personnes mobilisées)	15 000 boutures/ha	3	
	Avril	Anti-taupin à l'implantation si risques Nécessaire après d'anciennes jachères ou prairies	Micro-granulateur à adapter à la machine d'implantation	Force 1.5G 12.2kg/ha (téfluthrine 15g/kg)		
	Avril	Désherbage anti-germinatif (plantation + 0-5 j.)	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Emir 3.5 L/ha (oxyfluorène 274 g/L + propyzamide 214g/L)	8	
	Été	Désherbage mécanique inter-rang	Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur Tracté Axe vertical "giro" 180cm	-	0.5	
2	Février (novembre à mars)	Recépage Non nécessaire si les saules sont bien développés, en hauteur et en nombre de tiges par pieds	Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur tracté, axe horizontal 3m, ou giro 360 cm (lame neuve)	-	1.5	
	Mai	Fertilisation NPK	Tracteur 4RM- 116-125 ch Distributeur engrais projection, 20 à 32 hl, porté, DPAE, 24-36m	N solide 50 kg/ha P 35 kg/ha K 110 kg/ha	10	
	Juin	Désherbage mécanique inter-rang	Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur Tracté Axe vertical "giro" 180cm		0.5	
4, 7, 10, 13, 16, 19	Novembre - Mars	Récoltes (Prestation)	Récolte des TtCR de saules par ensileuse maïs avec tête de récolte adaptée			
	Mai (post-récolte)	Fertilisation NPK	Tracteur 4RM- 116-125 ch Distributeur engrais projection, 20 à 32 hl, porté, DPAE, 24-36m	N solide 50 kg/ha P 35 kg/ha K 110 kg/ha	10	
	Juin (post-récolte)	Désherbage mécanique inter-rang	Tracteur 4RM- 116-125 ch Broyeur Tracté Axe vertical "giro" 180cm	-	0.5	
20	Juin	Destruction de la culture et remise en état de la parcelle	Herbicide sur repousses d'environ 15 cm	Tracteur 4RM- 116-125 ch Pulvé trainé 2500L, 24m, DPAE équipé	Glyphosate (6L/ha) et 2.4 MCPA ester (0.8L/ha)	8
	Juillet (1 mois après)		Broyage en profondeur (environ 10 cm)	Tracteur 4RM – 180-200 ch Fraise, 3m, packer pointes	-	0.17
	Juillet		Outil à disques pour couper les racines et les souches	Tracteur 4 RM – 180-200 ch Pulvérisateur, châssis fixe 4,10m, 36 disques	-	0.91

Légende :

Prestation extérieure

Opération facultative

Sources mobilisées sur la conduite du TCR de peupliers :

- Expertise du Groupe Biomasse mobilisé dans le projet OPTABIOM (Marie Pillon CA60, Denis Capronnier CA60, Pierre Guy CA80, Olivier Sené CA02, Emeline Défossez CRAP, Kristell Monvoisin et Marie-Laure Savouré AGT-RT)
- Expertise complémentaire de Nils-Erik Nordh (Swedish University of Agricultural Sciences) (en particulier sur les étapes de destruction de la culture et remise en état de la parcelle)
- Expertise de l'Association AILE (projet Wilwater)
- Expertise de Nicolas N'Guyen Thé (FCBA - communication personnelle)
- Expertise de François-Xavier Valengin (CRPF)
- AILE, Projet Wilwater. Le Taillis de Saules à Très courte Rotation. Guide des bonnes pratiques agricoles. Programme Life Environnement 2004 – 2007.
- Berthelot A. 2007. TCR et TTCR dans la production de bioénergie – Quelques images TCR peuplier et TTCR saule. FCBA.
- DEFRA. 2002. Growing short rotation coppice – Best practice guidelines for applicants to Defra's Energy Crops Scheme.
- FDSEA, 2017, *Infos PAC : les aides directes*, Le carnet de l'agriculteur 2017, 166p, *Réussir – L'action agricole picarde*
- Tubby Y., Armstrong A., 2002. Establishment and management of short rotation coppice. Practice Note. Forestry Commission.
- Fiche Agrice 1998, TTCR de saule.