

Des taillis à (très) courte rotation pour les bioénergies

par Nicolas NGUYEN THE

La production de biomasse forestière pour l'énergie peut aussi être assurée par des cultures dédiées. Il nous a semblé utile de faire le point ici sur les taillis à courte et très courte rotation, même si l'on est dans une approche plus agricole que forestière.

Le taillis à courte rotation (TCR) est un mode de sylviculture intensif basé sur des espèces ligneuses à croissance rapide et utilisant leur capacité à rejeter de souche (taillis). On peut ainsi effectuer plusieurs récoltes et conduire le peuplement sur plusieurs rotations successives à partir d'une plantation.

Ce mode de culture a notamment été développé par l'industrie papetière. L'objectif étant d'établir une ressource de biomasse (cellulose) de proximité et d'assurer l'approvisionnement des usines. Au niveau européen, c'est notamment dans la péninsule ibérique que les TCR se sont développés (environ 1 million d'ha de TCR d'eucalyptus). En France, les premiers développements de TCR ont été réalisés dans les années 1980 avec l'appui scientifique et technique de l'AFOCEL¹ avec du peuplier et de l'eucalyptus (CAUVIN et MELUN, 1994 ; CAUVIN *et al.* 1994 ; BONDUELLE, 1989 ; BERTHELOT et BONDUELLE, 1994). Les itinéraires techniques prévoyaient typiquement trois rotations successives de 7 à 10 ans. Aujourd'hui, le programme de développement de l'eucalyptus est toujours en cours dans le sud-ouest de la France pour l'usine de pâte à papier de St-Gaudens et avec le soutien financier de la région Midi-Pyrénées.

Plus récemment, les préoccupations sur l'énergie et les orientations prises pour le développement des énergies renouvelables et la biomasse ont conduit à remettre au goût du jour ce système de culture. Les TCR constituent en effet des « cultures dédiées » pouvant apporter une

1 - L'AFOCEL (Association Forêt Cellulose) et le CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) ont fusionné le 1^{er} juin 2007 pour donner naissance à FCBA, l'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement



Photo 1 :
TCR d'eucalyptus papetier
en Midi-Pyrénées : récolte
de la deuxième rotation

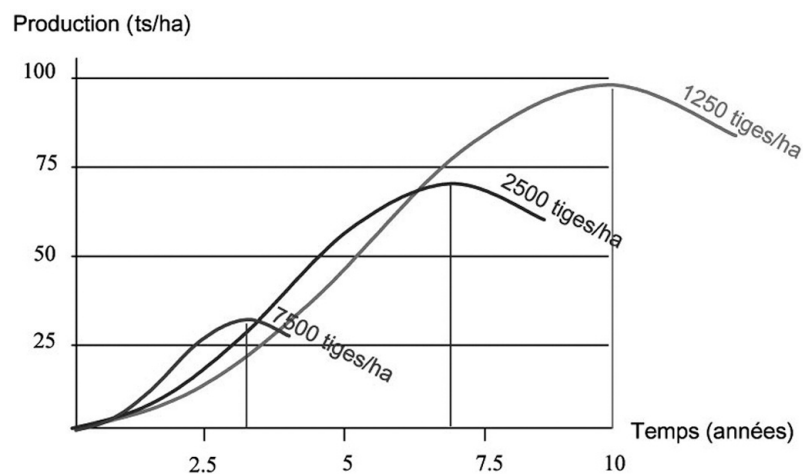
réponse pour la production de biomasse à vocation de bioénergie, que ce soit pour la production de chaleur, d'électricité ou de biocarburant de deuxième génération.

Les espaces concernés étant notamment des terrains agricoles, on s'intéresse actuellement à des itinéraires techniques plus proches des pratiques agricoles, à savoir avec des fréquences de récolte plus élevées et des récoltes réalisables avec des engins dont disposent les agriculteurs.

Fig. 1 :
Schéma de la production
du taillis en fonction du
temps. L'année de récolte
est fixée par le pic
de production moyenne.
Elle peut être écourtée en
augmentant la densité de
plantation. La productivité
moyenne reste constante
(10 tonnes sèches /ha/an
dans ce cas).

Du TCR au TTCR

En termes techniques, le système des TCR se définit notamment par la densité de plantation et la durée des rotations. Le principe qui a été développé par les industries papetières repose sur des densités de plantation de l'ordre de 1000 à 2000 tiges par ha et des



récoltes prévues environ tous les 7 à 10 ans. La durée de rotation est fixée par le pic de croissance moyenne qui maximise la production de biomasse en fonction du temps.

Cette durée de rotation est étroitement liée à la densité de plantation. Pour une productivité moyenne équivalente (fixée par les potentialités de la station), le raccourcissement du cycle peut être compensé par une densité plus forte (Cf. Fig. 1). On arrive ainsi à des systèmes de culture en taillis à très courte rotation (TTCR) avec des récoltes tous les 2 à 3 ans qui exigent des densités comprises entre 10 000 et 15 000 tiges/ha. De tels systèmes de culture ont été mis en place en suède avec du Saule (DIMITRIOU & ARONSSON, 2006) sur environ 20 000 ha ou encore en Italie avec du peuplier (BRIENS, 2008) sur environ 6 000 ha. En France, les TTCR ont été introduits très récemment. Le programme de l'AILE (AILE, 2007) en Bretagne en a été le précurseur (environ 100 ha de Saule en 2008).

Les essences utilisées

Les essences utilisées doivent avoir une bonne aptitude à la conduite en taillis et aux recépages successifs, et avoir une forte croissance juvénile. L'eucalyptus et le peuplier sont les essences les plus connues pour ce genre d'application. Le Saule a notamment été développé pour des systèmes en TTCR et se prêterait mal à du TCR. Le robinier constitue un autre candidat intéressant en cours d'évaluation. Ensuite d'autres espèces peuvent être envisagées. Une récente investigation sur le réseau d'essais du FCBA a permis d'identifier par exemple le Platane (*Platanus* sp.) ou le Séquoia toujours vert (*S. sempervirens*) comme des essences à forts potentiels de croissance.

La liste n'est pas exhaustive. Il s'agit de trouver des espèces à la fois performantes en croissance et bien adaptées aux conditions de station. Ce dernier point est particulièrement important. Les Salicacées (peuplier, saule) sont des essences relativement exigeantes (profondeur de sol, bonne alimentation en eau) qui trouveront leur place sur de bons sols pour lesquels des effets de concurrence avec d'autres cultures agricoles sont

les plus à même de voir le jour. En région méditerranéenne, les terrains susceptibles de se libérer seront d'abord des zones de déprise agricole de qualité moyenne à mauvaise avec des déficits hydriques importants. Seules des essences rustiques pourront y être développées. L'eucalyptus et le robinier sont des candidats potentiels pour ce type de milieu, si l'on fait abstraction des risques de chlorose dans les zones très calcaires.

Dans la gamme des essences rustiques, le cyprès de Leyland (*Cupressocyparis leylandii*) ou les pins (*Pinus pinaster*, *Pinus nigra*), présentent des potentiels intéressants. On bascule alors dans des schémas de "futaies à courte rotation" qui restent encore à tester et à valider pour des usages en bioénergies.

Dans tous les cas, l'objectif reste bien la production de biomasse. Les essences ayant fait l'objet d'un programme d'amélioration génétique ont toujours un atout en termes de performance et d'homogénéité du peuplement. Les performances atteintes en TCR avec l'eucalyptus ou le peuplier sont de l'ordre de 10 à 12 ts/ha/an, ce qui correspond à des productions de 200 à 240 tonnes brutes par ha à 10 ans. Dans les meilleures stations, les productivités moyennes peuvent dépasser 15 ts/ha/an sur 10 ans. L'eucalyptus est par exemple très vigoureux en deuxième et troisième rotation où l'on bénéficie de l'ensouchement et d'un démarrage très vigoureux du taillis. Inversement, la productivité pourra être beaucoup plus faible sur des stations difficiles. Quelques références existantes du réseau d'essais du FCBA donnent des chiffres de l'ordre de 5 ts/ha/an pour l'eucalyptus en région méditerranéenne sur les stations les plus difficiles.

Itinéraire technique

De manière commune, la phase de préparation du terrain est très importante tout en restant classique au regard des activités agricoles (sous-solage éventuel, labour et reprise de labour). La fertilisation au démarrage n'est pas toujours nécessaire. Elle est surtout recommandée pour favoriser la reprise des plants (apport de P par exemple sur eucalyptus). La plantation peut être faite à la main ou de façon semi-mécanisée (plan-



teuse forestière). En TTCR, des systèmes entièrement mécanisés ont été développés pour le Saule.

Le type de plant utilisé a une influence très significative sur les possibilités de mécanisation et le coût de plantation. Les Salicacées (Peuplier et Saule) sont plantées sous forme de tronçons de tiges faciles à transporter et à planter. Le robinier est planté avec des plants en racines nues,

Photo 2 :
TCR d'eucalyptus
en Midi-Pyrénées : rejet
d'un an après récolte



Photo 3 :
TCR de Robinier,
1 an après plantation
à Perpignan

faciles à transporter mais nécessitant une préparation préalable. Pour l'eucalyptus, ce sont des plants racinés en godet qui sont utilisés, plus difficiles à manipuler.

Le contrôle de la végétation adventice est assurée par l'application d'un herbicide de pré-levée, suivie d'un entretien chimique et mécanique entre les lignes. Ces opérations sont essentiellement concentrées sur la première année et de façon plus légère sur la deuxième année. En effet, dès que les plants ont pris le dessus, les entretiens ne sont plus nécessaires et il n'y a plus d'intervention jusqu'à la récolte.

La question de la fertilisation se pose. Les TCR papetiers actuels ne donnent pas lieu à une fertilisation d'appoint après chaque récolte. En effet, les récoltes tous les 10 ans à découpe 7 cm et avec écorçage de surcroît exportent très peu de minéraux et les essais de fertilisation menés n'ont pas pu mettre en évidence d'effets significatifs. En revanche, des systèmes de type TTCR avec des récoltes en tiges entières seront susceptibles d'exporter une quantité importante de minéraux et une fertilisation de compensation sera certainement requise. On manque aujourd'hui de recul sur les quantités nécessaires à apporter.

Les méthodes de récolte varient selon le schéma de culture retenu. Elles peuvent être très proches d'une exploitation forestière classique de type coupe rase pour les TCR, suivie d'une mise en plaquette ou au contraire ressembler à une récolte "agricole" de type ensilage pour les TTCR. Les

méthodes les plus efficaces sont celles qui évitent au maximum la reprise.

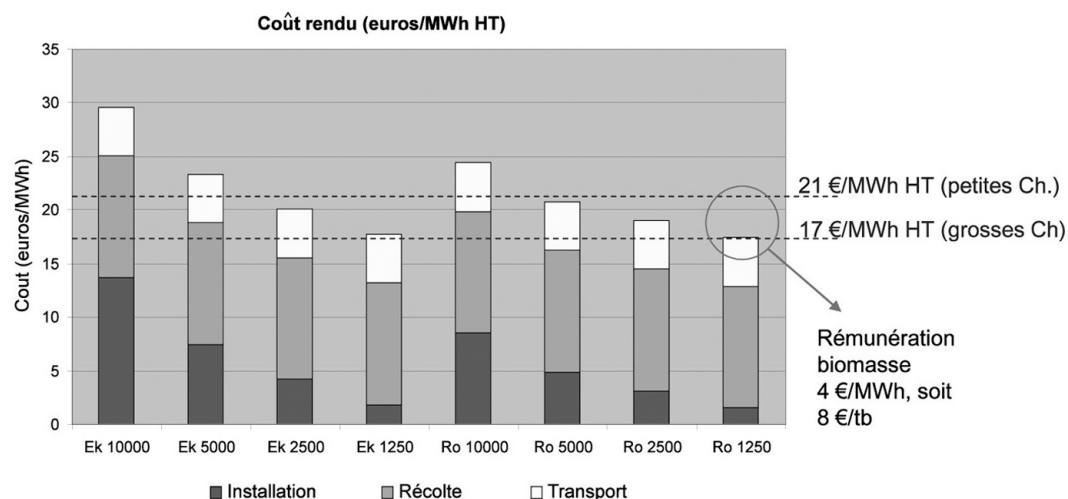
Pour les TCR, il s'agit d'exploiter avec un combiné d'abattage, si possible disposant d'une tête groupeuse, pour les arbres de petite taille notamment, et de disposer les tiges entières en javelles. Ces javelles sont reprises et débardées (toujours entières) en bord de piste. Enfin le déchetage fait intervenir un broyeur de grande capacité qui éjecte les plaquettes directement dans les bennes.

Pour les TTCR, les systèmes les plus avancés sont des têtes spécifiques, montées sur des engins agricoles de type ensileuse, et qui sont capables de sectionner et de broyer les brins et d'éjecter les plaquettes dans des bennes agricoles. Le principal inconvénient de ces engins reste la capacité de coupe limitée à de petits diamètres, ce qui empêche leur utilisation en cas de retard dans l'exploitation des parcelles.

Aspects économiques

Le coût d'installation de ces cultures est étroitement lié à la densité de plantation et au coût du plant. A ce titre, les salicacées (peuplier ou saule) avec un coût du plant compris entre 20 et 30 cts d'euros présentent un avantage par rapport au robinier (42 cts d'euros /plant HT sortie pépinière) et surtout par rapport à l'eucalyptus (85 cts d'euros/plant HT). C'est une des principales

Fig. 2 :
Simulation de prix
de la plaquette rendue
chaufferie (€/MWh HT)
Exemple de l'eucalyptus
(Ek) et du robinier (Ro)
pour différentes densités
de plantation et avec une
hypothèse de productivité
de 10 ts/ha/an



contraintes pour des plantations à haute densité.

Les coûts d'installation des TCR de type papetier sont compris entre 2000 (peuplier) et 2500 euros/ha (eucalyptus) en considérant un itinéraire technique complet. Cela équivaut à une fourchette de 1,6 à 2,2 euros/MWh en considérant un potentiel de production de l'ordre de 10 ts/ha/an modulée selon les essences.

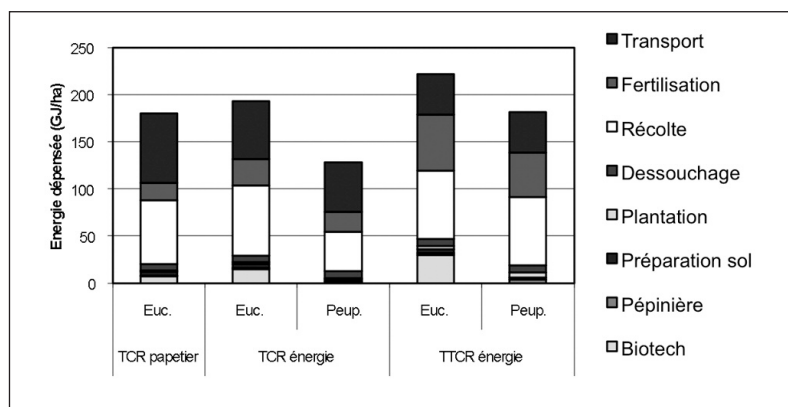
Dans un système TCR optimisé et mécanisé, le coût de récolte est estimé à 25 euros HT/tonne brute (11,4 euros HT/MWh) auxquels il faut rajouter 10 euros /tonne brute (4,5 euros HT/MWh) de transport jusqu'à la chaufferie (source : projet REGIX). Si l'on prend l'exemple de l'eucalyptus et du robinier qui sont les plus susceptibles d'être développés en région méditerranéenne, plutôt que les salicacées, le coût total rendu serait compris entre 17 et 30 euros HT/MWh selon la densité adoptée (Cf. Fig. 2).

D'après l'ADEME, les prix actuels de la plaquette se situent entre 17 et 21 euros /MWh HT livré (ADEME, 2009). Pour les deux espèces citées, dans le contexte actuel, seules les densités les plus faibles permettent donc de rémunérer la biomasse (Cf. Fig. 2) et ce, à des niveaux inférieurs à ceux proposés par la filière papetière pour l'eucalyptus (15 euros/tb, soit 6,8 euros/MWh). L'intérêt économique des TCR pour l'énergie est donc encore incertain avec les prix de marché actuel. Néanmoins, cette situation peut être amenée à évoluer rapidement si l'on tient compte de l'évolution régulière des prix constatée par l'ADEME.

Aspects environnementaux

L'application de méthodes d'analyse de cycle de vie (ACV) à ces systèmes de culture permet de tirer plusieurs enseignements (NGUYEN THE *et al.*, 2010) :

Concernant l'utilisation d'énergie non-renouvelable, on observe que les deux postes qui pèsent le plus sont le transport et la récolte (Cf. Fig. 3). Avec une hypothèse de transport de 80 km, on obtient néanmoins des ratios énergétiques (ratio entre l'énergie



obtenue par combustion de la biomasse et l'énergie dépensée pour l'obtenir) positifs de l'ordre 10 à 15 selon les scénarios étudiés. Les scénarios TCR ont tendance à être plus favorables que les scénarios TTCR car ils maximisent la production de biomasse et requièrent moins d'intrants. Néanmoins, les TTCR présentent aussi l'avantage de pouvoir être récoltés avec des systèmes agricoles moins consommateurs en énergie que les traditionnels engins forestiers.

Le recours à la fertilisation impacte sur l'utilisation d'énergie non renouvelable mais plus notamment sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) ou encore l'eutrophisation des systèmes. A ce titre, les TTCR sont moins favorables que les TCR car ils requièrent a priori de fortes quantités de fertilisa-

Fig. 3 : Consommation en énergie (GJ/ha) des principaux scénarios et distinction par poste pour eucalyptus et peuplier en TCR ou TTCR

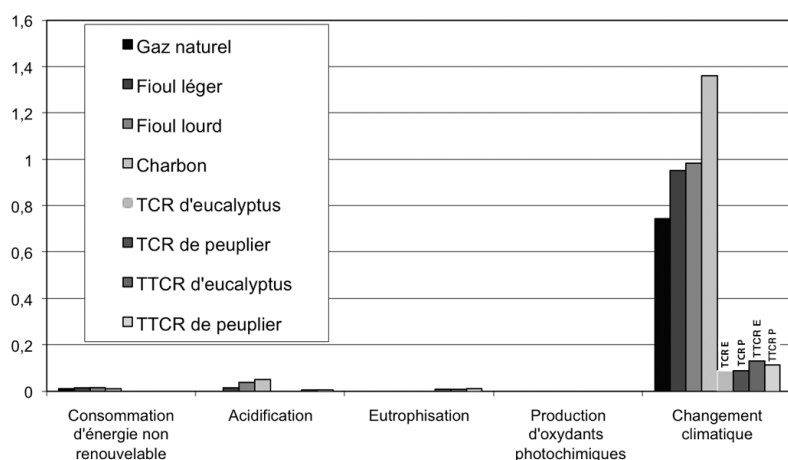
Photo 4 : Taillis d'Eucalyptus dans la plaine d'Aléria en Corse
Photo DA





Photo 5 :
TCR de robinier de 1 an à
Alenya (66) installé dans
une optique de recyclage
d'eaux usées de serre
Photo FCBA

Fig. 4 :
Indicateurs ACV ramenés
aux impacts moyens
d'un habitant Européen.
Comparaison entre
TCR/TTCR et énergies
fossiles



Comparés aux énergies fossiles, ce mode de culture (TCR ou TTCR) présente, dans tous les cas, un avantage très significatif puisqu'il permet d'économiser plus de 80 % d'énergie renouvelable et plus de 90 % d'émissions de GES pour la même énergie finale disponible auprès du consommateur (Cf. Fig. 4).

La comparaison avec la vigne (Cf. Fig. 5) pour une surface équivalente permet de montrer l'avantage environnemental net du TCR sur les impacts de toxicité et d'eutrophisation du fait du très faible niveau d'intrants requis en comparaison avec la culture de la vigne (fertilisation et application de cuivre). Les TTCR sont moins avantageux que les TCR du fait du besoin en fertilisation mais restent néanmoins très avantageux pour la toxicité aquatique et terrestre.

D'autres aspects liés à l'environnement sont à l'étude.

Les arbres induisent naturellement un enrichissement en matière organique dans le sol par le biais de restitution de litière. Des études menées sur les TCR de peuplier et d'eucalyptus donnent des chiffres de l'ordre de 5 ts/ha/an pour des peuplements en fin de rotation (BERTHELOT *et al.*, 2000, NGUYEN THE *et al.*, 2001). Un système TCR peut donc contribuer à un enrichissement en matière organique dans le sol, tout particulièrement après d'anciennes cultures telles que la vigne. Ces questions sont en cours d'évaluation. Les résultats dépendent des antécédents considérés ainsi que des scénarios de culture (récolte en tiges entières ou non, TCR ou TTCR). Il faut aussi comparer le stockage de carbone par rapport à un scénario de référence représentant l'alternative au TCR, c'est-à-dire l'occupation du sol s'il n'y avait pas eu de TCR (ce peut être une friche).

Concernant la biodiversité, plusieurs études ont été réalisées pour comparer différents milieux et les TCR. Cet aspect est difficile à appréhender car si l'on arrive bien à mesurer la biodiversité, il est plus difficile de l'interpréter. En tout état de cause, les TCR présentent un caractère anthropisé mais relativement extensif au regard des cultures agricoles. Ils permettent le maintien d'une biodiversité ordinaire, conclusion qu'il s'agit de moduler en fonction des espèces utilisées, des scénarios adoptés et des territoires dans lesquels ils s'inscrivent. Le caractère invasif d'une essence comme le robinier est également un aspect à prendre en compte. La biodiversité reste encore un point de recherche à approfondir.

Enfin, l'eau constitue un important enjeu de recherche. Les projets en cours OPTIMAL (Fondation Tuck) et SYLVABIOM (ANR) doivent précisément apporter des réponses sur la consommation en eau de ces systèmes de culture.

Perspectives de développement

Le contexte énergétique actuel est encore peu favorable à l'adoption des cultures ligneuses d'un point de vue strictement économique compte tenu d'un prix de plaquette encore largement fixée par l'utilisation possible de ressource à plus faible coût (broyats de palette, produits connexes de scierie). La place envisagée aujourd'hui pour ces cultures reste celle de terrains marginaux pour lesquels il n'y a pas de concurrence forte avec d'autres usages, qu'ils soient agricoles ou non. Dans ce contexte, ce sont les espèces les plus rustiques qui sont à même de se développer et avec des gammes de productivité qui pourront être plus faibles que les moyennes de 10 ts/ha/an habituellement retenues, surtout en région méditerranéenne. Le raccourcissement des cycles pour des systèmes de types TTCR y paraît difficile à développer.

Le multi-usage apparaît une solution de développement possible. Des systèmes intégrés permettant par exemple un recyclage d'effluents ou de boue d'épuration sur des TCR dont la biomasse serait valorisée dans une chaufferie locale sont un modèle intéressant à tester.

La motivation à plantation n'est cependant pas forcément exclusivement économique et elle doit s'inscrire dans le cadre de l'exploitation agricole ou du territoire dans son ensemble et non seulement au niveau parcellaire. Au niveau de l'exploitation, il peut y avoir des logiques de valorisation de terrains trop difficiles à cultiver ou une volonté de maîtrise du foncier pour des agriculteurs partant à la retraite. Pour des collectivités, la réflexion se fait aussi à une échelle plus grande qui rejoint une problématique d'aménagement.

Enfin, la place des cultures ligneuses doit se réfléchir dans le cadre encore plus large des enjeux de territoire. Les contextes agricoles et forestiers peuvent



Photo 5 :
Plantation d'eucalyptus Gundal et son antécédent cultural (vignes) à Villeneuve-de-la Raho (66)

être différents d'une région à l'autre et déboucher sur des motivations ou des contraintes différentes (arrachage de vigne en Languedoc-Roussillon et recherche d'alternatives mais fort endettement des viticulteurs les rendant peu enclins à l'investissement, importante ressource forestière en Provence-Alpes-Côte d'Azur en attente de débouchés).

Les cultures ligneuses présentent aussi des atouts environnementaux qui peuvent peser dans la balance des décisions (maintien d'une forme de biodiversité par rapport aux cultures agricoles, restauration des sols

Fig. 5 :
Comparaison des impacts TCR et TTCR d'eucalyptus ramenés à ceux de la vigne

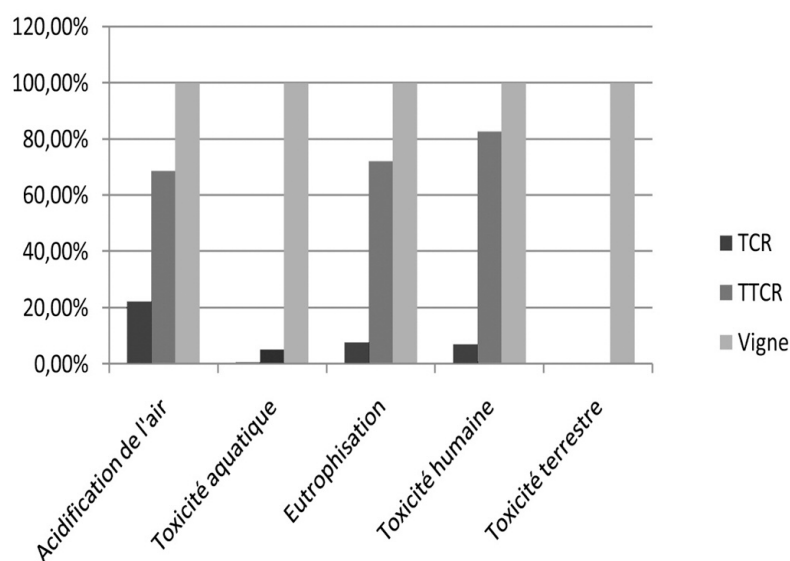




Photo 6 :
Eucalyptus globulus
plantés en TCR
(12 à 15 ans de rotation)
dans la plaine d'Aléria.
Photo DA

Nicolas NGUYEN THE
FCBA Sud Est
Domaine universitaire
BP 251
38 044 Grenoble
cedex 9
Tél. : 04 76 15 40 70
Fax : 04 76 15 40 98
Mél :
Nicolas.NGUYEN-
THE@fcba.fr

dans certaines conditions, faible niveau d'intrants).

Dans le cadre des projets REGIX (ANR) et CULIEXA (Fondation Tuck) un réseau de parcelles d'expérimentation et de démonstration a été mis en place au niveau national par FCBA. Suivies sur le long terme, ces parcelles permettront de définir concrètement les possibilités de développement de ces cultures au niveau local pour les bioénergies. Cinq parcelles se situent dans la zone méditerranéenne en région Languedoc-Roussillon.

Le contexte énergétique est susceptible de se développer rapidement dans les années à venir. Une ressource dédiée sous forme de taillis, homogène et facilement mobilisable est à même d'offrir un complément à une ressource en biomasse, soit limitée (déchets banals, produits connexes de scieries), soit

pour laquelle des concurrences d'usage risquent de voir le jour sur la partie aisée à mobiliser (forêt).

N.N-T

Références

- ADEME, 2009. Enquête sur le prix des combustibles bois en 2008. 16 p.
- AILE, 2007a. WILWATER. De la production d'énergie renouvelable à la valorisation d'effluents pré-traités. Guide technique AILE, 20 p., www.aile.asso.fr
- AILE, 2007b. WILWATER, Etude économique et potentiel de développement des TTCR, note AILE, 9 p.
- Berthelot A., Ranger J., Gelhaye D., 2000. Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France. *Forest Ecology and Management*, Volume 128, Issue 3, 1 April 2000, Pages 167-179.
- Bonduelle P., Berthelot A., 1994. La culture du TCR de peuplier, 1^{ère} partie : objectifs et choix des sols et 2^e partie : itinéraire technique. Fiche *Informations-Forêt* AFOCEL 2-1994, fasc. n° 482 et 483, pp 145-156 et 157-172.
- Bonduelle P., 1989. Sylviculture du peuplier en taillis à courtes rotations. AFOCEL, Paris, 41 p.
- Briens M., 2008. Analyse des facteurs techniques, socio-économiques et institutionnels de l'implantation de Taillis à Courtes et Très Courtes Rotations en Italie du Nord. Rapport de mission réalisé pour le FCBA. 50 P + annexes.
- Cauvin B. et Melun F., 1994. Guide de culture du TCR Eucalyptus. AFOCEL, fiche *Informations-Forêt* n° 486.
- Cauvin B., Bonduelle P., Hubert C., 1994 : les taillis à courtes rotations : une culture pour la jachère fixe. AFOCEL ARMEF Informations-Forêt fascicule n° 475.
- Dimitriou I., Aronsson P., 2005. Des saules pour l'énergie et la phytoremédiation en Suède. *Unasylva* 221, vol. 56, 47-50.
- Nguyen The N., Fauconnier T., Deleuze C., Bouvet A., 2001. Bilan des éléments minéraux des plantations clonales d'eucalyptus du sud de la France. Rapport AFOCEL 58 p.
- Nguyen The N., Maupu P., Gabrielle B., Vial E., , 2010. Life Cycle Analysis of Short Rotation Coppice through the example of eucalyptus and poplar for bioenergy in France. Proceedings of the 18th European Biomass Conference. Lyon 3-7 may 2010.