



**HAL**  
open science

## **LIGNOGUIDE : Guide d'aide au choix des cultures lignocellulosiques**

A. Besnard, Fabien Ferchaud, Frédéric Levrault, S. Marsac, Elodie Nguyen,  
Marie Laure Savouré

► **To cite this version:**

A. Besnard, Fabien Ferchaud, Frédéric Levrault, S. Marsac, Elodie Nguyen, et al.. LIGNOGUIDE : Guide d'aide au choix des cultures lignocellulosiques. [Rapport de recherche] auto-saisine. 2013. hal-01603736

**HAL Id: hal-01603736**

**<https://hal.science/hal-01603736>**

Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

triticale

miscanthus

switchgrass

fétuque

# LIGNOGUIDE

---

Guide d'aide au choix  
des cultures lignocellulosiques

peuplier

sorgho fibre

saule

luzerne

eucalyptus



# LIGNOGUIDE

---

Guide d'aide au choix  
des cultures lignocellulosiques





## Editorial

### **Le mot du chef de file du RMT Biomasse, Energie, Environnement et Territoire**

En 2008, 15 organismes nationaux et régionaux travaillant en faveur des filières biomasse décidaient de coordonner et d'unir leurs efforts au sein d'un Réseau Mixte Technologique (RMT\*). En 2010, 6 nouveaux venus viennent renforcer le réseau. Issus de la recherche, de la R&D, de la formation et du développement, ils font alors le pari qu'en mutualisant leurs compétences, ils pourront accélérer l'innovation dans ces filières naissantes. Le LIGNOGUIDE, pur produit du RMT Biomasse énergie, illustre parfaitement cette volonté interdisciplinaire de mettre à disposition du terrain les dernières avancées de la recherche. Cet outil vise à aider les acteurs des nouvelles filières à prendre des décisions efficaces et durables quant au choix des cultures dédiées à la biomasse. Fidèle aux priorités du RMT, il se veut complet, pratique et surtout modulaire. Il doit permettre au plus grand nombre d'accéder aux connaissances en fonction de ses propres questions. Ces trois ans de travail en réseau ont été rendus possibles grâce au soutien du CasDAR (Appel à projets Innovation 2009). C'est aussi la suite logique des projets REGIX (AAP bioénergie ANR 2005) et LIDEA (AAP Innovation CasDAR 2006), sans lesquels ce guide et peut-être même le RMT n'auraient pas vu le jour. Il représente la meilleure synthèse de ce que l'on sait en 2012-13 sur les cultures biomasse en France. Les connaissances évolueront encore forcément, mais espérons que ce guide permettra aux acteurs des filières biomasse, dès à présent, de partir sur de bonnes bases dans leur entreprise. Le dynamisme du développement de la biomasse agricole en France dépendra pour beaucoup de la réussite de ces projets pionniers.

**Jean-Pascal HOPQUIN**

Chef de file du RMT Biomasse et Territoires

\* Les Réseaux Mixtes Technologiques ont été promus à partir de 2008 par le Ministère de l'Agriculture pour encourager les synergies dans des domaines d'innovation nouveaux et stratégiques pour l'agriculture Française. Il en existe actuellement 27 en activité (17 dans le secteur agricole et forestier, 10 dans le secteur agroalimentaire).



# Introduction

## Contexte et objectifs

La lutte contre les émissions de gaz à effet de serre (GES) responsables du réchauffement climatique et la réduction de la dépendance aux ressources fossiles constituent les principales motivations du développement des énergies renouvelables (EnR). Dans ce contexte, le recours à la biomasse est encouragé par les politiques européennes et françaises, au-delà des actuels biocarburants de 1<sup>re</sup> génération. Malgré tout, le bois et les coproduits agricoles, agroalimentaires et forestiers ne suffiront pas à atteindre les objectifs de 23 % d'EnR en France en 2020. Pour atteindre cet objectif, les cultures lignocellulosiques sont donc amenées à se développer.

Pour répondre à cette demande en biomasse croissante, les organismes de développement (Chambres d'agriculture, Instituts techniques, association de développement et de transfert, coopérative et établissements de l'enseignement agricole) en association avec la recherche ont réuni leurs compétences pour capitaliser, simuler et expérimenter dans différentes zones géographiques pour optimiser la production sur le territoire (plus de 5 000 ha en France aujourd'hui).

Le choix du type de biomasse utilisé et du lieu de production influence fortement la durabilité des filières, notamment le bénéfice social et environnemental, et la sécurité de l'exploitant. Il apparaît aussi que ce choix est souvent peu réversible et basé sur les seuls critères technologiques et économiques.

Pour transférer les dernières connaissances sur les cultures ligno-cellulosiques et faciliter leur appropriation, le projet Lignoguide (CasDAR 2010-2012), fort de son réseau expérimental, a abouti à la constitution d'un guide d'aide au choix multicritères (production, environnement, économie, technique) à destination des agriculteurs, des porteurs de projets et responsables institutionnels et politiques. Il s'agit d'optimiser le choix des cultures énergétiques à mettre en place en fonction des exigences rencontrées localement.

### **Élodie NGUYEN**

Chef de projet LIGNOGUIDE  
Chargée de mission « Biomasse et Énergie »  
à la Chambre régionale d'agriculture de Picardie

# > Sommaire

<b>Partie I – Les cultures lignocellulosiques</b> .....	<b>8</b>
I.1 – Fiche par culture : résultats agronomiques, techniques et économiques.....	10
■ I.1-1 Fétuque.....	10
■ I.1-2 Luzerne.....	13
■ I.1-3 Miscanthus.....	16
■ I.1-4 Switchgrass .....	22
■ I.1-5 Sorgho fibre.....	27
■ I.1-6 Triticale.....	30
■ I.1-7 TtCR de Saule.....	33
■ I.1-8 TCR d'Eucalyptus .....	36
■ I.1-9 TCR de Peuplier.....	39
I.2 – Comparaison des cultures : tableau de synthèse .....	42
<b>Partie II – Potentialités et contraintes de sol et de climat dans les régions</b> .....	<b>46</b>
II.1 – Résultats des sites expérimentaux .....	48
II.2 – Éléments climatiques déterminants (pluie et évapotranspiration).....	80
■ II.2-1 Méthodologie.....	80
■ II.2-2 Zone « Centre-Nord » .....	84
■ II.2-3 Zone « Nord-Est » .....	88
■ II.2-4 Zone « Ouest » .....	90
■ II.2-5 Zone « Centre-Est » .....	92
■ II.2-6 Zone « Sud-Est » .....	95
■ II.2-7 Zone « Sud-Ouest » .....	97
II.3 – Estimations de production moyenne.....	102
<b>Partie III – Enjeux transversaux associés aux cultures lignocellulosiques</b> .....	<b>106</b>
III.1 – Part possible de la biomasse agricole dans les objectifs français sur les énergies renouvelables.....	108
III.2 – Production et consommation d'énergie par les cultures lignocellulosiques .....	114
III.3 – Impacts environnementaux des cultures lignocellulosiques .....	117
■ III.3-1 Impacts sur la quantité d'eau.....	117
■ III.3-2 Impacts sur la qualité de l'eau via le transfert de nitrate.....	119
■ III.3-3 Impacts sur la qualité de l'eau via le transfert de molécules phytosanitaires .....	122
■ III.3-4 Impacts sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) .....	127
III.4 – Dimension économique des cultures lignocellulosiques.....	131
■ III.4-1 Postes de charges – Mode de calcul.....	131
■ III.4-2 Comparaison du coût complet et du coût cash - Exemple .....	132
■ III.4-3 Comparaison des coûts complets entre espèces.....	133



III.5 – Autres indicateurs techniques .....	135
■ III.5-1 Balance globale azotée .....	135
■ III.5-2 Consommation de carburant.....	136
■ III.5-3 Temps de travail.....	137
III.6 – Présentation des indicateurs par zone géographique.....	138
<b>Partie IV – Réalisations opérationnelles et état des lieux.....</b>	<b>152</b>
IV.1 – Réalisations opérationnelles.....	154
■ IV.1-1 Du miscanthus pour la déshydratation de luzerne.....	154
■ IV.1-2 Body Nature se chauffe au miscanthus et au taillis à très courte rotation .....	158
■ IV.1-3 Du miscanthus sous les sabots des chevaux .....	161
■ IV.1-4 Du sorgho pour optimiser la production de biogaz .....	166
■ IV.1-5 Le TtCR de Saule valorise les boues de station d'épuration .....	170
■ IV.1-6 TCR d'eucalyptus : Fibre Excellence .....	174
IV.2 – Etat des lieux des surfaces cultivées et des sites de valorisation en France.....	178
■ IV.2-1 Surfaces cultivées en France.....	178
■ IV.2-1 Nombre de sites de valorisation de cultures lignocellulosiques en France .....	179
<b>Partie V – Structures impliquées et projets de recherche et développement .....</b>	<b>180</b>
V.1 – Structures impliquées dans la promotion, la production ou l'utilisation de cultures lignocellulosiques.....	182
■ V.1-1 Interlocuteurs au niveau national.....	182
■ V.1-2 Interlocuteurs de la zone « Centre-Nord » .....	183
■ V.1-3 Interlocuteurs de la zone « Nord-Est » .....	185
■ V.1-4 Interlocuteurs de la zone « Ouest » .....	186
■ V.1-5 Interlocuteurs de la zone « Centre-Est » .....	187
■ V.1-6 Interlocuteurs de la zone « Sud-Est » .....	188
■ V.1-7 Interlocuteurs de la zone « Sud-Ouest » .....	189
V.2 – Projets de recherche et développement.....	190
Liste des acronymes utilisés.....	202
Glossaire .....	203
Annexes .....	207
Annexe 1 : Références bibliographiques.....	207
Annexe 2 : itinéraires techniques pris en compte pour le calcul des différents indicateurs techniques, économiques et environnementaux. Les fertilisations, irrigations et rendements ont été adaptées à chacun des contextes pédoclimatiques .....	210

# PARTIE I – LES CULTURES LIGNOCELLULOSIQUES

Cette partie présente les résultats agronomiques, techniques et économiques de 11 cultures lignocellulosiques. Il s'agit d'espèces déjà présentes en France, pour lesquelles les références sont jugées consolidées et ayant un potentiel de développement intéressant.

Les surfaces actuellement cultivées en France – dédiées à la production de biomasse – sont encore modestes : quelques milliers d'hectares au maximum, comme dans le cas du miscanthus. Les données présentées ici sont issues du réseau expérimental déployé dans le cadre de ce projet, mais également de travaux antérieurs au projet LIGNOGUIDE.

Les données présentées dans cette partie ont été obtenus dans des conditions culturales précises. Leur utilisation dans des contextes de sol et de climat divers doit être assortie des précautions d'usage.

## I.1 – Fiches par culture

*Rédacteurs : Marie-Laure SAVOURÉ (Agro-Transfert, Ressources et Territoires), Alain BESNARD (Arvalis, Institut du végétal), Elodie NGUYEN (Chambre Régionale d'agriculture de Picardie), Fabien FERCHAUD (INRA Unité Agro-Impact)*

Neuf espèces sont présentées : le triticale, le sorgho fibre, la fétuque, la luzerne, le miscanthus, le switchgrass, le saule (TtCR), le peuplier et l'eucalyptus (TCR). Pour chacune d'entre elles, des points marquants de leur conduite culturale sont rappelés, ainsi que leur productivité et des aspects économiques et environnementaux.

## I.2 – Comparaison des cultures

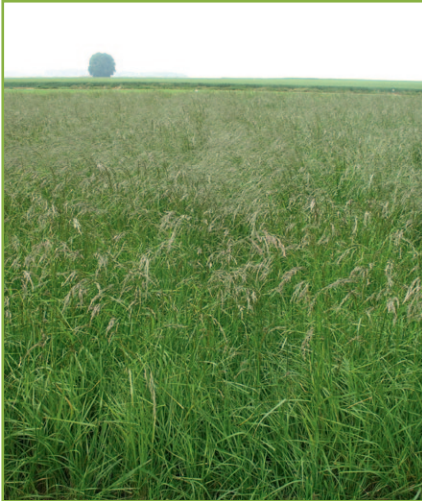
*Rédacteurs : Marie-Laure SAVOURÉ (Agro-Transfert, Ressources et Territoires), Alain BESNARD et Sylvain MARSAC (Arvalis, Institut du végétal), Elodie NGUYEN (Chambre Régionale d'agriculture de Picardie), Fabien FERCHAUD (INRA Unité Agro-Impact)*

Pour faciliter l'aide au choix parmi les espèces étudiées, un tableau de comparaison des espèces est proposé, portant successivement sur des critères techniques, économiques ou environnementaux.

# I.1 - Fiches par culture

Fiche espèces pérennes

## LA FETUQUE



© C. CZERYBA/AGT-FRT

### Origine, présentation

La fétuque élevée est une graminée, actuellement cultivée pour la production fourragère. L'espèce la plus couramment utilisée est *Festuca arundinacea* Schreber. Il existe de nombreuses variétés.

### Utilisations

La fétuque peut être utilisée en sec pour la combustion et en vert pour la méthanisation. Elle est également une candidate intéressante pour la production de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération et pour la méthanisation.

Combustion	Méthanisation	Biocarburant de 2 <sup>de</sup> génération
Récolte « en sec »	Récolte « en vert »	

■ Valorisation(s) envisagée(s) la plus probable

■ Valorisation difficile

## Atouts et facteurs limitants

### // Atouts

- bonne adaptation à des milieux divers
- supporte des températures élevées
- potentiel de production important
- récolte possible sans matériel spécifique
- culture pluriannuelle (6 à 10 ans)
- présence d'un couvert au cours de l'hiver

### // Contraintes

- implantation délicate (lenteur de la levée)
- besoins en azote assez élevés
- masse volumique faible du produit en vrac

## Éléments de conduite culturale

La fétuque élevée accomplit plusieurs cycles de production au cours de l'année : le premier (du printemps jusqu'au début de l'été) est un cycle reproducteur, avec production de tiges et d'inflorescences. Les repousses suivantes ne sont que feuillues. Pour valoriser au mieux la productivité de la fétuque, il est nécessaire de procéder à plusieurs récoltes dans l'année (2 à 3), après floraison.

## L'implantation

Le semis s'effectue en surface (entre 0,5 et 1 cm), sur un lit de semences très émietté, bien rattaché et sans discontinuité en profondeur (comparable au semis de prairie). Le semis peut être réalisé au printemps ou en fin d'été selon le précédent et sa date de récolte. Le semis de fin d'été (fin août/début septembre) présente les meilleures chances de réussite. Dans les deux cas, la levée est lente (3 semaines). Dans le cas d'un semis au printemps, la production en première année ne sera que la moitié d'une production normale.

## La gestion des adventices

Plusieurs faux semis préalables au semis, puis une gestion des adventices pendant la levée de la fétuque peuvent être nécessaires. Une fois installée, la fétuque exerce une concurrence importante vis-à-vis des adventices.

## La fertilisation

Compte tenu du mode d'exploitation, la fertilisation azotée est à apporter en priorité sur le premier cycle (printemps), puis après chaque coupe. La fertilisation nécessaire est de l'ordre de 120 à 150 kg N/ha. Une fertilisation phosphatée et potassique peut être nécessaire.

## La récolte

Pour obtenir un produit sec le mode de récolte est identique à la récolte d'un foin : fauchage, andainage, pressage et stockage à l'abri. Le produit récolté a une densité faible. En cas de récolte humide, la biomasse est stockée sous forme d'ensilage, avec une densité plus importante.

Pour maximiser la production de matière sèche la première exploitation est réalisée vers la mi-juin après la floraison. De bonnes conditions de pousses estivales permettent d'effectuer une deuxième exploitation au cours de l'été, puis une troisième en automne.

### Association fétuque/luzerne

*La fétuque peut être conduite en association avec la luzerne.*

*La conduite culturale est similaire. La fertilisation azotée peut être diminuée.*

## Productivité et adaptation au milieu

Le délai d'entrée en production est d'un an après un semis de printemps ou de 6 mois après un semis de fin d'été.

Dès la 2<sup>e</sup> année et en situation favorable (sol profond et sain, bonne alimentation en eau), la productivité est de 10 à 15 t MS/ha, avec un taux de MS faible (30 à 35 %). Une fois implantée, la culture peut être exploitée pendant 6 à 10 ans.

La fétuque s'adapte facilement à des milieux divers en matière de pluviométrie, et dispose d'une bonne tolérance aux températures relativement élevées. Toutefois elle a une préférence pour les terres profondes et saines. Son système racinaire profond permet une pousse estivale élevée pour une graminée et son zéro de végétation bas lui permet d'avoir une longue saison de végétation.

## Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	287 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques types
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise)	286 €/ha	

## Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
Fétuque	65 à 70 %	17,17 MJ/kg	- %	- °C

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

La fétuque a un fonctionnement proche d'une prairie fauchée avec un long cycle de végétation et possède un système racinaire qui lui permet de prélever de l'eau en profondeur. Celle-ci pourrait donc avoir une consommation en eau supérieure à celle des cultures annuelles.

### Impacts sur l'eau : nitrate

De faibles pertes d'azote par lixiviation sont attendues sous fétuque, par analogie avec les faibles niveaux de perte observés sous des prairies fauchées.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

La fétuque nécessite peu d'apports de produits phytosanitaires. La pression phytosanitaire liée aux pratiques est donc faible, voire nulle (cas des calculs réalisés à partir des itinéraires techniques type élaborés dans LIGNOGUIDE, sans traitement phytosanitaire).

### Production et consommation d'énergie

La production de la fétuque est fortement consommatrice d'énergie par rapport à d'autres cultures ligno-cellulosiques, en raison de ses besoins en fertilisant azoté et sa fréquence de récolte élevée. La production d'énergie est cependant nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES de la fétuque sont assez élevées (supérieures à 2000 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE), principalement du fait de ses besoins en fertilisant azoté.

Fiche espèces pérennes

# LA LUZERNE



© C. CZERYBA/AGTRT

## Origine, présentation

La luzerne est une légumineuse pluriannuelle, cultivée pour la production fourragère ou pour la deshydratation. Les variétés cultivées sont des hybrides entre les espèces *Medicago sativa* L. et *Medicago falcata* L.

## Utilisations

La luzerne est actuellement utilisée pour l'alimentation animale.

Elle est également une candidate intéressante pour la production de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération et pour la méthanisation.

Combustion	Méthanisation	Biocarburant de 2 <sup>de</sup> génération
A valider pour une récolte « en vert »	A valider pour une récolte « en vert »	

■ Valorisation(s) envisagée(s) la plus probable

□ Valorisation à valider

## Atouts et facteurs limitants

### // Atouts

- aucune fertilisation azotée nécessaire
- bonne résistance à la sécheresse
- potentiels de production connus et réguliers (plusieurs récoltes dans l'année)
- récolte possible sans matériel spécifique
- culture pluriannuelle facile à insérer dans la rotation
- très bon précédent cultural
- présence d'un couvert au cours de l'hiver

### // Contraintes

- nécessite un sol sain avec si possible un pH proche de la neutralité
- sensibilité à la verse
- masse volumique faible du produit en vrac
- peu de débouchés actuels pour une valorisation non alimentaire de la biomasse

## Éléments de conduite culturale

La plante pousse d'avril à octobre en plusieurs cycles de production. Une fois implantée, la culture peut être exploitée pendant 3 à 6 ans.

### L'implantation

Le semis s'effectuera au printemps avec un semoir à céréales classique (entre le 1<sup>er</sup> et le 20 avril) ou en été, selon le précédent et sa date de récolte. La dose de semis conseillée est de 20 kg/ha au printemps, 25 kg/ha en été.

### La gestion des adventices

La luzerne est très sensible à la concurrence des adventices au stade plantule. Un désherbage à la levée doit viser les adventices très concurrentielles. En culture installée, un désherbage sera nécessaire chaque hiver au cours du repos végétatif.

### La fertilisation

Aucune fertilisation azotée n'est nécessaire grâce à la capacité de la plante à utiliser l'azote de l'air (fixation symbiotique). Par contre, la luzerne a des besoins importants en phosphore et potassium. Une fertilisation pour compenser les exportations peut donc s'avérer nécessaire.

### La récolte

Pour obtenir un produit sec, le mode de récolte préférentiel est identique à la récolte d'un foin. Une fauche au printemps pour une déshydratation peut être envisagée si les conditions de stockage et les voies de valorisation sont optimisées.

Le choix variétal permet de limiter les maladies, les attaques de ravageurs et la sensibilité à la verse.

## Productivité et adaptation au milieu

Pour optimiser la production de la luzerne, il est nécessaire de procéder à plusieurs récoltes dans l'année, après chaque floraison. Dès la deuxième année, la productivité attendue est de l'ordre de 10 à 12 t de MS/ha/an en conditions pédo-climatiques favorables.

La luzerne s'adapte facilement à différents pédo-climats, elle donnera toutefois les meilleurs rendements en terres profondes et saines, sans obstacles à son enracinement, dans les sols dont le pH est supérieur à 6,5.

### Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	130 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques types
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise)	523 €/ha	

### Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
Luzerne	65 à 75 %	16,8 MJ/kg	10,9 %	810 °C

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

La luzerne a un fonctionnement proche d'une prairie fauchée et possède un système racinaire qui lui permet de prélever de l'eau en profondeur. Une réduction du drainage sous luzerne par rapport à une rotation de cultures annuelles a déjà été observée expérimentalement. Celle-ci pourrait donc avoir une consommation en eau supérieure à celle des cultures annuelles.

### Impacts sur l'eau : nitrate

De faibles pertes d'azote par lixiviation ont aussi été observées sous luzerne, en effet, cette culture prélève efficacement l'azote du sol, et de manière prioritaire par rapport à la fixation symbiotique.



### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

La luzerne nécessite peu d'apports de produits phytosanitaires. La pression phytosanitaire liée aux pratiques est donc faible, voire nulle (cas des calculs réalisés à partir des itinéraires techniques types élaborés dans LIGNOGUIDE, sans traitement phytosanitaire).

### Production et consommation d'énergie

La consommation énergétique liée aux engrais est très faible pour la luzerne, en raison de l'absence de fertilisation azotée. Par contre, la fréquence de récolte élevée (3 fois par an) implique une consommation de carburant importante, représentant près de 75 % de la consommation totale d'énergie. La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation (rapport de 1 à 40).

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

La luzerne possède un très faible niveau d'émission de GES par hectare (inférieur à 500 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). En effet, les émissions liées à la fertilisation sont très faibles pour cette culture (pas d'apport de fertilisants azotés). Les émissions liées à l'utilisation de carburant représentent le poste le plus important en raison de la fréquence élevée de coupes.

## Fiche espèces pérennes

## LE MISCANTHUS

**Origine, présentation**

Le miscanthus est une graminée en C4 avec une forte productivité, originaire d'Asie. Le génotype utilisé pour la production de biomasse (*Miscanthus x giganteus*) est un hybride stérile entre deux espèces naturelles.

**Utilisations**

L'utilisation énergétique actuelle la plus importante est la combustion. En raison de son pouvoir absorbant plus important que celui de la paille, le miscanthus est aussi très utilisé pour la constitution de litière pour les animaux. Il reste néanmoins candidat pour la fabrication de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération.

Combustion	Méthanisation	Biocarburant de 2 <sup>nd</sup> e génération
Récolte « en sec » en sortie d'hiver	A valider pour une récolte « en vert »	

■ Valorisation(s) envisagée(s) la plus probable

■ Valorisation à valider

**Atouts et facteurs limitants**

## // Atouts

- potentiel de productivité important en situation pédoclimatique favorable
- récolte d'un produit sec (en fin d'hiver) directement utilisable en combustion
- culture pérenne (au moins 15 ans)
- besoins modérés de fertilisation (azoté, phosphore, potassium)
- peu de protection phytosanitaire, essentiellement les 2 premières années
- stockage de carbone dans les rhizomes
- peu d'interventions sur la culture en pleine production
- présence d'un couvert au cours de l'hiver

## // Contraintes

- implantation coûteuse (rhizomes et main d'œuvre) nécessitant un matériel spécifique et conditionnant la réussite de la culture
- très sensible à la concurrence des adventices en 1<sup>e</sup> et 2<sup>e</sup> année
- entrée en production 2 à 3 ans après l'implantation
- productivité très liée aux conditions pédoclimatiques, avec une assez forte sensibilité au stress hydrique
- nécessité d'une bonne portance du sol pour la récolte de fin d'hiver
- masse volumique faible du produit en vrac
- destruction et remise en état de la parcelle à prévoir en fin de culture

## Éléments de conduite culturale

### Le choix de la parcelle<sup>1</sup>

Le miscanthus peut se cultiver sur une large gamme de sols, hormis les sols hydromorphes, marécageux, caillouteux et de craie superficiels. Il a un enracinement profond qui valorisera les sols profonds et bien alimentés en eau. Par ailleurs, l'accessibilité à la parcelle devra être compatible avec le chantier de récolte.

### L'implantation

La plantation s'effectue en mars-avril, quand le sol est ressuyé, les risques de fortes gelées sont passés et le sol atteint une température de 8 à 10° C. L'objectif de peuplement est compris entre 10 et 15 000 pieds/ha. Compte tenu d'un taux de reprise compris entre 50 et 80 %, les fragments de rhizomes sont implantés à raison de 15 à 20 000/ha.

Les débits de chantier (y compris le temps de préparation et de réapprovisionnement) vont de 1 h/ha avec une planteuse spécifique semi-automatique à 6-7 h/ha avec une planteuse maraîchère.

### La gestion des adventices<sup>2</sup>

Pour réussir l'implantation et obtenir une bonne densité, il est nécessaire d'implanter sur une parcelle bien dés herbée. Des interventions de dés herbage mécanique et/ou chimique sont indispensables en 1<sup>re</sup> année et 2<sup>e</sup> année.

### La fertilisation

Aucune fertilisation n'est nécessaire tant que la culture n'est pas entrée en pleine production. Les années suivantes, les besoins en azote, phosphore et potassium sont modérés dans le cas d'une récolte en fin d'hiver. La fertilisation doit être raisonnée de manière à compenser les exportations en N, P et K de la biomasse récoltée.

#### › Exportations en N-P-K

	Récolte en automne		Récolte en fin d'hiver	
	Teneur dans la biomasse exportée *	Quantité exportée annuellement **	Teneur dans la biomasse exportée *	Quantité exportée annuellement **
N	5,0 g N/kg MS	101 kg N/ha	2,1 g N/kg MS	29 kg N/ha
P	0,9 g P/kg MS	19 kg P/ha	0,5 g N/kg MS	7 kg N/ha
K	8,4 g K/kg MS	139 kg K/ha	3,3 g N/kg MS	45 kg N/ha

\* Valeur médiane calculée sur 19 analyses en automne et 20 analyses en fin d'hiver

\*\* Exportations calculées dans le cas d'un rendement de 20 tMS/ha/an en automne et de 14tMS/ha/an en fin d'hiver (valeurs médianes sur le réseau LIGNOGUIDE)

Sources : Analyses de la biomasse récoltée en fin d'hiver, en 2010, 2011 et 2012, sur le réseau expérimental LIGNOGUIDE

### La récolte

Le mode de récolte préférentiel est la récolte en sec en fin d'hiver, notamment pour une valorisation thermo chimique. Le matériel utilisé est soit une ensileuse, soit une faucheuse et une presse pour obtenir un produit plus dense. Une récolte en vert à l'automne, sous forme d'ensilage, est également possible mais demande des adaptations de fertilisation voire de dés herbage et pourrait réduire la pérennité de la culture.

1 Fiche « L'implantation du miscanthus » téléchargeable sur [www.rmtbiomasse.org](http://www.rmtbiomasse.org)

2 Fiche « Le dés herbage du miscanthus et du switchgrass » téléchargeable sur [www.rmtbiomasse.org](http://www.rmtbiomasse.org)

## La destruction ou remise en culture de la parcelle

La destruction s'effectue de juin à août. La première étape consiste à récolter ou broyer la biomasse aérienne. L'objectif est d'épuiser les réserves du rhizome, qui sont à leur plus faible niveau mi-juin. Dès le redémarrage des rhizomes, il est préconisé d'opérer mécaniquement en utilisant un rotavator qui permet de détruire les repousses et de fractionner le rhizome. Un double passage de rotavator permet de dessécher ou épuiser les rhizomes puis laisse un sol bien nivelé et peu de repousses sont observées sur la parcelle en été.

Après l'apparition de nouvelles repousses (fin juillet/août), on pourra poursuivre la destruction mécanique avec 1 à 2 passages de chisel, afin de remonter les fragments de rhizomes à la surface du sol, ou compléter la destruction mécanique par un traitement chimique (avec un dés herbant total de type glyphosate). Dans les deux cas, peu de repousses sont observées à l'automne. Le semis pourra alors s'envisager après un léger nivellement à l'aide de disques et en utilisant un semoir direct ou rapide.

## Productivité et adaptation au milieu

### Rendement atteignable

Après implantation, la productivité de la culture augmente au cours des premières années. L'entrée en production réelle dépend de la qualité d'implantation et des conditions pédoclimatiques. Elle est attendue en 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> année.

A noter : Les rendements atteignables en grandes parcelles seront inférieurs aux rendements biologiques indiqués dans le tableau ci-contre.

#### › Estimation du rendement biologique atteignable à partir de la 3<sup>e</sup> année

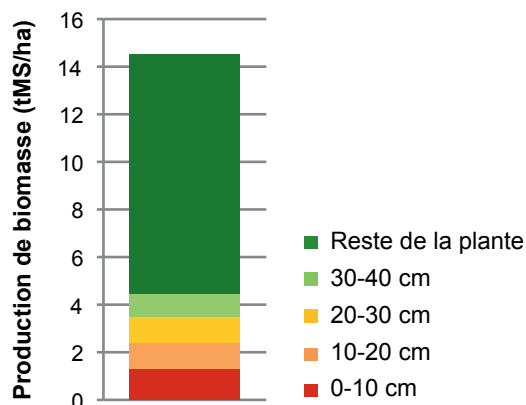
	Récolte « en sec » en fin d'hiver	Récolte « en vert » en automne
<b>En conditions favorables :</b> Sol profond avec une bonne alimentation en eau, PH compris entre 5.5 et 8	15 à 25 tMS/ha	25 à 35 tMS/ha
<b>En conditions moins favorables :</b> Alimentation en eau insuffisante	7 à 12 tMS/ha	10 à 18 tMS/ha
<b>Sur les sites LIGNOGUIDE</b>	9 à 25 tMS/ha	9 à 35 tMS/ha

Entre l'automne et la fin d'hiver, les feuilles et une partie des panicules chutent et les éléments minéraux migrent vers les rhizomes, ce qui se traduit par une perte de biomasse aérienne. Sur le réseau LIGNOGUIDE, une perte de rendement de 31 % est constatée. Les tiges représentent en fin d'hiver 85 à 95 % de la biomasse récoltée.

## Effet de la hauteur de coupe sur le rendement

La hauteur de coupe à la récolte aura un effet déterminant sur le rendement en biomasse, mais devra laisser le mulch de feuilles et panicules au sol pour ne pas prélever de minéraux, préjudiciables aux valorisations énergétiques de la biomasse. Le bon compromis semble être une hauteur de coupe comprise entre 15 et 20 cm.

### › Répartition de la production de biomasse en fin d'hiver dans les sections de tiges



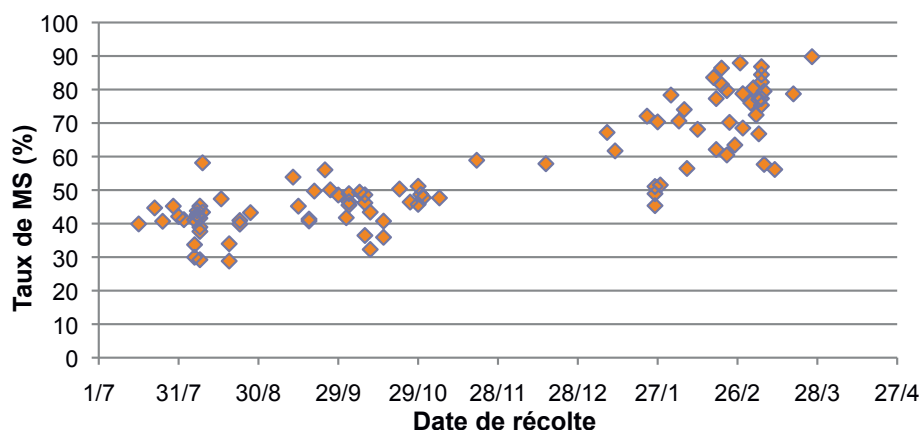
Sources : Mesures réalisées en 2011 sur le réseau expérimental LIGNOGUIDE

## Evolution de la teneur en matière sèche de la biomasse

La biomasse aérienne se dessèche au cours de l'automne et de l'hiver. En moyenne :

- 46 % de MS pour une récolte entre le 15/09 et le 30/10
- 75 % de MS pour une récolte en février ou mars

### › Teneur en matière sèche en fonction de la date de récolte de la biomasse



Sources : Résultats des sites expérimentaux LIGNOGUIDE et REGIX (ANR 2006-2009)

## Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	254 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques types
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise)	168 €/ha	

## Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
Miscanthus plante entière récolté « en sec » en fin d'hiver (produit vrac récolté à l'ensileuse)	15 à 25 %	18,5 MJ/kg	3,5 à 5 %	840° C

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

De par son développement racinaire important, sa surface foliaire élevée et son long cycle de végétation, le miscanthus pourrait avoir une consommation en eau supérieure aux cultures annuelles. Cependant, cet effet est encore mal quantifié.

### Impacts sur l'eau : nitrate

De faibles pertes de nitrate en phase de production sont observées, grâce à de faibles apports et à une bonne valorisation de l'azote du sol par la culture. Les observations réalisées sur le réseau LIGNOGUIDE montrent en effet des reliquats d'azote à l'automne assez faibles. La majeure partie des pertes est occasionnée lors des premières années suivant l'installation du miscanthus, probablement du fait du développement réduit de la culture en première année. Des mesures préventives devront être mises en place pour limiter ces pertes (couverture du sol pendant l'automne précédant l'installation, pas de fertilisation en première année...).

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

La conduite du miscanthus comporte peu d'intrants phytosanitaires après la phase d'implantation. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur mettent en avant une pression particulièrement faible avec notamment un IFT moyen de 0.4 sur un cycle de 15 ans de culture de miscanthus (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques type élaborés dans LIGNOGUIDE).

## Production et consommation d'énergie

La production du miscanthus consomme peu d'énergie, en raison d'une moindre fertilisation, de l'absence de travail du sol annuel et de l'amortissement des opérations d'implantation et de destruction sur l'ensemble de la durée de vie de la culture. La consommation en carburant représente près de 50% des consommations d'énergie (essentiellement pour la récolte). La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation.

## Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES au cours de l'étape de production de biomasse sont fortement liées aux intrants fossiles utilisés et en particulier à la fertilisation azotée. Grâce à ses besoins réduits en intrants azotés, le miscanthus a ainsi de faibles niveaux d'émission de GES par hectare (inférieurs à 1 000 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). De plus, la culture de miscanthus pourrait permettre d'augmenter le stockage de carbone dans les sols. La prise en compte de ce stockage devrait encore améliorer le bilan GES.

## Fiche espèces pérennes

## LE SWITCHGRASS



© C. CZERYBA/AGT-RT

**Origine, présentation**

Le switchgrass ou panic érigé (*Panicum virgatum* L.) est une graminée originaire d'Amérique du Nord. Les variétés implantées en France pour leur productivité en biomasse sont Kanlow et Cave-in-Rock.

**Utilisations**

L'utilisation actuelle la plus importante est la combustion. Il est également candidat pour la production de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération.

Combustion	Méthanisation	Biocarburant de 2 <sup>de</sup> génération
Récolte « en sec » en sortie d'hiver	A valider pour une récolte « en vert »	

■ Valorisation(s) envisagée(s) la plus probable

■ Valorisation à valider

**Atouts et facteurs limitants**

## // Atouts

- potentiel de production important
- bonne adaptation à différents pédo-climats
- récolte d'un produit sec (en fin d'hiver) directement utilisable en combustion
- culture pérenne (au moins 10 ans)
- besoins en fertilisation modérés
- peu de protection phytosanitaire
- pas de matériel spécifique pour le semis et la récolte
- peu d'interventions sur la culture en pleine production
- présence d'un couvert au cours de l'hiver

## // Contraintes

- implantation délicate (difficultés de germination et de levée)
- forte sensibilité à la concurrence des adventices en 1<sup>re</sup> année
- entrée en pleine production 2 ans après l'implantation
- nécessité d'une bonne portance de la parcelle pour la récolte de fin d'hiver
- masse volumique faible du produit en vrac
- destruction et remise en état de la parcelle à prévoir en fin de culture

**Éléments de conduite culturale****Le choix de la parcelle**

Le switchgrass peut se cultiver sur une large gamme de sols, hormis les sols hydromorphes, caillouteux et les sols de craie superficiels. Néanmoins, le type de sol reste un élément déterminant de la production. Avec son enracinement profond, le switchgrass valorisera les sols profonds et bien



alimentés en eau. Il semble plus tolérant aux terres séchantes que le miscanthus. Par ailleurs, l'accessibilité à la parcelle devra être compatible avec le chantier de récolte.

### L'implantation<sup>1</sup>

Le semis s'effectue courant mai, lorsque la température du sol atteint 15° C. Les graines de switchgrass étant très petites (PMG de 0.9 à 1.9 g selon les variétés), le sol doit être préparé finement, ré-appuyé et sans discontinuité en profondeur. Le semis est réalisé à faible profondeur (de 0.5 à 1 cm) avec un semoir à céréales classique, suivi d'un roulage. Le switchgrass se sème à une densité de 10 à 12 kg/ha de semences viables.

### La gestion des adventices<sup>2</sup>

Pour réussir l'implantation et obtenir une bonne densité, il est nécessaire d'implanter dans de bonnes conditions et sur une parcelle bien désherbée. Plusieurs faux semis peuvent être nécessaires. Des interventions de désherbage mécanique et/ou chimique sont indispensables en 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> année pour maîtriser les adventices.

### La fertilisation

Aucune fertilisation n'est nécessaire tant que la culture n'est pas entrée en pleine production (durant les 2 premières années). Les années suivantes, les besoins en azote, phosphore et potassium sont modérés dans le cas d'une récolte en fin d'hiver. La fertilisation peut être raisonnée de manière à compenser les exportations en N, P et K de la biomasse récoltée.

#### › Exportations en N-P-K

	Récolte en automne		Récolte en fin d'hiver	
	Teneur dans la biomasse exportée *	Quantité exportée annuellement **	Teneur dans la biomasse exportée *	Quantité exportée annuellement **
N	5,0 g N/kg MS	59 kg N/ha	3,6 g N/kg MS	36 kg N/ha
P	1,3 g P/kg MS	15 kg P/ha	0,6 g P/kg MS	6 kg P/ha
K	8,4 g K/kg MS	100 kg K/ha	1,9 g K/kg MS	19 kg K/ha

\* Valeur médiane calculée sur 20 analyses en automne et 23 analyses en fin d'hiver.

\*\* Exportations calculées dans le cas d'un rendement de 12 tMS/ha/an en automne et de 10 tMS/ha/an en fin d'hiver (valeurs médianes sur le réseau LIGNOGUIDE).

Sources : Analyses de la biomasse récoltée en fin d'hiver, en 2010, 2011 et 2012, sur le réseau expérimental LIGNOGUIDE

### La récolte

Le mode de récolte préférentiel est la récolte en sec en fin d'hiver, notamment pour un débouché en combustion. Le matériel utilisé est soit une ensileuse, soit une faucheuse et une presse pour obtenir un produit plus dense. Une récolte en vert à l'automne, sous forme d'ensilage, est également possible mais demande des adaptations de fertilisation voire de désherbage et pourrait réduire la pérennité de la culture.

### La destruction ou remise en culture de la parcelle

La destruction s'effectue de juin à août. La première étape consiste à récolter ou broyer la biomasse aérienne. L'objectif est d'épuiser les réserves souterraines, qui sont à leur niveau le plus faible mi-juin. Dès redémarrage de la culture en juillet, il est préconisé d'opérer mécaniquement en utilisant un rotavator qui permet de détruire les repousses et de fractionner les organes souterrains. Le switchgrass s'avère plus sensible que le miscanthus à la destruction mécanique et peu de repousses sont donc attendues après ce passage.

En cas de nouvelles repousses (fin juillet/août), on pourra poursuivre la destruction mécanique avec un passage de chisel ou compléter la destruction mécanique par un traitement chimique

1 Fiche « L'implantation du switchgrass » téléchargeable sur [www.rmtbiomasse.org](http://www.rmtbiomasse.org)

2 Fiche « Le désherbage du miscanthus et du switchgrass » téléchargeable sur [www.rmtbiomasse.org](http://www.rmtbiomasse.org)

(avec un désherbant total de type glyphosate). Dans les deux cas, quasiment aucune repousse n'est observée à l'automne.

## Productivité et adaptation au milieu

### Rendement atteignable

Après implantation, la productivité de la culture augmente au cours des premières années. L'entrée en production réelle dépend de la qualité d'implantation de la culture et des conditions pédoclimatiques. Elle est attendue en 2<sup>e</sup> année.

A noter : Les rendements atteignables en grandes parcelles seront inférieurs aux rendements biologiques indiqués dans le tableau ci-dessous.

#### › Estimation du rendement atteignable à partir de la 2<sup>e</sup> année

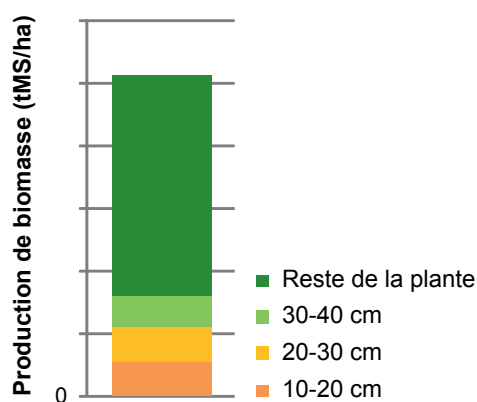
	Récolte « en sec » en fin d'hiver	Récolte « en vert » en automne
<b>En conditions favorables :</b> Sol profond avec une bonne alimentation en eau, PH compris entre 5.5 et 8	10 à 20 tMS/ha	15 à 25 tMS/ha
<b>En conditions défavorables :</b> Alimentation en eau insuffisante	7 à 12 tMS/ha	10 à 20 tMS/ha
<b>Sur les sites LIGNOGUIDE</b>	3 à 23 tMS/ha	3 à 22 tMS/ha

Entre l'automne et la fin d'hiver, la mise en réserve des éléments minéraux dans les rhizomes se traduit par une perte de biomasse aérienne. Sur le réseau LIGNOGUIDE, une perte de rendement de 25% est constatée entre ces deux dates. Les tiges représentent en fin d'hiver 47 à 88% de la biomasse récoltée.

### Effet de la hauteur de coupe sur le rendement

La hauteur de coupe à la récolte aura un effet déterminant sur le rendement en biomasse, avec un gain d'environ 1 à 1.1 tMS/ha en diminuant de 10 cm la hauteur de coupe.

#### › Répartition de la production de biomasse en fin d'hiver dans les sections de tiges



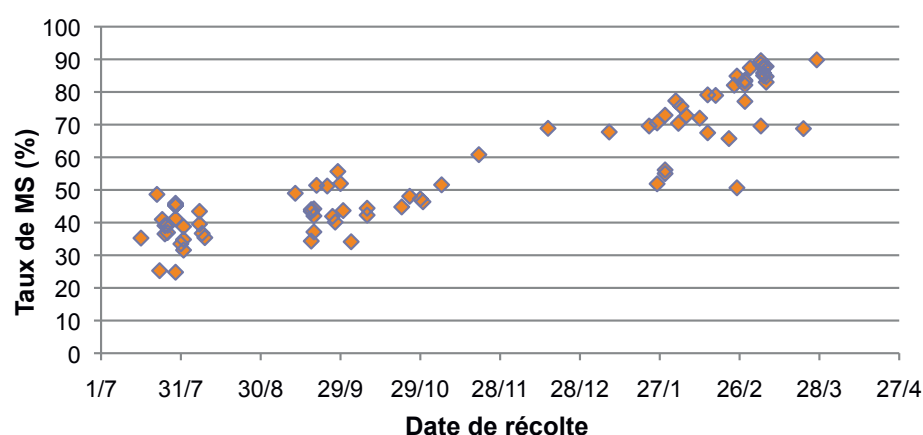
Sources : Mesures réalisées en 2011 sur le réseau expérimental LIGNOGUIDE

## Evolution de la teneur en matière sèche de la biomasse

La biomasse aérienne se dessèche au cours de l'automne et de l'hiver. En moyenne :

- 45 % de MS pour une récolte entre le 15/09 et le 30/10 ;
- 78 % de MS pour une récolte en février ou mars (variété Kanlow).

### › Teneur en matière sèche en fonction de la date de récolte de la biomasse



Sources : Résultats des sites expérimentaux LIGNOGUIDE et REGIX (ANR 2006-2009)

## Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	100 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques type
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise)	143 €/ha	

## Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
Switchgrass plante entière récolté « sec »	30%	18,5 MJ/kg	3,5 à 4,8%	- °C

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

De par son développement racinaire important, sa surface foliaire élevée et son long cycle de végétation, le switchgrass pourrait dans certaines situations avoir une consommation en eau supérieure aux cultures annuelles. Cependant, cet effet est encore mal quantifié.

### Impacts sur l'eau : nitrate

De faibles pertes de nitrate en phase de production sont observées, grâce à de faibles apports et à une bonne valorisation de l'azote du sol par la culture. Les observations réalisées sur le réseau

LIGNOGUIDE montrent en effet des reliquats d'azote à l'automne assez faibles. Du fait du développement réduit de la culture en première année, les pertes pourraient être plus élevées la ou les premières années suivant l'installation, mais on ne dispose pas actuellement de référence pour les quantifier.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

La conduite du switchgrass comporte peu d'intrants phytosanitaires après la phase d'implantation. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur mettent en avant une pression particulièrement faible avec notamment un IFT moyen de 0.2 sur un cycle de 15 ans de culture de switchgrass (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques types élaborés dans LIGNOGUIDE).

### Production et consommation d'énergie

La production du switchgrass consomme peu d'énergie, en raison d'une moindre fertilisation, de l'absence de travail du sol annuel et de l'amortissement des opérations d'implantation et de destruction sur l'ensemble de la durée de vie de la culture. La consommation en carburant représente près de 40% des consommations d'énergie (essentiellement pour la récolte). La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES au cours de l'étape de production de biomasse sont fortement liées aux intrants fossiles utilisés et en particulier à la fertilisation azotée. Grâce à ses besoins réduits en intrants azotés, le switchgrass a ainsi de faibles niveaux d'émission de GES par hectare (inférieurs à 1 000 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). De plus, la culture de switchgrass pourrait permettre d'augmenter le stockage de carbone dans les sols. La prise en compte de ce stockage devrait encore améliorer le bilan GES.

Fiche espèces annuelles

# LE SORGHO FIBRE



©Chambre d'agriculture

## Origine, présentation

Les sorghos (*Sorghum bicolor* (L) Moench) sont des graminées en C4 d'origine tropicale présentant une grande variabilité génotypique et phénotypique. Différents types de sorghos existent : sorgho grain, sorgho fourrager, sorgho sucrier, sorgho fibre. Ce sont des cultures annuelles d'été.

## Utilisations

Le sorgho fibre est préférentiellement valorisé en vert, en méthanisation. Il est également candidat pour la production de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération. Dans le sud de la France exclusivement, la récolte de paille est possible.

Combustion	Méthanisation	Biocarburant de 2 <sup>nd</sup> e génération
Récolte de paille possible exclusivement dans le sud de la France		

■ Valorisation(s) envisagée(s) la plus probable

■ Valorisation difficile

## Atouts et facteurs limitants

### // Atouts

- potentiel de production important en situation pédoclimatique favorable
- bonne faculté d'extraction de l'eau et des éléments minéraux du sol
- culture annuelle, facile à insérer dans les rotations

### // Contraintes

- très peu de variétés de sorgho fibre développées, d'où une faible adaptation à des conditions pédoclimatiques variées
- exigences thermiques élevées
- sensibilité à la verse

## Éléments de conduite culturale

### Le choix de la parcelle

Le sorgho ne semble pas avoir d'exigences particulières vis-à-vis du type de sol. Toutefois, les meilleurs rendements sont obtenus dans les sols profonds et en évitant les sols hydromorphes.

### L'implantation

Le semis s'effectue en avril-mai dès que la température du sol est supérieure à 12°C. La date de semis doit être suffisamment précoce pour allonger le cycle de développement de la culture, mais un semis en conditions trop froides entrainera des difficultés de démarrage. Le semis doit être réalisé avec un semoir monograine. L'objectif de peuplement est de 150 000 à 200 000 plantes/ha ; les pertes à la levée sont souvent importantes (10 à 50% selon les cas).

## La gestion des adventices

Le sorgho est très sensible à la concurrence des adventices notamment au cours des premières semaines qui suivent le semis. Un traitement en pré-semis ou en pré-levée peut-être suffisant pour contrôler la flore adventice. Des interventions en cours de végétation sont possibles mais plus difficiles à mettre en œuvre.

## La fertilisation

Le sorgho dispose de bonnes facultés d'extraction des minéraux du sol. Néanmoins, un apport d'azote s'avère souvent nécessaire pour ne pas mobiliser tout l'azote du sol.

La fertilisation doit être raisonnée de manière à compenser les exportations en N, P et K de la biomasse récoltée.

### › Exportations en N-P-K

	Teneur dans la biomasse *	Quantité exportée annuellement **
N	8,5 g N/kg MS	103 kg N/ha
P	1,6 g P/kg MS	19 kg P/ha
K	10,7 g K/kg MS	130 kg K/ha

\* Valeur médiane calculée sur 11 analyses.

\*\* Exportations calculées avec un rendement de 12 tMS/ha/an (valeur médiane sur le réseau LIGNOGUIDE).

Sources : Analyses de la biomasse récoltée en automne 2010, 2011 et 2012, sur le réseau expérimental LIGNOGUIDE

## La récolte

La récolte doit être réalisée en fin de floraison : le poids des grains accentuera le risque de verse après ce stade. Une ensileuse est utilisée.

## Productivité et adaptation au milieu

Les rendements atteignables varient de 10 à 20 tMS/ha selon les conditions d'alimentation hydrique. Les essais conduits en France n'ont pas mis en évidence un effet du type de sol sur le rendement. En revanche les conditions climatiques lors de la levée semblent avoir un impact important sur le développement de la culture.

A noter : Les rendements atteignables en grandes parcelles seront inférieurs aux rendements biologiques indiqués dans le tableau ci-contre.

### › Estimation du rendement biologique atteignable

	Récolte « en sec » en fin d'hiver
<b>En conditions favorables :</b> Sol profond avec une bonne alimentation en eau, humidité et températures optimales à la levée et au développement de la culture	15 à 20 tMS/ha
<b>En conditions moins favorables :</b>	5 à 15 tMS/ha
<b>Sur les sites LIGNOGUIDE</b>	3 à 19 tMS/ha

## Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	271 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques types
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise)	278 €/ha	

## Critères de qualité

	Humidité	PCI anhydre	Teneur en lignine*	Teneur en cellulose + hémicellulose *	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
Sorgho fibre récolté en automne	25 à 35 %	16,8 MJ/kg	11,3 % de la MS	51,9 % de la MS	5 à 7 %	1 020°C

Source : REGIX (ANR 2006-2009)

### Evolution de la teneur en matière sèche de la biomasse

Pour une récolte entre le 01/10 et le 01/11, le taux de matière sèche est en moyenne de 30% (gamme de 21 à 50% de MS, sur 15 mesures réalisées sur les sites du réseau LIGNOGUIDE).

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

La consommation en eau du sorgho n'est pas connue précisément. En conditions pluviales, elle est probablement du même ordre de grandeur que celle d'autres cultures annuelles de printemps comme le maïs.

### Impacts sur l'eau : nitrate

Les pertes en nitrate liées à la culture du sorgho dépendront de sa conduite (fertilisation), de son insertion dans la rotation et du contexte pédoclimatique.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

Le niveau d'intrants phytosanitaires du sorgho est plus élevé que pour les cultures ligno-cellulosiques pérennes et proche de celui du maïs. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur indiquent une pression modérée avec notamment un IFT de 1.8 (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques élaborés dans LIGNOGUIDE).

### Production et consommation d'énergie

La production du sorgho est plus consommatrice d'énergie par rapport à d'autres cultures ligno-cellulosiques notamment pérennes, en raison de son caractère annuel et de ses besoins en fertilisant azoté. La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES du sorgho sont proches de 1 400 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha (d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). La majorité de ces émissions est liée à la fertilisation azotée.

## Fiche espèces annuelles

## LE TRITICALE



© C. CZERYBA/AGT-RT

**Origine, présentation**

Le triticale est une graminée ; il s'agit d'un hybride naturel entre le blé (genre *Triticum*) et le seigle (genre *Secale*). Les variétés envisagées pour la production de biomasse (récolte de la plante entière) sont actuellement les mêmes que pour la production de grain.

**Utilisations**

Le triticale est utilisé en sec pour la combustion et en vert pour la méthanisation. C'est aussi un candidat pour la production de biocarburant de 2<sup>nd</sup>e génération.

Combustion	Méthanisation	Biocarburant de 2 <sup>nd</sup> e génération
Récolte « en sec »	Récolte « en vert »	

■ Valorisation(s) envisagée(s) la plus probable

**Atouts et facteurs limitants**// **Atouts**

- plante annuelle, facile à introduire dans la rotation
- nombreuses variétés disponibles pour une adaptation aux différents contextes pédoclimatiques
- potentiel de production connu et important
- besoins en intrants relativement modérés
- récolte sans matériel spécifique (identique à une récolte de céréales)

// **Contraintes**

- masse volumique faible du produit en vrac
- humidité forte du produit à la récolte si récolte au stade grain laiteux pâteux

**Éléments de conduite culturale****L'implantation**

La préparation du sol recommandée est une préparation classique pour l'implantation d'une céréale d'hiver. Le semis s'effectue entre octobre et début novembre selon la variété et le climat. La dose de semis utilisée varie entre 180 à 260 grains/m<sup>2</sup>, avec un semoir agricole classique.

**La fertilisation**

La fertilisation azotée sera plus réduite que pour la production de grain (120 à 180 kg N/ha), avec des apports fractionnés lors de la montaison, sans apport en fin de cycle.



## La récolte

Après le semis d'automne, le délai d'entrée en production est de 10 mois (récolte en juillet).

La récolte de la plante entière peut être réalisée :

- au stade laiteux-pâteux du grain (produit humide), à l'ensileuse ;
- à maturité complète du grain (produit sec). Le fauchage et l'andainage doivent être réalisés en une seule opération (utilisation de barre de coupe à tapis). Le pressage est réalisé avec un matériel classique, réglé ou adapté pour la récolte de plante entière.

## Productivité et adaptation au milieu

La productivité attendue en plante entière est de 10 à 15 t MS/ha. La récolte au stade grain laiteux-pâteux correspond au maximum de productivité mais le produit a un taux de matière sèche relativement faible (de l'ordre de 35 à 45 %). La récolte à maturité fournit un produit plus sec (taux de MS de l'ordre de 85 %) mais avec un rendement légèrement moindre.

## Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	297 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques types
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise)	147 €/ha	

## Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Teneur en lignine*	Teneur en cellulose + hémicellulose *	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
Triticale Récolté à maturité (produit sec)	15 à 20 %	16,5 MJ/kg	9,1 % de la MS	38,6 % de la MS	2,8 %	- °C

Source : REGIX (ANR 2006-2009)

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

Comme les autres céréales d'hiver, le triticale consomme relativement peu d'eau.

### Impacts sur l'eau : nitrate

Les pertes en nitrate liées à la culture du triticale dépendront de sa conduite (fertilisation), de son insertion dans la rotation et du contexte pédoclimatique.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

Le niveau d'intrants phytosanitaires du triticale est plus élevé que pour les cultures ligno-cellulosiques pérennes, mais relativement faible comparés aux cultures annuelles à vocation alimentaire. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur indiquent une pression modérée avec notamment un IFT de 1.5 (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques types élaborés dans LIGNOGUIDE).

### Production et consommation d'énergie

La production du triticale est assez fortement consommatrice d'énergie par rapport à d'autres cultures ligno-cellulosiques, en raison de son caractère annuel et de ses besoins en fertilisant azoté. La production d'énergie est cependant nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES du triticale sont assez élevées (supérieures à 2000 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE), principalement du fait de ses besoins en fertilisant azoté.

Fiche espèces ligneuses

# LE TtCR DE SAULE



© AILE

## Origine, présentation

Le saule, de la famille des Salicacées, est réparti principalement dans les zones fraîches et humides des régions tempérées et froides de l'hémisphère nord.

Le Taillis à très Courte Rotation (TtCR) de saule est une culture pérenne d'une durée de vie d'une vingtaine d'années. Le qualificatif « Très Courte Rotation » est lié à la fréquence des récoltes : tous les 3 ans environ.

## Utilisations

Le Taillis à très Courte Rotation (TtCR) de saule est destiné à la production de bois, pour une valorisation en combustion. C'est également un candidat pour la production de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération.

## Atouts et facteurs limitants

### // Atouts

- culture peu exigeante en dehors des contraintes hydriques, adaptée à une large gamme de sols
- peu d'interventions sur la culture en pleine production
- besoins modérés en intrants (fertilisation et produits phytosanitaires)

### // Contraintes

- implantation et récolte nécessitant un matériel spécifique
- forte sensibilité à la concurrence des adventices en 1<sup>re</sup> année
- besoins en eau élevés, sensible au stress hydrique l'année d'implantation
- nécessité d'une bonne portance du sol pour la récolte en hiver
- destruction et remise en état de la parcelle à prévoir en fin de culture

## Éléments de conduite culturale

### La plantation

La plantation mécanisée est réalisée à l'aide d'une planteuse spécifique à une densité de 15 000 boutures par hectare. Une attention particulière doit être portée au respect des écartements standards et à la vitesse d'avancement de la machine. Une vitesse d'avancement trop élevée peut conduire à des problèmes de reprise (boutures mal insérées dans le sol).

Les variétés sont sélectionnées pour leur rendement, leur capacité à produire de longues tiges sans ramification et pour leur résistance au froid et à la rouille. Afin de limiter la pression parasitaire, il est fortement conseillé de mélanger différentes variétés au sein de la parcelle.

### La gestion des adventices

La maîtrise des adventices est particulièrement importante l'année d'implantation. Le désherbage sera de préférence mécanique. Néanmoins, une rampe pour traitement localisé pourra être utilisée en cas de traitement chimique.

## La fertilisation

Le TtCR de saule peut être utilisé pour valoriser des boues de station d'épuration (par épandage) ou des effluents prétraités (par fertirrigation). Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'apporter une fertilisation complémentaire (cas retenu pour les itinéraires techniques élaborés dans LIGNO-GUIDE).

Dans les autres cas, la fertilisation a lieu entre chaque cycle de production après la récolte. Les besoins en azote, phosphore et potassium sont modérés. La fertilisation peut être raisonnée de manière à compenser les exportations :

- 6 g N/kg MS ;
- 0,9 g P/kg MS ;
- 5 g K/kg MS.

(teneurs médianes, d'après les résultats du projet Wilwater).

## La récolte

Les TtCR de saule sont récoltés une fois tous les 3 ou 4 ans. 6 à 7 récoltes sont envisageables grâce à la capacité de recéper de cette espèce.

Elle nécessite une récolte mécanisée de type agricole. La technique la plus développée en Europe est la récolte à l'ensileuse en automne et hiver, impérativement hors sève (après la chute des feuilles et avant la reprise de végétation). Cette technique 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. Des outils de récolte en tiges entières peuvent également être utilisés, plus particulièrement en petites parcelles ou parcelles plus humides jusqu'au printemps. La récolte est précédée d'un broyage inter-rang avec une tondeuse débroussailluse autoportée (nécessaire si présence de ronces).

## La destruction ou remise en culture de la parcelle

Après la dernière récolte, les souches doivent être broyées avec un broyeur forestier et un traitement chimique avec un désherbant total de type glyphosate est réalisé pour éviter les repousses. La remise en culture peut s'envisager à l'automne suivant la destruction.

## Productivité et adaptation au milieu

Le TtCR de saule se récolte tous les 3 ans environ. Sa croissance est rapide : en moyenne 8 à 12 t MS/ha/an en conditions favorables.

### Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	172 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNO-GUIDE à partir d'itinéraires techniques type
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise, y compris boutures)	202 €/ha	

### Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
TtCR de saule	49 %	18,7 MJ/kg	2,9 %	1 218 °C

Source : Aile

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

De par son développement racinaire important, sa surface foliaire élevée et son long cycle de végétation, le TTCR de saule pourrait avoir une consommation en eau supérieure aux cultures annuelles. Cependant, cet effet est encore mal quantifié.

### Impacts sur l'eau : nitrate

De faibles pertes de nitrate sont observées en phase de production, grâce à de faibles apports et à une bonne valorisation de l'azote du sol par la culture. Des pertes plus importantes ont été observées lors des premières années suivant l'installation, probablement du fait du développement réduit de la plante en première année.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

La conduite du TTCR de saule comporte peu d'intrants phytosanitaires après la phase d'implantation. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur mettent en avant une pression particulièrement faible avec notamment un IFT moyen de 0.2 sur un cycle de 20 ans de culture (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques types élaborés dans LIGNOGUIDE).

### Production et consommation d'énergie

La production de TTCR de saule consomme peu d'énergie, en raison d'une moindre fertilisation, de l'absence de travail du sol annuel et de l'amortissement des opérations d'implantation et de destruction sur l'ensemble de la durée de vie de la culture. La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Grâce à ses besoins réduits en fertilisants azotés, le TTCR de saule a de très faibles niveaux d'émission de GES par hectare (inférieurs à 500 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). De plus, la culture du TTCR de saule pourrait permettre d'accroître le stockage de carbone dans les sols. La prise en compte de ce stockage devrait encore améliorer le bilan GES.

## Fiche espèces ligneuses

## LE TCR D'EUCALYPTUS



© FCBA

**Origine, présentation**

L'eucalyptus est un arbre originaire d'Australie, les espèces développées en France sont *E. gunnii* et *E. gun-dal*. La plupart des espèces rejettent de souche après coupe, et les plantations peuvent être conduites en taillis sur un grand nombre de rotations. Il sera conduit en Taillis à Courte Rotation (TCR).

**Utilisations**

L'eucalyptus a pour vocation première la papeterie, particulièrement dans le sud-ouest de la France. Il est également développé pour être valorisé en bio-masse pour la combustion (cf. *exemple de réalisation Fibre-Excellence*).

**Atouts et facteurs limitants**

## // Atouts

- croissance continue (feuillage persistant et absence de dormance hivernale)
- boisement homogène et facilité de multiplication par bouturage
- essentiel des interventions techniques concentré sur les 2 ou 3 premières années
- besoin modéré en d'intrants (fertilisation et protection phytosanitaire)
- culture pérenne (25 à 35 ans)

## // Contraintes

- sensible au froid
- sensible au pH > 7 ou taux de calcaire actif > 4 %
- besoins en eau importants mais non limitants
- implantation et récolte nécessitant un matériel spécifique
- entrée en production à partir de la 7<sup>e</sup> ou 8<sup>e</sup> année
- nécessité d'une bonne portance du sol pour la récolte en hiver
- destruction et remise en état de la parcelle à prévoir en fin de culture

**Eléments de conduite culturale**

Le système peut durer 35 ans pour les TCR.

**La plantation**

La meilleure période de plantation est l'automne, mais on peut également planter en début de printemps. Il faut que les plants soient bien installés avant la sécheresse estivale.

Les plants sont produits par multiplication végétative. En TCR, l'optimum de densité de plantation est de 1 250 tiges/ha correspondant à un espacement de 4 \* 2 m.

**La gestion des adventices**

L'implantation doit être réalisée dans de bonnes conditions et sur une parcelle bien désherbée. Il est important de limiter la concurrence des adventives avant et après l'implantation.

## La fertilisation

Un apport de 150 kg/ha de  $P_2O_5$  est indispensable en première année : il provoque un gain de croissance conséquent et durable.

## La récolte

En système TCR, les coupes sont préconisées environ tous les 10 ans. L'exploitation a lieu de février à mai afin que les rejets soient les plus lignifiés possible à l'arrivée des froids et d'améliorer le taux de survie des souches, la vigueur et le nombre de rejets.

L'abatage est manuel ou mécanisé. La mise plaquette peut se concevoir soit sur coupe avec une déchiqueteuse automotrice, soit bord de route après débardage des javelles d'arbres entiers.

## La destruction ou remise en culture de la parcelle

Après la dernière récolte, les souches doivent être broyées avec un broyeur forestier et un traitement chimique avec un désherbant total de type glyphosate est réalisé pour éviter les repousses.

La remise en culture peut s'envisager à l'automne suivant la destruction.

## Productivité et adaptation au milieu

La fourchette de production en TCR est comprise entre 9 et 11 tMS/ha/an, pour les premières rotations coupées à 10 ans pour une densité de départ de 1 250 plants/ha et entre 12 et 18 tMS/ha/an pour les rotations suivantes.

### Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	27 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques type
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise, y compris boutures)	392 €/ha	

### Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
TCR d'eucalyptus	30–40%	19,4 MJ/kg	1,6%	- °C

Source : REGIX

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

De part son enracinement puissant et sa productivité élevée le TCR d'eucalyptus pourrait avoir une consommation d'eau importante si les disponibilités du sol le permettent. Cependant, cet effet est encore mal quantifié.

### Impacts sur l'eau : nitrate (pas d'éléments pour indiquer une différence avec peuplier)

De faibles pertes de nitrate sont observées en phase de production, grâce à de faibles apports et à une bonne valorisation de l'azote du sol par la culture. Les observations réalisées sur le réseau. Des pertes plus importantes ont été observées lors des premières années suivant l'installation, probablement du fait du développement réduit de la plante en première année.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires (pas d'éléments pour indiquer une différence avec peuplier)

La conduite du TCR de peuplier comporte peu d'intrants phytosanitaires après la phase d'implantation. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur mettent en avant une pression particulièrement faible avec notamment un IFT moyen de 0.1 sur un cycle de 22 ans de culture (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques types élaborés dans LIGNOGUIDE).

### Production et consommation d'énergie (pas d'éléments pour indiquer une différence avec peuplier)

La production de TCR de peuplier consomme peu d'énergie, en raison d'une moindre fertilisation, de l'absence de travail du sol annuel et de l'amortissement des opérations d'implantation et de destruction sur l'ensemble de la durée de vie de la culture. La consommation en carburant représente les  $\frac{3}{4}$  des consommations d'énergie. La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Grâce à ses besoins réduits en fertilisants azotés, le TCR d'eucalyptus a de très faibles niveaux d'émission de GES par hectare (inférieurs à 500 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). De plus, la culture du TCR d'eucalyptus pourrait permettre d'accroître le stockage de carbone dans les sols. La prise en compte de ce stockage devrait encore améliorer le bilan GES.



## Fiche espèces ligneuses

## LE TCR DE PEUPLIER



© FCBA

**Origine, présentation**

Le genre peuplier comporte 29 espèces cantonnées pour l'essentiel à l'hémisphère Nord. La multiplication végétative est généralement très facile, les variétés cultivées sont souvent hybrides entre *P. deltoides*, *P. nigra* et *P. trichocarpa*.

**Utilisations**

Le peuplier a pour vocation première le bois d'œuvre et la papeterie. En production de biomasse il est conduit en TCR (Taillis à courte Rotation) et pourra être utilisé en combustion ou pour la production de biocarburant de 2<sup>e</sup> génération.

**Atouts et facteurs limitants**

## // Atouts

- vigueur et facilité de multiplication
- bonne adaptation aux différents climats français (< 600 m d'altitude)
- essentiel des interventions techniques concentré sur les 2 ou 3 premières années
- besoin modéré en intrants (fertilisation et produits phytosanitaires)
- culture pérenne (20 à 25 ans)

## // Contraintes

- implantation et récolte nécessitant un matériel spécifique
- nécessite un sol profond, aéré
- besoins en eau élevés
- entrée en production à partir de la 7<sup>e</sup> ou 8<sup>e</sup> année
- nécessité d'une bonne portance du sol pour la récolte en hiver
- destruction et remise en état de la parcelle à prévoir en fin de culture

**Eléments de conduite culturale**

Les opérations de l'itinéraire technique se concentrent sur les 2 ou 3 premières années. Après cette phase, il n'y a plus d'intervention sur le taillis, excepté pour la récolte et la destruction.

**La plantation**

Les plantations sont réalisées avec des boutures ligneuses non racinées d'environ 20 à 30 cm de long et de 1 cm de diamètre minimum. Les boutures doivent être découpées pendant l'hiver dans des scions d'un an, puis conservées au froid, en sac étanche pour éviter leur dessèchement, jusqu'à la plantation.

**La gestion des adventices**

L'implantation doit être réalisée dans de bonnes conditions et sur une parcelle bien désherbée. Il est important de limiter la concurrence des adventives après l'implantation. Des interventions de désherbage mécanique et/ou chimique sont donc à prévoir les deux premières années.

## La fertilisation

La fertilisation a lieu entre chaque cycle de production après la récolte. Les besoins en azote, phosphore et potassium sont modérés. La fertilisation peut être raisonnée de manière à compenser les exportations. Les teneurs médianes de la biomasse à la récolte sont d'environ 5 g N/kg MS, 0,8 g P/kg MS et 3 g K/kg MS, d'après une synthèse de données expérimentales réalisée par l'INRA, 2012.

## La récolte

Le peuplier est récolté une fois tous les 7 à 10 ans, la récolte peut être renouvelée 2 à 3 fois grâce à la capacité de recéper de cette espèce. Pour assurer une bonne qualité de rejet, la récolte peut s'envisager entre octobre et avril (après la chute des feuilles et avant la reprise de végétation) et si possible sur sol portant. L'abattage est soit manuel ou mécanisé. La mise en plaquette peut se concevoir soit sur coupe avec une déchiqueteuse automotrice, soit en bord de route après débardage des javelles d'arbres entiers.

## La destruction ou remise en culture de la parcelle

Après la dernière récolte, les souches doivent être broyées avec un broyeur forestier et un traitement chimique avec un désherbant total de type glyphosate est réalisé pour éviter les repousses. La remise en culture peut s'envisager à l'automne suivant la destruction.

## Productivité et adaptation au milieu

En condition favorable, la fourchette de production est comprise entre 8 et 12 tMS/ha/an, sur des cycles de 7 à 10 ans et pour des densités comprises entre 1 000 et 3 000 tiges/ha.

Le climat n'est pas une contrainte en France, en dehors des zones montagneuses. Le sol optimum se situe dans les textures fines équilibrées (limons argileux, argile limoneuse) avec une profondeur de sol prospectable par les racines d'au moins 80 cm à 1 m.

## Aspects économiques

Charges opérationnelles : (semences, engrais, protection phytosanitaire)	43 €/ha	Source : Estimations réalisées dans LIGNOGUIDE à partir d'itinéraires techniques type
Charges spécifiques (travaux réalisés par entreprise, y compris boutures)	421 €/ha	

## Critères de qualité pour une valorisation en combustion

	Humidité	PCI anhydre	Taux de cendres	Température de fusion de cendre
	25-40%	19,9 MJ/kg	1,7%	- °C.

Source : REGIX

## Impacts environnementaux

### Impacts sur l'eau : quantité

Compte-tenu de sa productivité élevée, de son enracinement et de sa surface foliaire importante, le TCR de peuplier pourrait avoir une consommation d'eau du même ordre de grandeur que les cultures annuelles les plus exigeantes. Cependant, cet effet est encore mal quantifié.

### Impacts sur l'eau : nitrate

De faibles pertes de nitrate sont observées en phase de production, grâce à de faibles apports et à une bonne valorisation de l'azote du sol par la culture. Des pertes plus importantes ont été observées lors des premières années suivant l'installation, probablement du fait du développement réduit de la plante en première année, et après récolte jusqu'à émission de nouveaux rejets.

### Impacts sur l'eau : molécules phytosanitaires

La conduite du TCR de peuplier comporte peu d'intrants phytosanitaires après la phase d'implantation. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur mettent en avant une pression particulièrement faible avec notamment un IFT moyen de 0.1 sur un cycle de 22 ans de culture (calculs réalisés à partir des itinéraires techniques type élaborés dans LIGNOGUIDE).

### Production et consommation d'énergie

La production de TCR de peuplier consomme peu d'énergie, en raison d'une moindre fertilisation, de l'absence de travail du sol annuel et de l'amortissement des opérations d'implantation et de destruction sur l'ensemble de la durée de vie de la culture. La consommation en carburant représente les  $\frac{3}{4}$  des consommations d'énergie. La production d'énergie est nettement supérieure à cette consommation.

### Emissions de gaz à effet de serre (GES)

Grâce à ses besoins réduits en fertilisants azotés, le TCR de peuplier a de très faibles niveaux d'émission de GES par hectare (inférieurs à 500 kg eq. CO<sub>2</sub>/ha, d'après les calculs réalisés dans LIGNOGUIDE). De plus, la culture du TCR de peuplier pourrait permettre d'accroître le stockage de carbone dans les sols. La prise en compte de ce stockage devrait encore améliorer le bilan GES.

## I.2 - Comparaison des cultures : tableau de synthèse

	Espèces annuelles				
	Triticale	Sorgho fibre	Maïs	Fétuque élevée	Association fétuque/luzerne
Utilisation : combustion	Récolte en sec			Récolte en sec	Récolte en sec
méthanisation	Récolte en vert	Récolte en vert	Récolte en vert	Récolte en vert	Récolte en vert
Adaptation à différents milieux					
Implantation : besoin en matériel spécifique					
Besoin en fertilisation azotée					
Besoin en protection phytosanitaire					
Production récoltable					
Récolte : Fréquence	1/an	1/an	1/an	2 à 3/an	2 à 3/an
Etalement					
Contraintes					
Besoin en matériel spécifique					
Conditionnement de la biomasse	Vrac (humide) ou balles (sec)	Vrac (humide)	Vrac (humide)	Vrac (humide) ou balles après préfanage (sec)	Vrac (humide) ou balles après préfanage (sec)
Nombre d'interventions					
Besoin en main d'œuvre					
Niveau de charges					
Risque de pollution des eaux par les nitrates					
Emissions de GES					
Production nette d'énergie					

### Explications des critères de comparaison

#### • Utilisation : combustion, méthanisation

Possibilités d'utilisation de l'espèce pour produire de l'énergie par combustion ou par méthanisation :

- Valorisation possible
- Valorisation possible mais peu conseillée
- Valorisation difficile

#### • Adaptation à différents milieux

Aptitude de la plante à être cultivée dans différents milieux pédo-climatiques :

- Culture peu exigeante par rapport au milieu
- Culture un peu plus exigeante (par exemple : pH neutre et sol sain pour la luzerne)
- Culture dont l'aire de production potentielle est limitée, soit par le sol, soit par le climat (par exemple : plantes méridionales comme la canne de Provence ou l'eucalyptus)

Espèces pérennes				Espèces ligneuses		
Luzerne	Miscanthus	Switchgrass	Canne de Provence	T.T.C.R. saule	T.C.R. peuplier	T.C.R. eucalyptus
Récolte en sec	Récolte en sec	Récolte en sec				
Récolte en vert	Récolte en vert	Récolte en vert				
3 à 4/an	1/an	1/an	1/an	1/3 à 5 ans	1/8 ans	1/8 ans
Vrac (humide) ou balles après préfanage (sec)	Vrac (humide ou sec) ou balles (sec)	Vrac (humide ou sec) ou balles (sec)	Vrac (humide)	Vrac (plaquettes)	Vrac (plaquettes)	Vrac (plaquettes)

■ Point fort de la culture    
■ Point intermédiaire    
■ Point faible de la culture

### • Implantation : besoin en matériel spécifique

Facilité d'implantation de la culture avec du matériel présent dans les exploitations :

- Implantation facile à réaliser avec le matériel présent dans les exploitations
- Implantation nécessitant du matériel et une organisation spécifiques (par exemple : plantation de rhizomes pour le miscanthus et la canne de Provence, plantation de scions pour les TTCR)

### • Besoins en fertilisation azotée et en protection phytosanitaire

Quantité d'intrants nécessaires à l'obtention de l'objectif de production :

- Pas d'intrants
- Faible niveau d'intrants
- Niveau d'intrants élevé. Par ailleurs, une diminution trop forte des intrants (fertilisation azotée, protection phytosanitaire...) entraînera une chute importante de la production. Exemple : pour le blé dans les conditions bretonnes, l'économie d'un fongicide entraînera une chute de production de 30 q/ha.

### • Production récoltable

Production accessible dans des conditions normales de culture. La biomasse restant dans la parcelle après l'exploitation n'est pas comptée : chaume pour les céréales par exemple. De cette production accessible, les pertes occasionnées par les différentes opérations de récolte et de manipulation du produit au champ (fanage, andainage...) doivent être défalquées.

■ Production > 12 tMS/ha

■ Production < 12 tMS/ha

### • Récolte : fréquence

Nombre de récoltes par année

### • Récolte : étalement

Étalement possible de la récolte, c'est-à-dire durée de la période de récolte possible, sans impliquer de dégradation de la qualité de la biomasse :

■ Période de récolte longue (par exemple : les TCR et TTCR peuvent être récoltés durant tout l'hiver)

■ Période de récolte de moyenne durée (environ 1 mois – par exemple : le miscanthus et le switchgrass doivent être récoltés en février ou mars, lorsque le taux d'humidité est au plus bas et avant la reprise de végétation)

■ Période de récolte courte, dépendant d'un stade physiologique (par exemple : la fétuque doit être récoltée au stade épiaison)

### • Récolte : contraintes

Niveau de contraintes rencontré lors de la récolte, surtout lié aux conditions pédoclimatiques en période de récolte (pluviométrie, portance du sol) :

■ Peu ou pas de contraintes (récoltes au printemps ou en été)

■ Contraintes liées à une récolte en période hivernale, mais ces contraintes sont compensées par l'étalement important de la période de récolte (cas des TCR et TTCR).

■ Contraintes fortes à très fortes (liées à la portance du sol les années humides) lors des récoltes d'automne et au cours de l'hiver

### • Récolte : besoin en matériel spécifique

Possibilité de récolte de la culture avec du matériel présent dans les exploitations :

■ Récolte réalisable avec le matériel présent dans les exploitations

■ Récolte réalisable avec du matériel potentiellement présent dans les exploitations mais nécessitant des adaptations spécifiques

■ Récolte nécessitant du matériel et une organisation spécifiques (par exemple : déchiqueteuse pour la récolte des TtCR)

### • Conditionnement de la biomasse

Conditionnement de la biomasse, en vrac sec, vrac humide ou balles, dépendant de son humidité.

### • Nombre d'interventions

Nombre de passages de l'agriculteur dans la parcelle, de l'implantation de la culture à la récolte :




■ Nombre d'interventions < 10/an

■ Nombre d'interventions compris entre 10 et 15/an

■ Nombre d'interventions > 15/an




### • Besoin en main d'œuvre

Temps nécessaire à la réalisation des opérations culturales et de récolte d'une culture :

-  Temps de travail < 4 h/ha/an
-  Temps de travail compris entre 4 et 6 h/ha/an
-  Temps de travail > 6 h/ha/an



### • Niveau de charges

Charges qui font décaisser de la trésorerie (intrants, une partie de la mécanisation, de la main d'œuvre, du foncier et des charges de structure) :

-  Charges < 700 €/ha/an
-  Charges comprises entre 700 et 900 €/ha/an
-  Charges > 900 €/ha/an




### • Risque de pollution des eaux par les nitrates

Risque de fuites de nitrate vers les eaux de profondeur en année moyenne, dans le cas de pratiques raisonnées (sans sur-fertilisation et avec une gestion de la période d'interculture limitant les fuites). Cette distinction entre cultures annuelles et pérennes s'appuie sur des références bibliographiques et sur les reliquats en azote du sol mesurés sur le réseau expérimental LIGNOGUIDE (*synthèse disponible dans la partie III.3-2*).

-  Faible risque de fuites de nitrates
-  Risque modéré de fuites de nitrates



### • Emissions de GES

Emissions de Gaz à Effet de Serre liées aux étapes de production de la biomasse, depuis la fabrication des intrants jusqu'à la récolte :

-  Emissions < 1 000 kg éq CO<sub>2</sub>/ha/an
-  Emissions comprises entre 1 000 et 2 000 kg éq CO<sub>2</sub>/ha/an
-  Emissions > 2 000 kg éq CO<sub>2</sub>/ha/an

### • Production nette d'énergie

La production nette d'énergie est la différence entre la quantité d'énergie contenue dans la biomasse récoltée (énergie brute) et la quantité d'énergie (directe et indirecte = énergie primaire totale) mise en œuvre pour la production de biomasse (implantation, conduite, récolte, remise en état). Pour chaque culture lignocellulosique, cette production nette est comparée à celle d'une culture de référence (blé grain) :

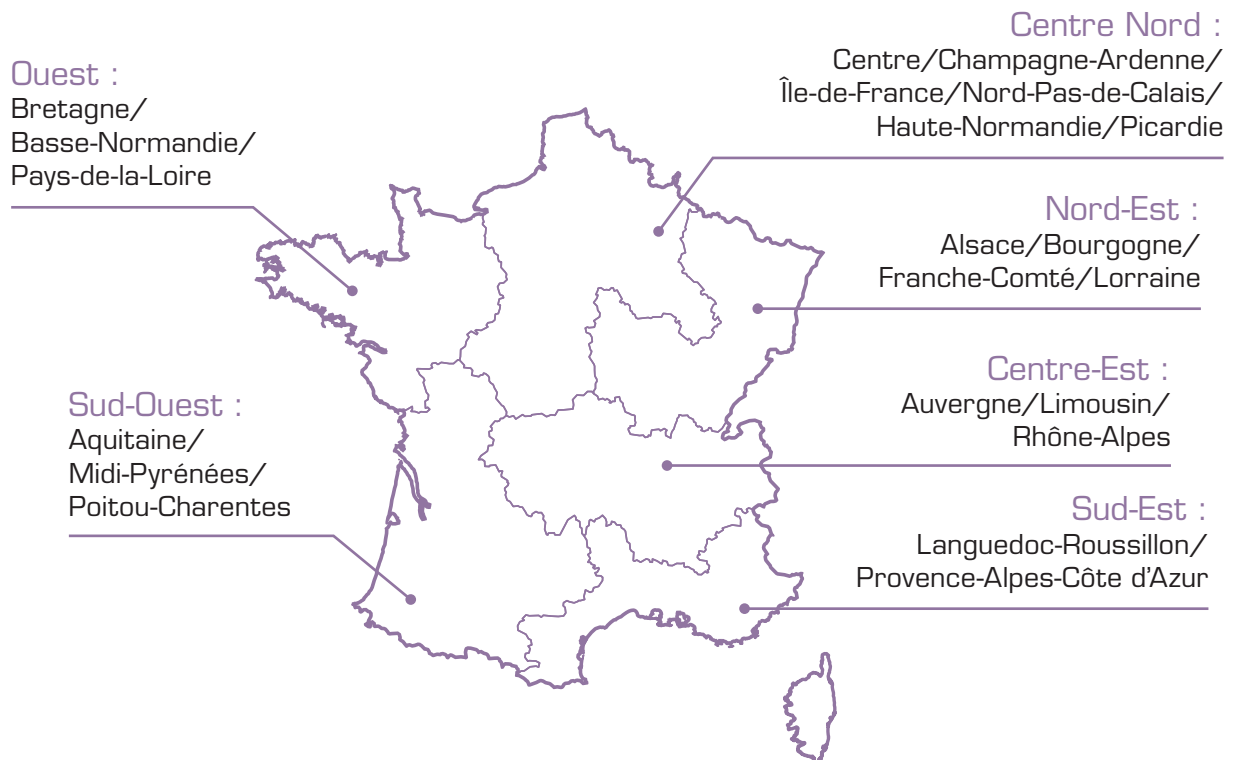
-  Production nette de la culture lignocellulosique supérieure à celle de la culture de référence
-  Production nette de la culture lignocellulosique inférieure à celle de la culture de référence

# PARTIE II – POTENTIALITÉS ET CONTRAINTES DE SOL ET DE CLIMAT DANS LES RÉGIONS

Cette partie illustre la manière dont la localisation géographique au sein du territoire métropolitain affecte les productions des cultures lignocellulosiques et leur conduite culturale. Les cas étudiés ici sont distribués dans six zones géographiques constituées dans un souci de cohérence agricole et climatique (issues du projet CLIMATOR<sup>1</sup>). Dans chacune de ces six zones, les résultats proposés correspondent à un site d'expérimentation mis en place dans le cadre du projet LIGNOGUIDE, à plusieurs stations météorologiques, ou encore à des moyennes départementales (rendements moyens). Ces résultats n'ont donc pas de représentativité statistique. Ils doivent être considérés comme des situations locales, illustratives de la zone à laquelle ils sont rattachés.

<sup>1</sup> CLIMATOR : projet ANR/VMC 2007-2010, coordination INRA.





## II.1 – Résultats des sites expérimentaux

Rédacteur : Marie-Laure SAVOURÉ (Agro-Transfert, Ressources et Territoires)

Animateur du réseau : Alain BESNARD (Arvalis, Institut du végétal)

Un réseau expérimental comportant 9 sites a été mis en place dans le cadre du projet LIGNOGUIDE, couvrant quatre des six zones géographiques indiquées. Les déterminants et résultats (conditions pédoclimatiques, rendements obtenus, itinéraires techniques) des cultures mises en place sont détaillés au travers d'une fiche par site. Pour en faciliter la lecture, toutes les fiches suivent le même plan.

## II.2 – Éléments climatiques déterminants (pluie et évapotranspiration)

Rédacteur : Frédéric LEVRAULT (Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes)

Les données de pluie et d'évapotranspiration potentielle de 237 stations météorologiques réparties dans les six zones géographiques ont été analysées. Le déficit hydrique climatique (pluie – évapotranspiration potentielle) durant la saison de végétation (mai à septembre inclus) a été utilisé pour déterminer des classes de disponibilité hydrique climatique, sur la base desquelles une recommandation de réserve utile de sol est formulée conditionnant l'atteinte de rendements économiquement viables.

## II.3 – Estimations de production moyenne

Rédacteur : Sylvain MARSAC (Arvalis, Institut du végétal)

A partir des rendements moyens départementaux de cultures de référence (source Agreste) et de coefficients de conversion issus d'expérimentations de terrain, les rendements moyens départementaux (inférieurs aux maxima réalisables localement) de cultures lignocellulosiques sont présentés sous forme de cartes.

## II.1 Résultats des sites expérimentaux

Cette partie du projet «LIGNOGUIDE» vise à mieux définir les déterminants de la production de biomasse de trois cultures lignocellulosiques : miscanthus, switchgrass et sorgho. Il s'agit en particulier d'identifier les principaux facteurs limitant la production. La démarche de diagnostic agronomique mise en œuvre permet de mieux appréhender les aires de production possibles et la productivité de ces cultures dans des conditions climatiques variées. Pour cela, un réseau de 9 sites d'essai répartis dans toute la France a été mis en place (Cf. fig. II-1/1).

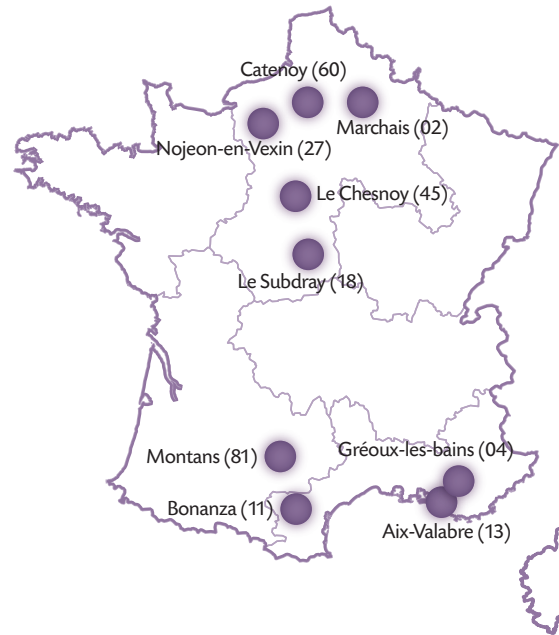


Figure II-1/1 : localisation des sites expérimentaux du projet LIGNOGUIDE

Les résultats obtenus sur chacun de ces sites d'essai sont synthétisés dans une fiche par site. Les 9 sites expérimentaux sont :

- **Marchais (02)**, suivi par la Chambre départementale d'agriculture de l'Aisne ;
- **Catenoy (60)**, suivi par la Chambre départementale d'agriculture de l'Oise ;
- **Nojeon (27)**, suivi par la Chambre départementale d'agriculture de l'Eure ;
- **Le Chesnoy (45)**, suivi par la Chambre départementale d'agriculture du Loiret et l'exploitation agricole de l'EPLEFPA du Loiret ;
- **Le Subdray (18)**, suivi par AXERREAL ;
- **Montans**, suivi par Arvalis-Institut du végétal ;
- **Bonanza (11)**, suivi par ARTERRIS ;
- **Aix-Valabre (13)**, suivi par l'exploitation agricole de l'EPL d'Aix-Valabre ;
- **Gréoux-les-Bains (04)**, suivi par Arvalis-Institut du végétal.

Une parcelle implantée à Ammertzwiller en 1993 (68) a également été suivie par la Chambre départementale d'agriculture du Haut-Rhin : test de récolte grandeur nature et suivi de l'évolution du rendement annuel.

Les rendements présentés dans ces fiches de synthèse sont des rendements dits « biologiques », issus de prélèvements sur placettes à 10 cm de hauteur de coupe. Ils sont par conséquent légèrement supérieurs aux rendements atteints en conditions réelles agricoles (grandes parcelles).

## Site d'essai AIX VALABRE (13)



Suivi par l'exploitation agricole  
de l'EPL d'Aix Valabre  
Chemin du Moulin du Fort  
13 548 GARDANNE

### Le site expérimental

Localisé sur l'exploitation du lycée agricole d'Aix Valabre, sur des parcelles d'environ 200 m<sup>2</sup> par culture

#### Le sol

- Limon argilo-sableux
- 28,3 à 34,1% de calcaire et dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle
- 5% de cailloux en surface, 10% en profondeur
- Réserve utile estimée ≈ 140 mm
- Profondeur exploitable par les racines de 100 cm



© A. BESNARD/Arvelis

#### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	400 mm	17.4°C	2 811°C	- 605 mm
2011	407 mm	18.6°C	3 078°C	- 635mm
2012	414 mm	18.8°C	3 140°C	- 701mm
Moyenne 28 ans	390 mm	17.8°C	2 892°C	- 692 mm

## TÉMOIGNAGE

### Les lycées agricoles expérimentent en cultures lignocellulosiques

Michel NEVIÈRE (*responsable expérimentation*)  
LEGTA d'Aix – Valabre

« Le lycée d'Aix-Valabre valorise son implication dans le projet LIGNOGUIDE par la participation d'élèves aux essais expérimentaux et par l'enseignement qui intègre les connaissances et les pratiques d'expérimentation issues du réseau d'essai. »

« Nous organisons chaque année, une réunion professionnelle de présentation des essais aux conseillers agricoles, aux agriculteurs et aussi aux parents d'élèves. Les retombées en terme d'image ne sont pas négligeables (contacts, recrutements, partenariats R&D). »

## // Les résultats du miscanthus

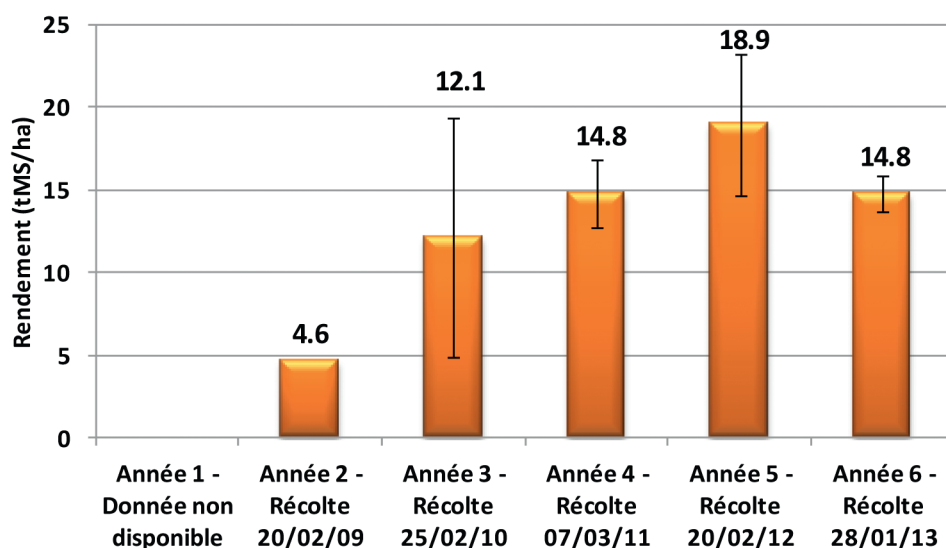
### L'itinéraire technique

2007	Implantation des rhizomes le 6 avril 2007 Variété Miscanthus x giganteus (Fournisseur ADAS) Irrigation : 11 apports de 40 mm d'avril à octobre Désherbage manuel : la culture reste propre
2008	Irrigation : 7 apports de 40 mm de juillet à septembre Apport de 80 kgN/ha
2009	Irrigation : 7 apports de 40 mm de juillet à septembre Apport de 80 kgN/ha
2010	Apport de 40 kg N/ha
2011	Apport de 40 kg N/ha, 100 kg P/ha et 100 kg K/ha
2012	Apport de 40 kg N/ha, 100 kg P/ha et 100 kg K/ha



© A. BESNARD/Arvalis

### Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus à Aix Valabre, de 2008 à 2013



### Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée, avec une densité d'environ 15 200 pieds/ha. Les conditions chaudes et sèches après l'implantation (152 mm de pluies d'avril à août 2007) ont rendu nécessaires l'irrigation, pour favoriser la levée du miscanthus.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 19.3 et 22.7 tMS/ha en automne, entre 12.1 et 18.9 tMS/ha en hiver, de 2010 à 2013.
- Les températures et l'ensoleillement sont favorables au miscanthus, mais la forte évapotranspiration soumet la culture à un déficit hydrique fréquent, malgré une réserve utile élevée.
- La culture du miscanthus a subi des stress, limitant sa production. En 2010, 2011 et 2012, le stress hydrique a été particulièrement impactant, précoce (dès mai en 2011, dès juin en 2010 et 2012) et un des plus forts du réseau.

## // Les résultats du switchgrass

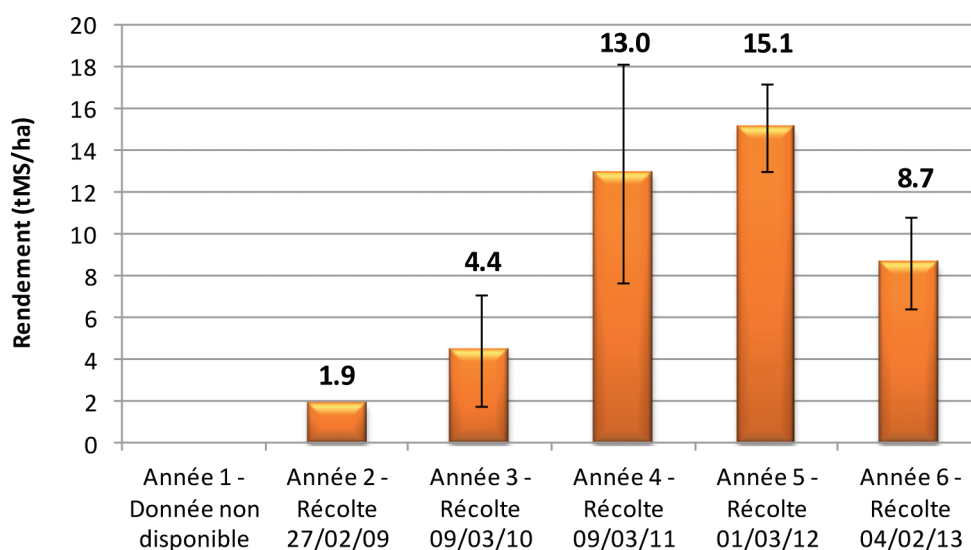
### L'itinéraire technique

2007	Semis le 30 mai 2007, variété Kanlow. Semis à 10 kg/ha. Levée de 15 plantes/m <sup>2</sup> Irrigation : 7 apports de 40 mm de juin à octobre
2008	Irrigation : 7 apports de 40 mm de juillet à septembre Apport de 80 kgN/ha
2009	Irrigation : 7 apports de 40 mm de juillet à septembre Apport de 80 kgN/ha
2010	Désherbage total (Round Up) en mars avant redémarrage Désherbage 2.4 D localisé en mai (ronds de luzerne) Apport de 80 kg N/ha, 50 kg P/ha et 50 kg K/ha
2011	Désherbage Chardol 600 (1.5 l/ha) en mai Apport de 80 kg N/ha, 30 kg P/ha et 30 kg K/ha
2012	Apport de 80 kg N/ha, 30 kg P/ha et 30 kg K/ha Désherbage Chardol 600 (1.7 l/ha) en juin



© A. BESNARD/Arvalis

### Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass à Aix Valabre, de 2008 à 2013



### Les faits marquants

- L'implantation puis le développement de la culture ont été pénalisés par l'enherbement important en 2007 et 2008. Le broyage du couvert en juillet 2008 a permis de contenir l'enherbement mais a également limité la production. La partie centrale de la parcelle a été détruite, étouffée par des ronds de luzerne en 2010 et 2011.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 13.8 et 15.7 tMS/ha en automne, entre 4.4 et 15.1 tMS/ha en hiver, de 2010 à 2013.
- La culture de switchgrass a subi un stress hydrique important et précoce (dès juin), limitant sa production de 2010 à 2012. Il s'explique par la forte évapotranspiration, malgré une réserve utile élevée.

## // Les résultats du sorgho fibre

### L'itinéraire technique

Préparation du sol (labour + reprise) puis semis avec semoir pneumatique

Semis entre le 02/05 (en 2011) et le 21/05 (en 2010) à une densité comprise entre 218 000 et 242 000 grains/ha, variété H133

Irrigation : 4 apports de 40 mm en juillet-août 2006, 2007 et 2008  
1 apport de 20 mm en mai 2011 et 2012

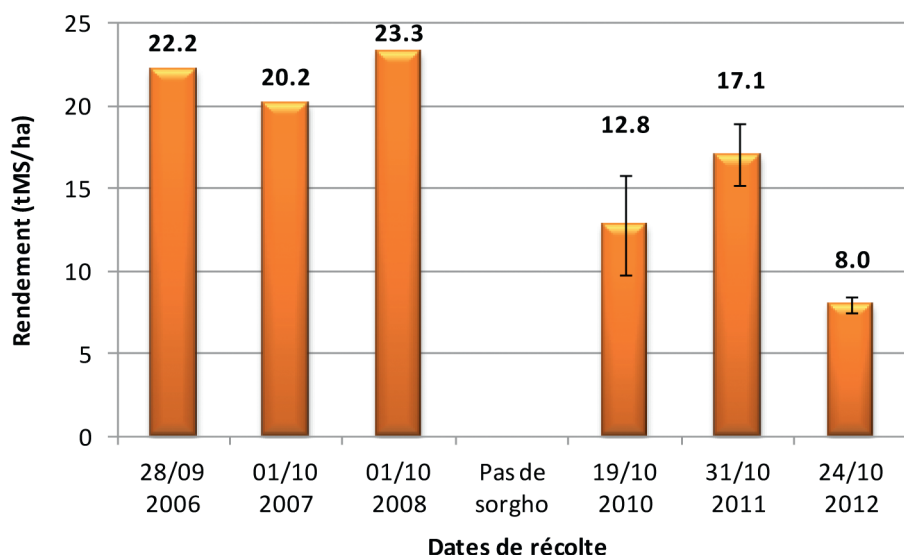
De 2010 à 2012 uniquement : apport 120 kg N/ha, 60 kg P/ha et 60 kg K/ha

Dés herbage : Adagio (1.6 l/ha) au stade 6 feuilles en 2010  
Mercantor Gold (1.4 l/ha) en 2011  
Binage en 2010 et 2011



© A. BESNARD/Arvalis

### Les rendements sur placettes obtenus en automne par le sorgho fibre à Aix Valabre, de 2006 à 2012



### Les faits marquants

- Le semis du sorgho a souvent été réalisé en conditions sèches, nécessitant une irrigation en 2011 et 2012 pour favoriser la levée. Ces conditions sèches expliquent les peuplements faibles et hétérogènes observés en 2006 (110 000 plantes/ha) et 2010 (91 100 plantes/ha).
- De 2010 à 2012, le sorgho a subi un stress hydrique important et précoce (dès mai en 2011 et juin en 2012), ayant probablement impacté la production de biomasse.
- Des écarts de rendement importants sont observés entre les sorghos irrigués (testés de 2006 à 2008) et les sorghos en sec (de 2010 à 2012).

## Site d'essai BONANZA (11)



Suivi par ARTERRIS  
Domaine de Bonanza  
11 170 ALZONNE

### Le site expérimental

Localisé sur le domaine expérimental d'ARTERRIS, sur des parcelles d'environ 200 m<sup>2</sup> par culture

#### Le sol

- Argile limono sableuse
- ≈ 8% de calcaire dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle
- 15% de cailloux en surface et en profondeur
- Réserve utile estimée ≈ 45 mm
- Profondeur exploitable par les racines de 30 cm



© M.L. SAVOURE/AGT-RT

#### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	392 mm	17,0°C	2 740°C	- 664 mm
2011	491 mm	18,0°C	2 935°C	- 600 mm
2012	381 mm	18,0°C	2 939°C	- 708 mm
Moyenne 30 ans	406 mm	17,4°C	2 798°C	- 581 mm

### // Les résultats du switchgrass

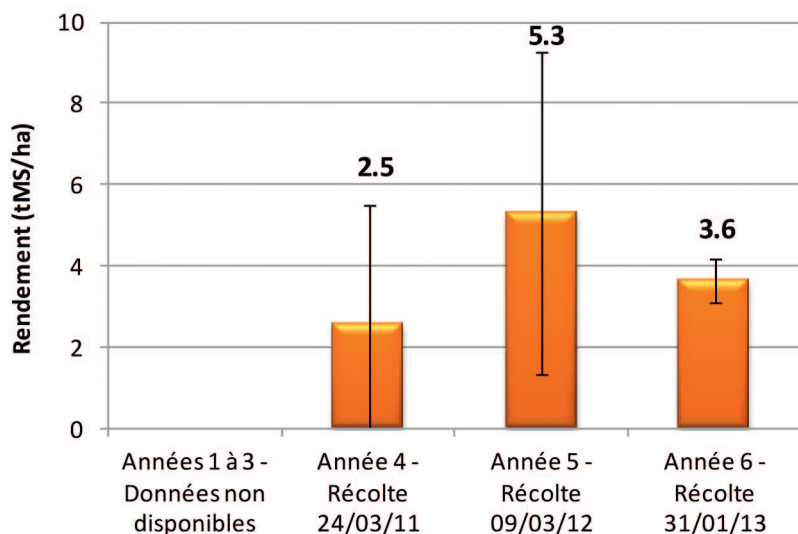
#### L'itinéraire technique

2007	Semis le 23 mai, variété Kanlow. Semis à 10 kg/ha. Désherbage en végétation : Bofix (2,5 l/ha) en juin (stade 3 feuilles) Binage manuel en juillet au stade 5 feuilles
2008	Désherbage total (Round Up 3l/ha) en février avant redémarrage
2009	Désherbage total (Round Up 3l/ha) en février avant redémarrage
2010	Désherbage total (Round Up 3l/ha) en mars avant redémarrage
2011	Désherbage total (Round Up 3l/ha) en mars avant redémarrage
2012	Désherbage total (Round Up 3l/ha) en mars avant redémarrage



© A. BESNARD/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass à Bonanza, de 2008 à 2013



## Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée mais son développement a été pénalisé d'une part par l'enherbement présent dès 2007, et d'autre part par des stress hydriques. Ainsi, en automne 2010, 2011 et 2012, les plantes ne mesuraient que 1 à 1,2 m de hauteur.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 3,1 et 6,4 tMS/ha en automne, entre 2,5 et 5,3 tMS/ha en hiver de 2010 à 2013.
- Les températures et l'ensoleillement sont favorables au switchgrass, mais la forte évapotranspiration et la faible réserve utile du sol soumettent la culture à un déficit hydrique systématique. En 2010, 2011 et 2012, le stress hydrique a été particulièrement précoce (dès avril) et un des plus forts du réseau expérimental. Le développement de la culture semble avoir été impacté.

## // Les résultats du sorgho fibre

### L'itinéraire technique

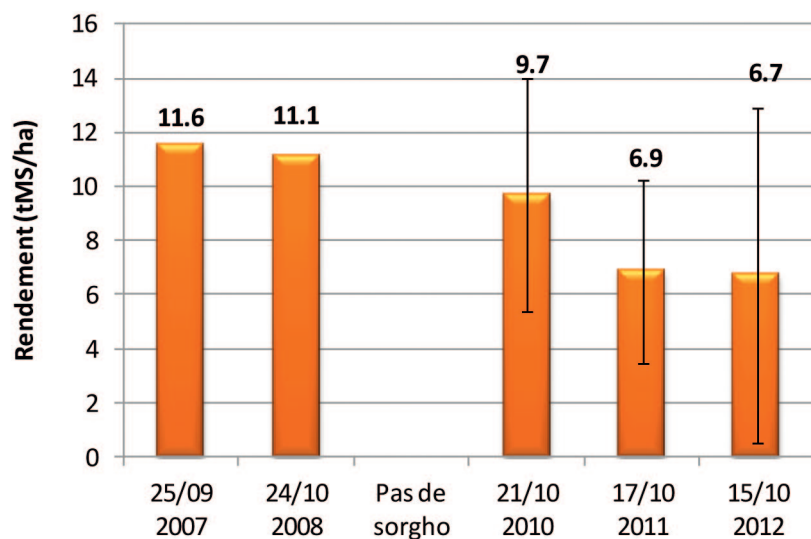
- Préparation du sol (décompactage au chisel + 1 à 2 reprises au vibroculteur) puis semis avec semoir monograine à 2 cm de profondeur
- Semis entre le 09/05 (en 2011) et le 11/06 (en 2008) à une densité de 220 000 grains/ha, variété H133
- Désherbage en végétation :
  - Mercantor (2,5 l/ha) en mai 2010 (stade 2-3 feuilles)
  - Binage manuel en juin 2007 (stade 8 feuilles)
  - Basamais (2,5 l/ha) ou Basagran (1,6 kg/ha) en juin/juillet 2007, 2010, 2011 et 2012 (stade 6-8 feuilles)
  - Pas de désherbage en 2008
- Fertilisation :
  - 2007 : 110 kg N/ha
  - 2008 : pas de fertilisation
  - 2010 : 100 kg N/ha (2 apports), 72 kg P/ha, 44 kg K/ha
  - 2011 : 50 kg N/ha, 50 kg P/ha, 50 kg K/ha
  - 2012 : 115 kg N/ha



© A. BESNARD/Arvalis



Les rendements sur placettes obtenus en automne par le sorgho fibre à Bonanza, de 2007 à 2012



### Les faits marquants

- Grâce à un semis sur un sol frais, une levée régulière a été observée en 2007, 2008 et 2010. Le peuplement est compris entre 112 000 plantes/ha en 2007 et 140 000 plantes/ha en 2010.
- Le sorgho a été semé en conditions sèches en 2011 et 2012, entraînant une levée hétérogène et un peuplement faible (64 000 plantes/ha en 2011, 93 000 plantes/ha en 2012). Ce faible peuplement explique en partie le rendement inférieur à 7 tMS/ha observé.
- De 2010 à 2012, le sorgho a subi un stress hydrique important et précoce (dès mai en 2011 et juin en 2012), ayant probablement impacté la production de biomasse.

## Site d'essai CATENOY (60)



Suivi par la Chambre  
d'agriculture de l'Oise  
60 021 Beauvais

### Le site expérimental

Localisé sur la commune de Catenoy (60 840)  
Parcelles d'environ 200 m<sup>2</sup> pour le switch-  
grass et 3,8 ha pour le miscanthus

### Le sol

- Limon sablo argileux
- Peu calcaire (0,8 à 1,4% de calcaire dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle)
- Pas de cailloux
- Réserve utile estimée  $\approx$  150 mm
- Profondeur exploitable par les racines  $\approx$  100 cm



© A. BESNARD/Arvalis

### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	395 mm	13.4°C	1 857°C	- 335 mm
2011	335 mm	14.8°C	2 178°C	- 423 mm
2012	502 mm	14.0°C	1 985°C	- 178 mm
Moyenne 30 ans	446 mm	13.9°C	1 977°C	- 223 mm

## // Les résultats du miscanthus

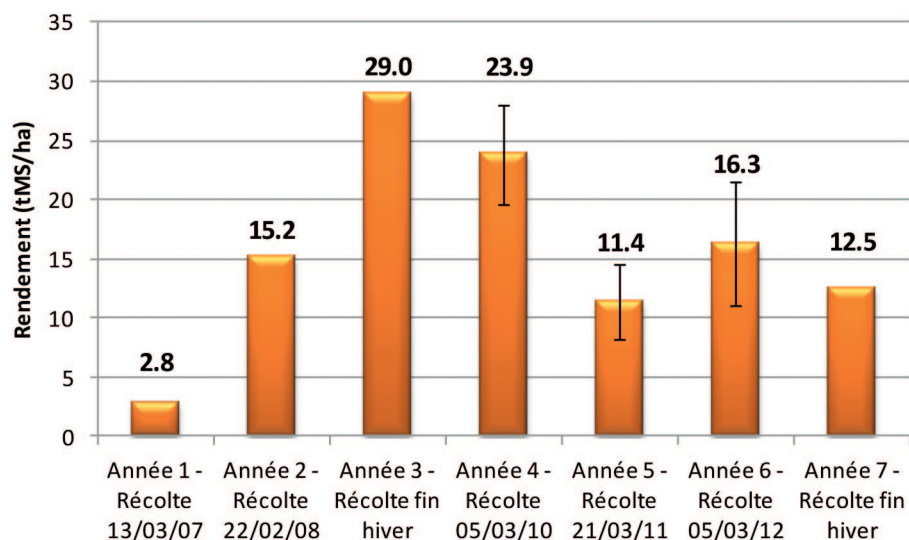
### L'itinéraire technique

2006	Implantation des rhizomes le 2 juin Variété Miscanthus x giganteus (fournisseur ADAS) Désherbage en prélevé du miscanthus avec Bofix (2,5 l/ha) en juin Désherbage en végétation avec Allié (10 g/ha) + Bofix (3 l/ha) en août
2007	/
2008	/
2009	/
2010	/
2011	/
2012	/



© A. BESNARD/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus à Catenoy, de 2007 à 2013



## Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée, avec une densité d'environ 15 600 pieds/ha.
- Les rendements observés sur placettes sont très variables d'une année sur l'autre, probablement en lien avec la méthode de prélèvement et d'estimation du rendement. Entre 2010 et 2013, ils sont compris entre 15,9 et 22,8 tMS/ha en automne, entre 11,4 et 23,9 tMS/ha en hiver.
- Peu de stress hydriques ou azotés sont observés de 2010 à 2012. Le déficit hydrique est faible. Il apparaît tardivement en 2012 (à partir de mi-août) et ne pénalise donc pas la production de biomasse. Il apparaît plus précocement en 2010 (fin juin) et 2011 (fin mai).

## // Les résultats du switchgrass

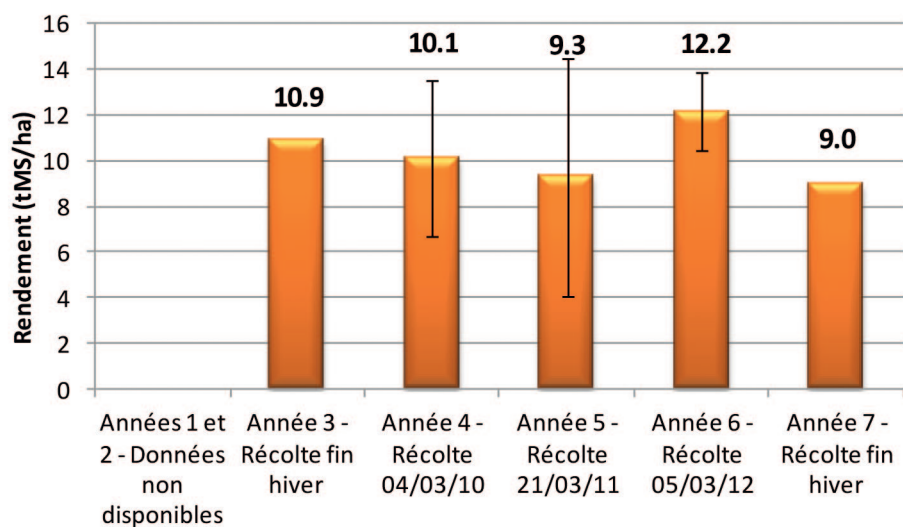
### L'itinéraire technique

2006	Semis le 2 juin, variété Cave-in-Rock Semis à 10 kg/ha au semoir à céréales
2007	/
2008	/
2009	/
2010	/
2011	/
2012	/



© ML SAVOURE/AGT-RT

Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass (variété Cave-in-Rock) à Catenoy, de 2007 à 2013



### Les faits marquants

- Les rendements observés sur placettes sont réguliers et compris entre 8,9 et 12,5 tMS/ha en automne, entre 9,3 et 12,2 tMS/ha en hiver, de 2010 à 2013.
- Le déficit hydrique est très faible. Il apparaît tardivement en 2012 (à partir d'août) et ne pénalise donc pas la production de biomasse. Il apparaît plus précocement en 2010 (début juin) et 2011 (mi-mai).

## Site d'essai GREOUX (04)



Suivi par Arvalis,  
Institut du végétal  
Le Plan, Route de Vinon,  
04 800 Gréoux-les-Bains

### Le site expérimental

Parcelles d'environ 200 m<sup>2</sup> par culture  
Localisé sur la station expérimentale d'Arvalis,  
sur la commune de Gréoux.



© A. BESNARD/Arvalis

### Le sol

- Argile à argile limoneuse calcaire
- Environ 40% de calcaire dans l'horizon de surface
- 10% de cailloux dans l'horizon de surface et en profondeur
- Réserve utile estimée  $\approx$  148 à 157 mm selon les zones de la parcelle
- Profondeur exploitable par les racines  $\approx$  120 cm

### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	445 mm	15.7 °C	2 414°C	- 419 mm
2011	414 mm	17° C	2 704° C	- 493 mm
2012	428 mm	17° C	2 687° C	- 503 mm
Moyenne 30 ans	446 mm	16.1°C	2 492° C	- 436 mm

## // Les résultats du miscanthus

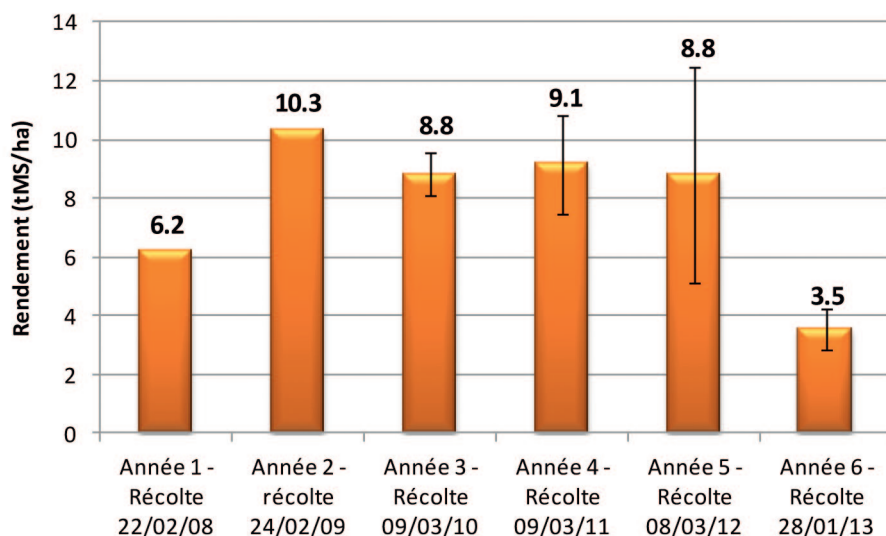
### L'itinéraire technique

2006	Implantation des rhizomes le 2 mai Variété Miscanthus x giganteus (fournisseur ADAS) Irrigation : 4 apports entre mai et août (200 mm au total)
2007	Implantation des rhizomes le 10 avril Variété Miscanthus x giganteus (multiplication des rhizomes implantés en 2006) Désherbage en végétation : Lonpar (1,5 l/ha) en mai Irrigation : 6 apports entre avril et septembre (280 mm au total)
2008	Apport de 80 kg N/ha
2009	Apport de 80 kg N/ha Irrigation : 4 apports entre juin et août (147 mm au total)
2010	Irrigation : 40 mm en août



© A. BESNARD/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus à Gréoux, de 2008 à 2013



## Les faits marquants

- Le miscanthus a été implanté en 2006 mais a mal levé (50% de reprise en moyenne). Les rhizomes ont été réutilisés pour faire du plant et implanter une nouvelle parcelle d'essai en 2007. Le peuplement est d'environ 15 000 pieds/ha.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 10 et 12 tMS/ha en automne ; ils emblent stables à environ 8 tMS/ha en hiver depuis 2010.
- La culture du miscanthus a subi des stress importants, limitant sa production. Depuis 2010, un déficit hydrique est observé dès le mois de juin, et s'avère très important notamment en juillet alors que le miscanthus est en phase de croissance. Ce stress hydrique s'explique en particulier par les conditions climatiques : forte évapotranspiration et pluies faibles. L'irrigation réalisée en 2010, trop tardive, n'a pas permis de limiter l'impact du stress hydrique.

## // Les résultats du switchgrass

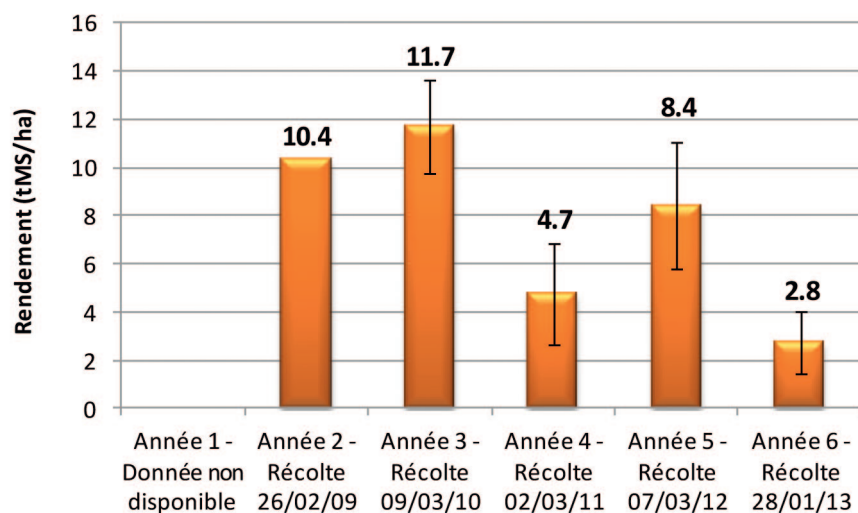
### L'itinéraire technique

2006	Semis le 13 juin, variété Kanlow, à 10 kg/ha Irrigation : 20 mm en juin, puis 60 mm en juillet et en août (140 mm au total) Désherbage en végétation : Basagran (0,2 l/ha) en juin, Lonpar (1,25 l/ha) en juillet
2007	Semis le 26 juin, variété Kanlow, à 10 kg/ha Irrigation : 30 à 50 mm/mois entre avril et septembre (280 mm au total)
2008	Apport de 80 kg N/ha
2009	Apport de 80 kg N/ha Irrigation : 35 mm en juin, 30 + 45 mm en juillet, 37 mm en août
2010	Irrigation : 40 mm en août
2011	Apport de 80 kg N/ha, 10 kg P/ha et 30 kg KCl/ha
2012	Apport de 80 kg N/ha, 10 kg P/ha et 30 kg KCl/ha



© A. BESNARD/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass à Gréoux, de 2008 à 2013



## Les faits marquants

- La culture a eu des difficultés d'implantation. Le premier semis réalisé en juin 2006 a mal levé et avait un enherbement important. Un deuxième semis a été réalisé en 2007, suivi de plusieurs irrigations immédiatement après le semis puis en végétation, permettant d'assurer la levée.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 9 et 12 tMS/ha en automne et entre 5 et 12 tMS/ha en fin d'hiver, depuis 2010.
- Depuis 2010, un déficit hydrique est observé dès le mois de juin, et s'avère important notamment en juillet alors que le switchgrass est en phase de croissance. Ce stress hydrique s'explique en particulier par les conditions climatiques : forte évapotranspiration et pluies faibles. L'irrigation réalisée en 2010, trop tardive, n'a pas permis de limiter l'impact du stress hydrique sur la production de biomasse.

## Site d'essai LE CHESNOY (45)



Suivi par la Chambre d'agriculture du Loiret et l'exploitation agricole du Chesnoy EPLEFPA du Loiret, 45 200 AMILLY

### Le site expérimental

Localisé sur l'exploitation du lycée agricole du Chesnoy, sur des parcelles d'environ 9 000 m<sup>2</sup> pour le miscanthus et 6 000 m<sup>2</sup> pour le switchgrass

#### Le sol

- Sable argileux calcaire, caillouteux et superficiel
- 49 à 50,5 % de calcaire et dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle
- 20 % de cailloux
- Réserve utile estimée ≈ 55 à 75 mm selon les zones de la parcelle
- Profondeur exploitable par les racines de 50 cm



© A. BESNARD/Arvelis

#### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	398 mm	14,1°C	2 050°C	- 384 mm
2011	351 mm	15,2°C	2 268°C	- 412 mm
2012	489 mm	14,5°C	2 101°C	- 222 mm
Moyenne 6 ans	438 mm	14,6°C	2 123°C	- 292 mm

## TÉMOIGNAGE

### Les lycées agricoles expérimentent en cultures lignocellulosiques

Capucine JARLOT (directrice de l'exploitation agricole), Laurence MARIEL (enseignante)  
EPLFPA du Loiret

« La participation de l'EPL du Chesnoy au réseau expérimental LIGNOGUIDE nous a permis d'agir sur l'animation et le développement du territoire. Nous sensibilisons les agriculteurs et d'autres professionnels au moyen d'événements organisés par le lycée, notamment autour de la récolte des cultures biomasse. Les sujets que nous étudions portent sur la rentabilité dans les exploitations agricoles, l'implantation des cultures et leurs débouchés possibles. »

« Notre parcelle expérimentale a permis de montrer aux étudiants une possibilité de diversification de l'assolement, les exigences d'un projet expérimental, ainsi que la conduite technique et l'élaboration du rendement des cultures de miscanthus et switchgrass. »



## // Les résultats du miscanthus

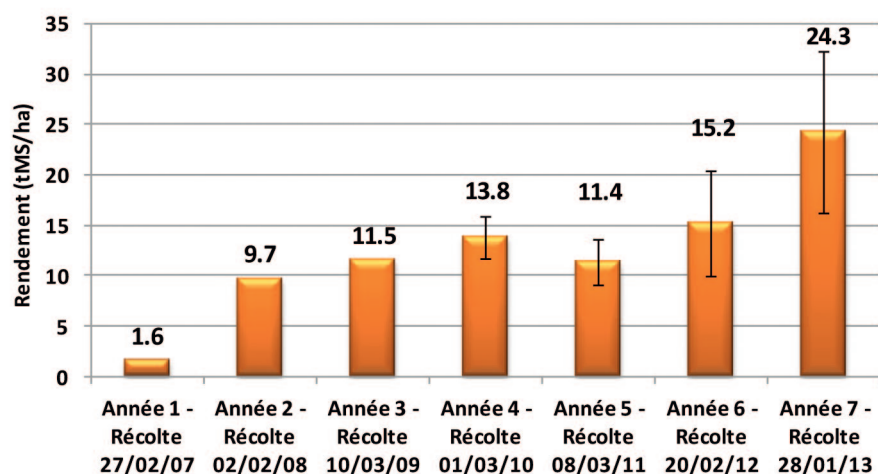
### L'itinéraire technique

2006	Implantation des rhizomes le 3 mai 2006 Variété Miscanthus x giganteus (Fournisseur ADAS) Irrigation : 3 apports de 30 mm en juin et juillet Désherbage en végétation : Bofix (2.5 L/ha) en juin, Exel (1L/ha) en juin
2007	/
2008	/
2009	/
2010	Apport de 40 kg N/ha
2011	/
2012	/



© A. BESNARD/Arvalis

Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus au Chesnoy, de 2007 à 2013



### Les faits marquants

- La culture a connu des difficultés d'implantation : la sécheresse après la plantation et des attaques de lapins ont conduit à des pertes de pieds. Le peuplement est d'environ 11 000 pieds/ha, avec de fortes hétérogénéités dans la parcelle. Le salissement est important dans les zones à faible peuplement.
- Entre 2010 et 2013, les rendements observés sur placettes sont compris entre 18.1 et 28.6 tMS/ha en automne, entre 11.4 et 24.3 tMS/ha en hiver.
- De 2010 à 2012, la productivité du miscanthus semble avoir été limitée par des stress hydriques, liés à la très faible réserve utile du sol.

## // Les résultats du switchgrass

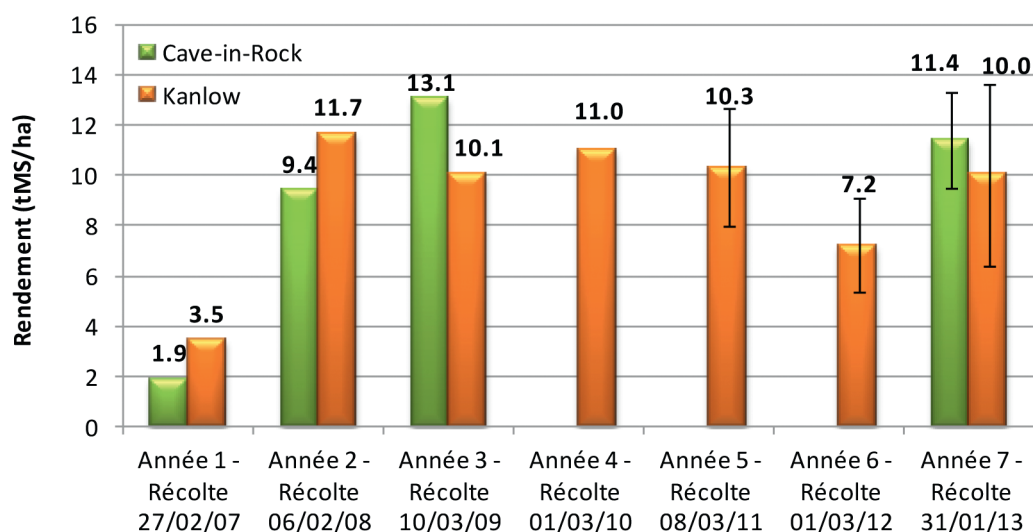
### L'itinéraire technique

2006	Semis le 3 mai 2006 Variétés Kanlow et Cave-in-Rock Semis à 10 kg/ha Irrigation : 3 apports de 30 mm en juin et juillet Désherbage en végétation : Bofix (2.5 L/ha) en juin, Exel (1L/ha) en juin
2007	/
2008	/
2009	/
2010	Apport de 80 kg N/ha
2011	/
2012	/



© A. BESNARD/Arvalis

Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass, variétés Kanlow et Cave-in-Rock au Chesnoy, de 2007 à 2013



### Les faits marquants

- Le switchgrass s'est très bien implanté et développé, avec des plantes atteignant déjà 73 cm (pour la variété Kanlow) de hauteur l'année d'implantation (2006).
- De 2010 à 2012, les rendements observés sur placettes sont compris entre 9.3 et 11.5 tMS/ha en automne, entre 7.2 et 11 tMS/ha en hiver, pour la variété Kanlow.
- La culture de switchgrass a subi un stress hydrique limitant sa production en particulier en 2010 et 2011 (stress précoce, dès mai). Il s'explique en particulier par la faible réserve utile du sol.
- La variété Cave-in-Rock semble produire des plantes moins hautes mais plus précoces à épiaison.

## Site d'essai LE SUBDRAY (18)



Suivi par AXEREAAL  
Domaine du Chaumoy,  
18 570 Le Subdray

### Le site expérimental

Parcelles d'environ 200 m<sup>2</sup> par culture  
Localisé sur la station expérimentale Le Chaumoy  
d'Axéreal (ancien Epis-Centre)



© A. BESNARD/Arvalis

### Le sol

- Argile limono-sableuse calcaire, caillouteuse et superficielle
- 5,9 à 13,4 % de calcaire et 10 à 25 % de cailloux dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle
- Réserve utile estimée ≈ 125 mm
- Profondeur exploitable par les racines de 60 à 80 cm

### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	420 mm	14.9°C	2 063°C	- 412 mm
2011	364 mm	16.1°C	2 553°C	- 511 mm
2012	474 mm	15.7°C	2 369°C	- 367 mm
Moyenne 30 ans	495 mm	15°C	2 240°C	- 273 mm

## // Les résultats du miscanthus

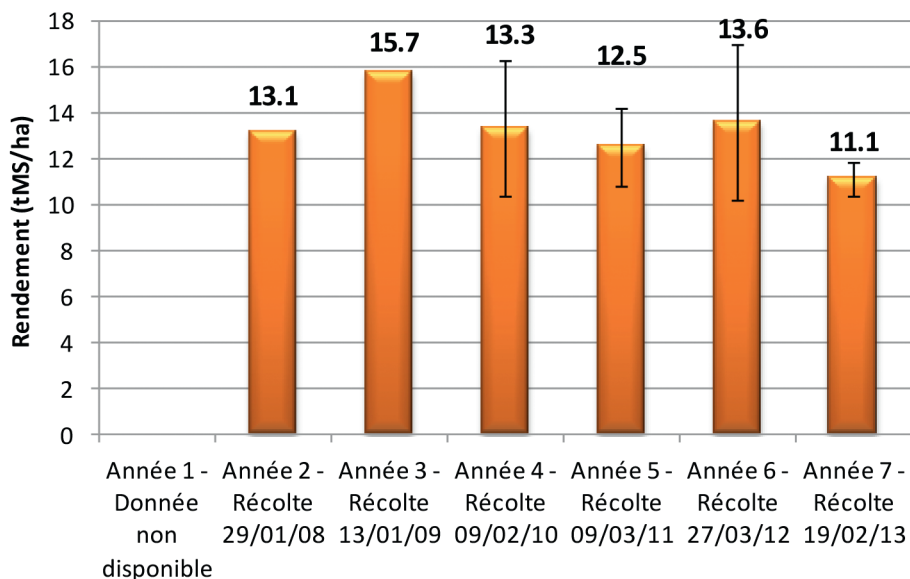
### L'itinéraire technique

2006	Implantation des rhizomes le 30 mai 2006 Variété Miscanthus x giganteus (fournisseur BICAL) Désherbages en végétation : Mikado (0.6 l/ha) en juin, Adagio (2 l/ha) + Cadeli (1 l/ha) en juillet Irrigation 6*10 mm en juin et juillet Apport de 60 kg N/ha, 60 kg P/ha, 60 kg K/ha et 60 kg S/ha
2007	Désherbage total (Reglone) en février Apport de 60 kg N/ha
2008	Apport de 80 kg N/ha, 60 kg Mg/ha et 120 kg S/ha
2009	Apport de 80 kg N/ha, 66 kgP/ha, 24 kg K/ha et 60 kg S/ha
2010	Apport de 40 kg N/ha
2011	Apport de 30 kg P/ha et 100 kg K/ha
2012	Apport de 40 kg N/ha et 100 kg K/ha



© A. BESNARD/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus au Subdray, de 2008 à 2013



### Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée, avec une densité d'environ 15 000 pieds/ha.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 16,8 et 21 tMS/ha en automne, entre 11,1 et 13,5 tMS/ha en hiver depuis 2010.
- La culture du miscanthus a subi des stress, limitant sa production. En 2011, le stress hydrique a été particulièrement précoce (dès début mai) et impactant : de fortes hétérogénéités sont apparues dans la parcelle. Des arrêts de croissance de certaines touffes ont été observés.
- Sur ce site, les températures et l'ensoleillement sont favorables au miscanthus, mais la faible réserve utile soumet la culture à un déficit hydrique fréquent.
- La verse a touché la parcelle de miscanthus en 2012.

## // Les résultats du switchgrass

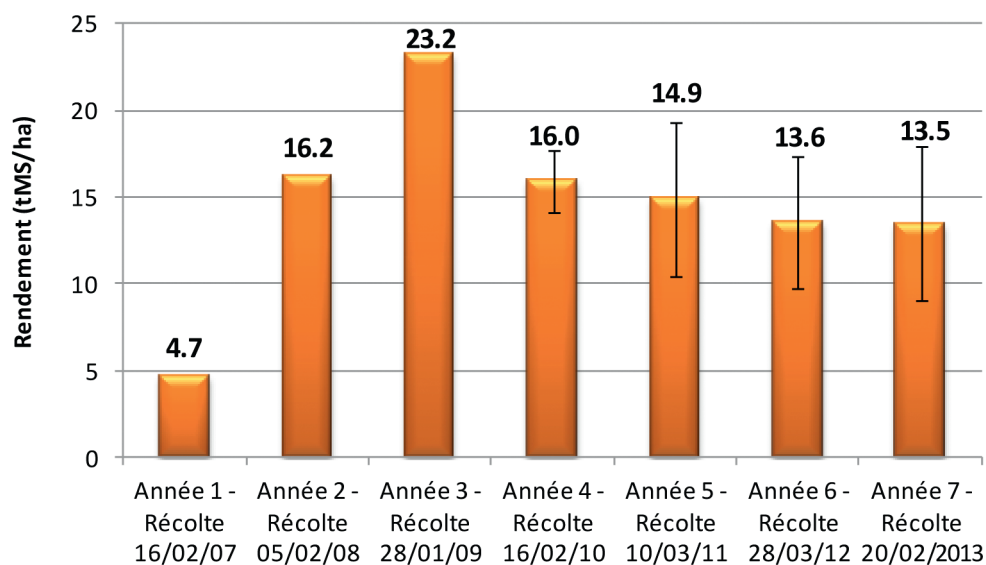
### L'itinéraire technique

2006	Semis le 13 juin 2006, variété Kanlow à 10 kg/ha. Levée de 157 plantes/m <sup>2</sup> Irrigation 6*10 mm en juin et juillet Désherbage Adagio (2 l/ha) + Cadeli (2 l/ha) en juillet Apport 60 kg N/ha, 60 kg P/ha, 60 kg K/ha et 60 kg S/ha
2007	Désherbage Bofix (4 l/ha) en mai Apport 60 kg N/ha
2008	Apport de 60 kg N/ha, 60 kg Mg/ha et 120 kg S/ha
2009	Désherbage Bofix (4 l/ha) en mai Apport de 80 kg N/ha, 66 kg P/ha, 24 kg K/ha et 60 kg S/ha
2010	Apport de 80 kg N/ha
2011	Apport de 30 kg P/ha et 30 kg K/ha
2012	Apport de 80 kg N/ha et 30 kg K/ha



© A. BESNARD/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass au Subdray, de 2007 à 2013



## Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée, avec une densité estimée à 157 plantes/m<sup>2</sup> l'année d'implantation.
- Les rendements observés sur placettes sont réguliers et compris entre 15,8 et 18,3 tMS/ha en automne, entre 13,5 et 16 tMS/ha en hiver depuis 2010.
- Des stress hydriques apparaissent fin juin en 2010 et 2012, dès fin avril en 2011. Avec un stress hydrique important au printemps 2011, la production de biomasse du switchgrass a probablement été impactée et de fortes hétérogénéités sont apparues dans la parcelle.
- La verse a touché la parcelle en 2007 et 2011.

## // Les résultats du sorgho fibre

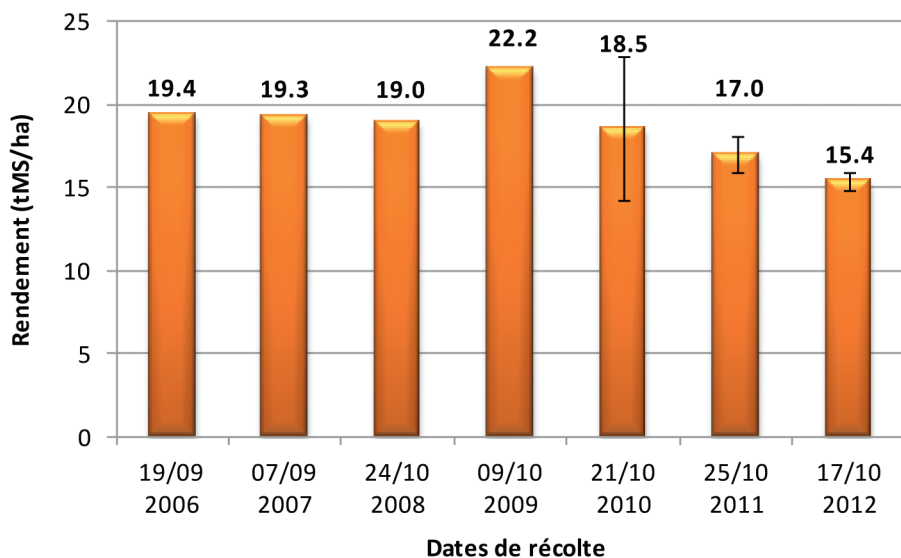
### L'itinéraire technique

- Préparation du sol puis semis avec semoir pneumatique
- Semis entre le 19/04 (en 2007) et le 24/05 (en 2006)
- De 2010 à 2012 uniquement :
  - Apport 120 kg N/ha (en 2 apports en 2010), 60 kg P/ha et 60 kg K/ha ainsi que 60 kg S/ha en 2012
  - Désherbage avec Emblem (2.25 kg/ha) au stade 4-5 feuilles (en 2010 et 2011), Basamais (2.5 L/ha) en 2012



© A. BESNARD/Arvélis

### Les rendements sur placettes obtenus en automne par le sorgho fibre au Subdray, de 2006 à 2012



### Les faits marquants

- Malgré des dates de semis très précoces en 2007, 2009, 2010 et 2011 pour la région Centre (avant le 5 mai), la levée a été réussie avec un peuplement proche de l'objectif de 200 000 pieds/ha (130 600 à 216 000 pieds/ha selon les années).
- Les rendements mesurés sur placettes en automne sont élevés avec une moyenne de 18,7 tMS/ha sur 7 ans (15,4 à 22,2 tMS/ha).
- De 2010 à 2012, le stress hydrique semble avoir impacté la culture. Il a été précoce en particulier en 2010 et 2011 (dès fin mai – début juin).

## Site d'essai MARCHAIS (02)



Suivi par la Chambre  
d'agriculture de l'Aisne  
1 rue René Blondelle  
02 007 Laon cedex

### Le site expérimental

Localisé sur le Domaine de Marchais (02 350)  
Parcelles de 1 ha pour le miscanthus  
et switchgrass, 225 m<sup>2</sup> pour le sorgho



© A. BESNARD/Arvelis

### Le sol

- Sable avec 3 à 5 % d'argile et 2 à 3 % de limon en surface
- 8,6 à 12,6 % de calcaire et dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle
- Pas de cailloux
- Réserve utile estimée  $\approx$  78 mm
- Profondeur exploitable par les racines  $\approx$  60 cm

### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	430 mm	13.4°C	1 876°C	- 289 mm
2011	349 mm	14.5°C	2 093°C	- 374 mm
2012	601 mm	13.6°C	1 891°C	- 39 mm
Moyenne 21 ans	470 mm	13.8°C	1 939°C	- 186 mm

## // Les résultats du miscanthus

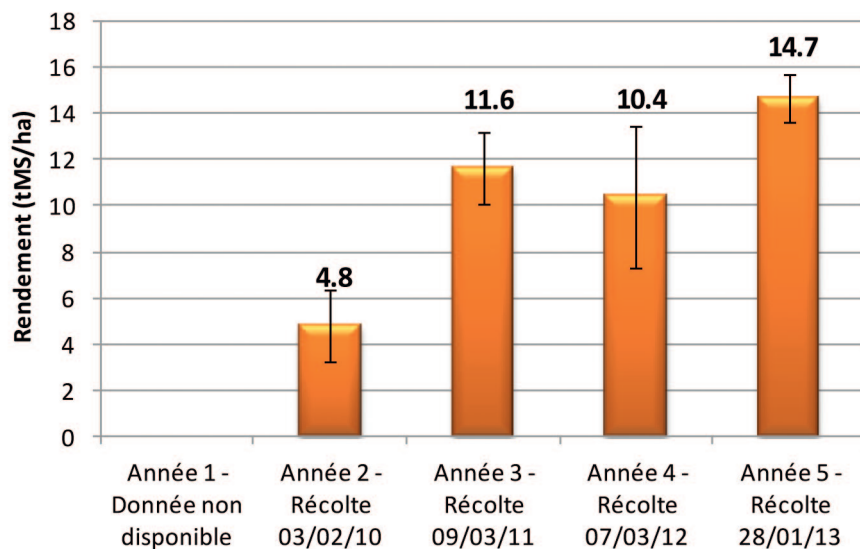
### L'itinéraire technique

2008	Implantation des rhizomes le 28 avril Variété Miscanthus x giganteus Désherbage avec Bofix (3 l/ha) + Allié (13 g/ha)
2009	Apport de 60 kg N/ha
2010	Désherbage total (Round up 3 l/ha) avant redémarrage Apport de 60 kg N/ha
2011	Apport de 52 kg N/ha
2012	Apport de 50 kg N/ha



© A. BESNARD/Arvelis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus à Marchais, de 2009 à 2013



## Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée, avec une densité d'environ 14 000 pieds/ha, variable selon les zones de la parcelle (10 500 à 14 700 pieds/ha).
- Les rendements observés de 2010 à 2013 sur placettes sont compris entre 9 et 24 tMS/ha en automne, entre 4,8 et 14,7 tMS/ha en hiver. Le rendement le plus faible obtenu en hiver 2010 correspond à la 2<sup>e</sup> année après implantation, considérée comme une année où la pleine production n'est pas atteinte.
- Peu de stress hydriques ou azotés sont observés de 2010 à 2012. Le déficit hydrique est faible. Il apparaît tardivement en 2012 (à partir d'août) et ne pénalise donc pas la production de biomasse. Il apparaît plus précocement en 2010 (mi-juin) et 2011 (mi-mai).

## // Les résultats du switchgrass

### L'itinéraire technique

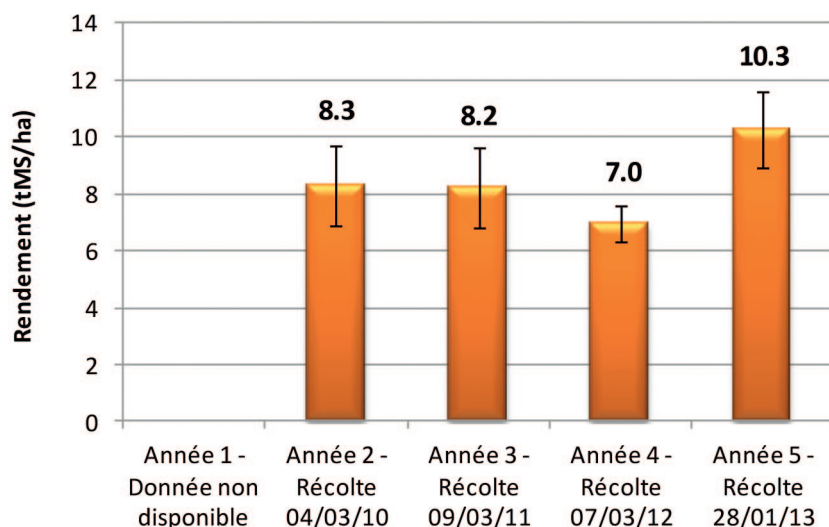
2008	Semis le 16 mai, variété Kanlow. Semis à 10 kg/ha
2009	Apport de 80 kg N/ha
2010	Apport de 80 kg N/ha
2011	Apport de 52 kg N/ha
2012	Apport de 50 kg N/ha



© A. BESNARD/Arvelis



## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass à Marchais, de 2009 à 2013



## Les faits marquants

- L'implantation du switchgrass est réussie avec un peuplement homogène.
- Les rendements observés sur placettes sont réguliers et compris entre 9,1 et 11,9 tMS/ha en automne, entre 7 et 10,3 tMS/ha en hiver, de 2010 à 2013.
- Le déficit hydrique est très faible. Il apparaît tardivement en 2012 (à partir d'août) et ne pénalise donc pas la production de biomasse. Il apparaît plus précocement en 2010 (fin juin) et 2011 (mi-mai).
- Durant l'hiver 2011, la neige a provoqué la verse de la culture et a plaqué les plantes au sol.

## // Les résultats du sorgho fibre

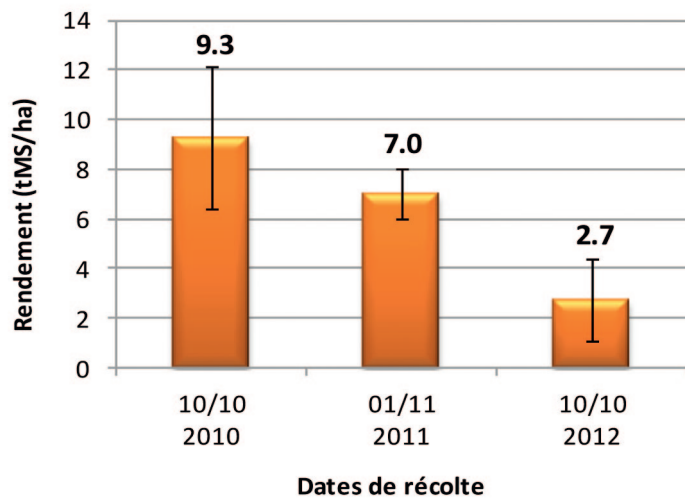
### L'itinéraire technique

- Préparation du sol superficielle puis semis avec semoir à maïs en 2010 et 2011, semoir à céréales en 2012.
- Semis réalisé le 30/05/11 et le 06/06/12.
- Pas de fertilisation
- Désherbage :
  - pas de désherbage en 2011
  - 2012 : Cadeli (1 l/ha) au stade 3-4 feuilles (début juillet)



© A. BESNARD/Arvalis

Les rendements sur placettes obtenus en automne par le sorgho fibre à Marchais, de 2010 à 2012



### Les faits marquants

- Le semis du sorgho a souvent été réalisé tardivement, mais dans de bonnes conditions. La levée est homogène et le peuplement élevé.
- De 2010 à 2012, le sorgho a subi un stress hydrique très faible ayant probablement peu impacté la production de biomasse.

## Site d'essai MONTANS (81)



Suivi par Arvalis,  
Institut du végétal  
3 chemin de Bellevue,  
81 600 Montans

### Le site expérimental

Parcelles d'environ 1,3 ha par culture  
Localisé chez un agriculteur sur la commune de Montans



© Y. MESTOURI/Arvalis

### Le sol

- Limon sablo-argileux caillouteux
- 0,1% de calcaire et 15 à 40% de cailloux dans l'horizon de surface, variable selon les zones de la parcelle
- Pour la parcelle de switchgrass : réserve utile de 43 mm et 60 cm de profondeur de sol
- Pour la parcelle de miscanthus : réserve utile de 114 mm et 80 cm de profondeur de sol

### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	426 mm	16.7°C	2 649°C	- 356 mm
2011	351 mm	15.2°C	2 268°C	- 412 mm
2012	371 mm	17.5°C	2 819°C	- 468 mm
Moyenne 30 ans	471 mm	16.8°C	2 645°C	- 287 mm

## // Les résultats du miscanthus

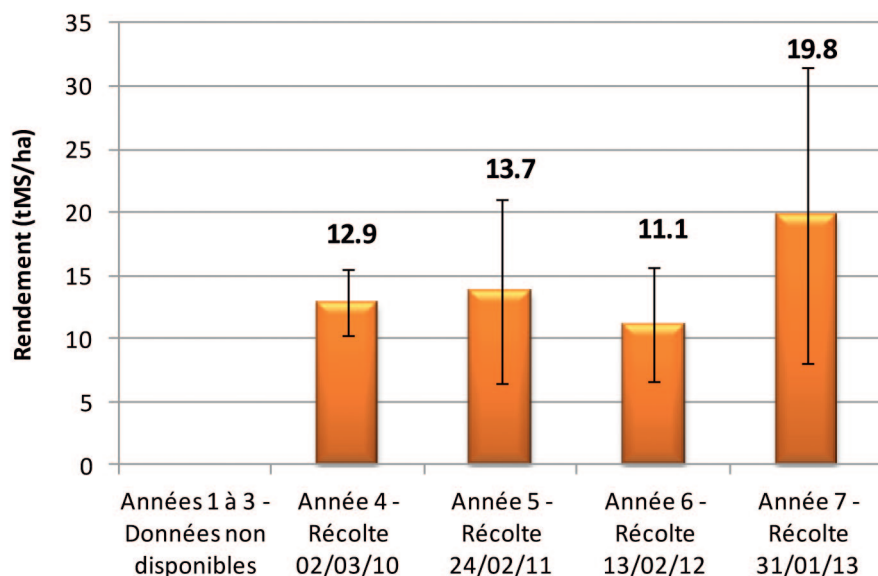
### L'itinéraire technique

2006	Implantation des rhizomes le 4 mai Variété Miscanthus x giganteus (fournisseur ADAS) Désherbage en végétation : Ariane (2,5 l/ha) en août
2007	Désherbage total (Round Up 3 l/ha) en mars avant redémarrage Passage d'un outil à dents en mars avant redémarrage Désherbage en végétation : Prowl (3 l/ha) en avril
2008	Apport de 80 kg N/ha
2009	Apport de 100 kg N/ha
2010	Apport de 40 kg N/ha
2011	Apport de 40 kg N/ha
2012	Apport de 40 kg N/ha



© Y. MESTOURI/Arvalis

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus à Montans, de 2007 à 2013



## Les faits marquants

- La culture a connu des difficultés d'implantation : la sécheresse et le salissement de la parcelle ont entraîné des pertes de pieds. En 2007, des rhizomes ont été replantés pour combler les manques. La parcelle reste hétérogène, avec un peuplement variant de 9 000 à 13 000 plantes/ha.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 20 et 21,4 tMS/ha en automne, entre 11,1 et 19,8 tMS/ha en hiver depuis 2010 (hauteur de coupe de 10 cm).
- La culture du miscanthus a subi des stress, limitant sa production. Depuis 2010, le stress hydrique a été particulièrement impactant, avec un déficit hydrique important notamment en juillet alors que le miscanthus est en phase de croissance. Il s'explique en particulier par les conditions climatiques : forte évapotranspiration et pluies peu abondantes.
- Des récoltes avec machine de grande parcelle ont été réalisées en sortie d'hiver. Les rendements obtenus sont de 7,4 tMS/ha en 2011 et 6 tMS/ha en 2012, avec une hauteur de coupe de 23 cm en 2011 et 19 cm en 2012.

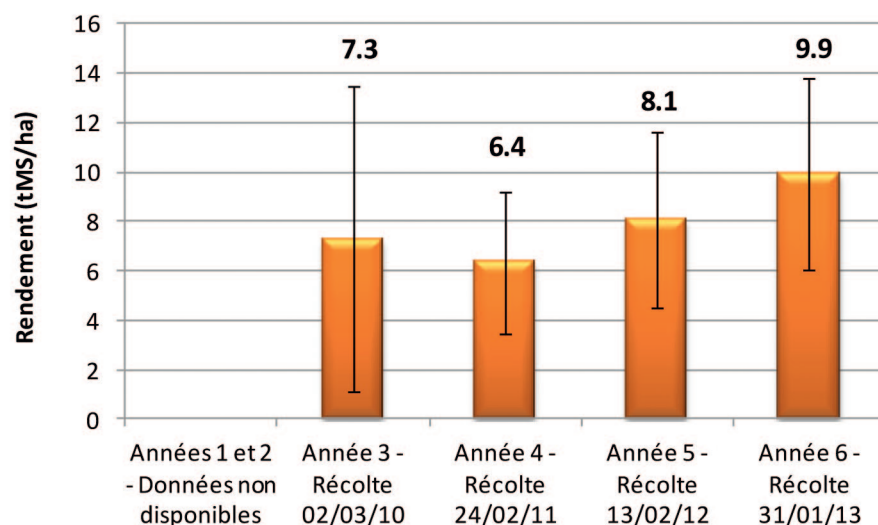
## // Les résultats du switchgrass

### L'itinéraire technique

2006	Semis le 3 juin, variété Kanlow Pas de levée
2007	Semis le 19 avril, variété Kanlow.
	Semis à 10 kg/ha Désherbage en végétation : Allié (10 g/ha) + Ariane (2,5 l/ha) en juin
2008	Apport de 80 kg N/ha
2009	Apport de 100 kg N/ha
2010	Apport de 80 kg N/ha
2011	Apport de 80 kg N/ha
2012	Apport de 40 kg N/ha



## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass à Montans, de 2008 à 2013



## Les faits marquants

- La culture a eu des difficultés d'implantation. Le premier semis réalisé début juin 2006 a n'a pas levé. La culture a correctement levé après un deuxième semis en 2007 mais a été concurrencée par les adventices.
- Les rendements observés sur placettes sont compris entre 8,3 et 13,5 tMS/ha en automne et entre 6,4 et 9,9 tMS/ha en fin d'hiver, depuis 2010 (hauteur de coupe de 10 cm).
- La culture de switchgrass a subi des stress hydriques, avec un déficit hydrique important dès le mois de juin, ayant probablement limité sa production. Ce déficit hydrique est plus important pour le switchgrass que pour le miscanthus, en raison d'une réserve utile du sol plus faible pour le switchgrass (sol moins profond et avec davantage de cailloux).
- Des récoltes avec machine de grande parcelle ont été réalisées en sortie d'hiver. Les rendements obtenus sont de 5,1 tMS/ha en 2011 et 6,4 tMS/ha en 2012, avec une hauteur de coupe de 18 cm en 2011 et 14 cm en 2012.

## Site d'essai NOJEON EN VEXIN (27)



Suivi par la Chambre  
d'agriculture de l'Eure  
27 008 Evreux

### Le site expérimental

Localisé sur la commune de Nojeon en Vexin (27 150),  
sur des parcelles d'environ 220 m<sup>2</sup> par culture.

#### Le sol

- Limon argileux
- Non calcaire (0,2% de calcaire maximum)
- 5% de cailloux en surface, 15% en profondeur
- Réserve utile estimée ≈ 120 mm
- Profondeur exploitable par les racines ≈ 75 cm



© R. LAUREAU/CA27

#### Le climat du 1<sup>er</sup> mars au 31 octobre

	Pluies	Température moyenne	Somme de températures (degrés-jours en base 6°C)	Pluies - ETP
2010	374 mm	13.3°C	1 844°C	- 336 mm
2011	326 mm	14.1°C	1 998°C	- 407 mm
2012	480 mm	13.5°C	1 852°C	- 195 mm
Moyenne 30 ans	465 mm	13.7°C	1 928°C	- 179 mm

### // Les résultats du miscanthus

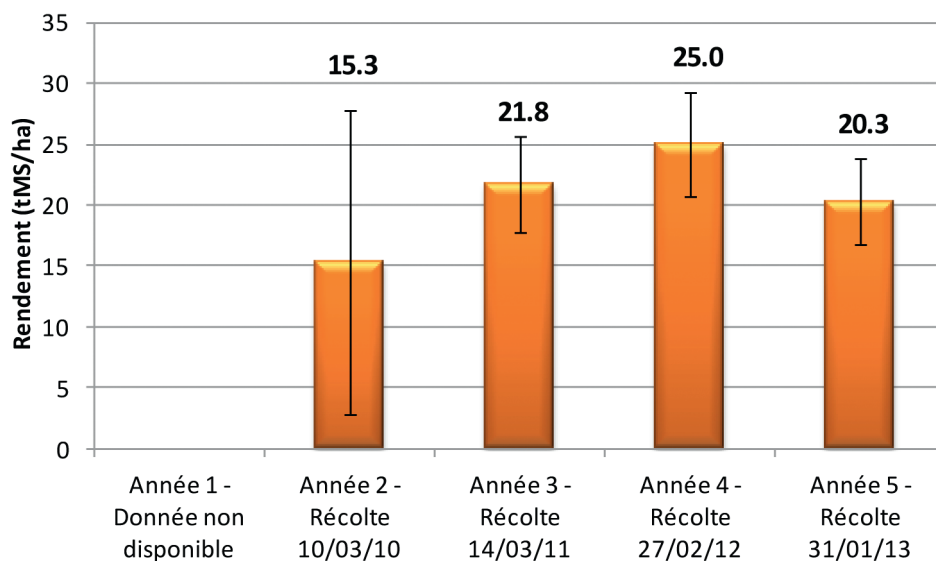
#### L'itinéraire technique

2008	Implantation des rhizomes le 17 avril 2008 Variété Miscanthus x giganteus (fournisseur danois)
2009	Désherbage au Round Up localisé en avril (ronds de chiendent)
2010	Apport de 40 kg N/ha
2011	Apport de 40 kg N/ha, 30 kg P/ha et 100 kg K/ha
2012	Apport de 40 kg N/ha et 100 kg K/ha



© A. BESNARD/Arvalis

Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le miscanthus à Nojeon, de 2009 à 2013



## Les faits marquants

- La culture s'est bien implantée, avec une densité d'environ 13 900 pieds/ha.
- Les températures et l'ensoleillement de ce site limitent le potentiel de production du miscanthus, en comparaison aux sites du centre et sud de la France. Les rendements observés s'avèrent néanmoins les plus élevés du réseau : 24 à 35 tMS/ha en automne, 15 à 25 tMS/ha en hiver depuis 2010.
- Le miscanthus a été très peu impacté par des stress hydrique ou azoté de 2010 à 2012.
- Des larves d'insectes ont été observées dans des tiges en août 2011. Les dégâts occasionnés (rupture de tiges) ne semblent pas avoir impacté le rendement.

## // Les résultats du switchgrass

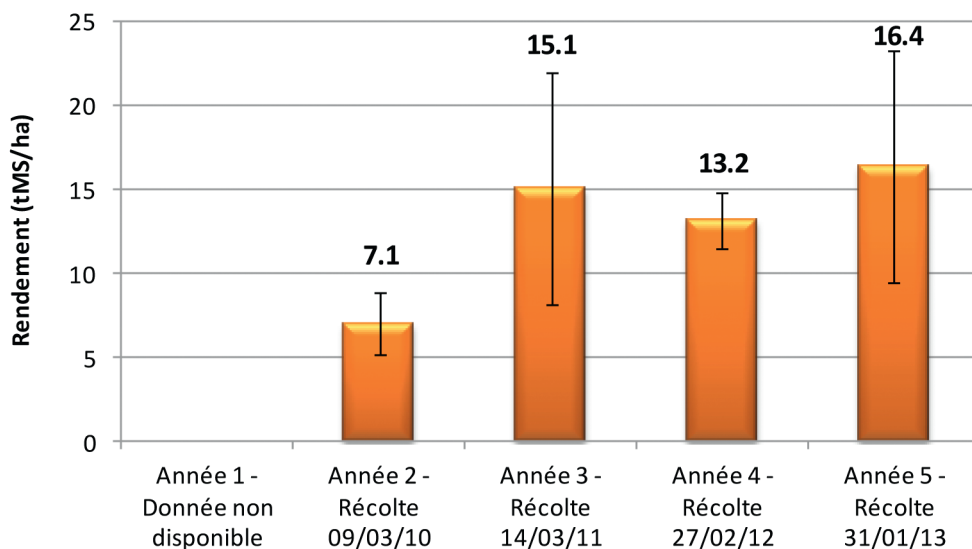
### L'itinéraire technique

2008	Semis le 15 mai 2008, variété Cave-in-Rock. Semis à 10 kg/ha
2009	/
2010	Apport de 80 kg N/ha
2011	Apport de 80 kg N/ha, 30 kg P/ha et 30 kg K/ha
2012	Apport de 40 kg N/ha et 30 kg K/ha



© F. LAUREAU/CAR7

## Les rendements sur placettes obtenus en fin d'hiver par le switchgrass à Nojeon, de 2009 à 2013



## Les faits marquants

- Les températures et l'ensoleillement de ce site limitent le potentiel de production du switchgrass, en comparaison aux sites du centre et sud de la France. Les rendements observés s'avèrent néanmoins parmi les plus élevés du réseau : 17 à 22 tMS/ha en automne, 7 à 16 tMS/ha en hiver depuis 2010. Les résultats les plus faibles sont obtenus en 2010, en fin de 2<sup>e</sup> année après implantation.
- Le switchgrass a été très peu impacté par des stress hydrique ou azoté de 2010 à 2012. Les rendements obtenus sont très proches des rendements potentiels.
- Durant l'hiver 2011, la neige a provoqué la verse de la culture, avec des tiges cassées à environ 20 cm du sol.

## // Les résultats du sorgho fibre

### L'itinéraire technique

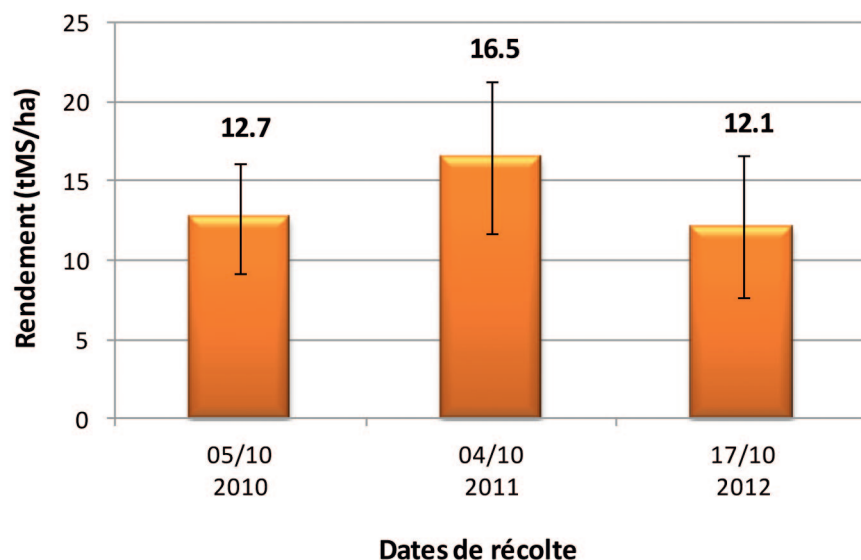
- Parcelle en précédent jachère en 2009
- Préparation du sol superficielle puis semis avec semoir mécanique en 2010, manuel en 2011 et 2012.
- Semis réalisé vers le 20-25/05 (2011 et 2012), le 04/06 en 2010.
- Fertilisation :
  - 120 kg N/ha avant semis
  - 60 kg P/ha en 2011 et 2012
  - 60 kg K/ha en 2011
- Désherbage :
  - 2010 : Emblem (2.25 kg/ha) au stade 4-5 feuilles, binage en août
  - 2011 : Emblem (0.6 kg/ha) + Mikado (0.6 L/ha) au stade 3-4 feuilles
  - 2012 : Glyphogan (3 L/ha) avant semis, Emblem (0.75 kg/ha)
  - + Mikado (3 L/ha) au stade 3 feuille



© R. LAUREAU/CA 27



Les rendements sur placettes obtenus en automne par le sorgho fibre à Nojeon, de 2010 à 2012



### Les faits marquants

- L'implantation a été difficile en 2010 : après un semis tardif, des dégâts de taupin ont été observés. Le peuplement est donc faible en 2010 : environ 80 000 plantes/ha (objectif de peuplement de 200 000 plantes/ha). La densité de peuplement est supérieure en 2011 et 2012 et proche de l'objectif.
- Les rendements varient de 12 à 16 tMS/ha, et ne semblent pas avoir été impactés par des stress hydriques ou azotés.

## II.2 - Éléments climatiques déterminants (pluie et évapotranspiration)

### II.2-1 Méthodologie

Comme pour les cultures alimentaires, la disponibilité en eau est un déterminant essentiel des niveaux de production des cultures lignocellulosiques. Cette disponibilité résulte de l'offre (précipitations) et de la demande (évapotranspiration) climatiques durant la saison de végétation, mais également de la réserve utile du sol. Il est ainsi nécessaire de prendre en compte la contrainte hydrique liée au climat et au sol dans la décision d'implantation (ou non) de cultures lignocellulosiques.

Le projet LIGNOGUIDE ne comporte pas d'expérimentations dédiées à l'alimentation en eau de ces cultures. Par conséquent, il ne propose pas de fonctions dites « de production », associant un niveau de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) et un niveau de rendement (Rendement-ETR/RendementETM) pour chaque espèce. De telles fonctions n'ont pas non plus été produites par les travaux antérieurs sur les cultures ligno-cellulosiques.

Ainsi, afin de fournir des recommandations concernant les réserves utiles minimales requises pour obtenir des niveaux de production économiquement viables, en fonction de la localisation en France (climat et sol), une analyse en trois étapes est réalisée.

#### • Etape 1 : examen de la contrainte hydrique climatique en France

La disponibilité climatique en eau est examinée, en divers points du territoire national, en s'appuyant sur un ensemble de 237 stations météorologiques, appartenant à Arvalis-Institut du végétal, à l'INRA, ou à Météo France et distribuées comme suit.



Figure II-2/1 : répartition des stations météorologiques utilisées dans le projet LIGNOGUIDE.

Pour chacun de ces 237 sites, la disponibilité hydrique climatique est caractérisée au moyen du déficit hydrique climatique (précipitations – évapotranspiration potentielle) cumulé sur la saison de végétation, soit les mois de mai à septembre inclus jugés pertinents pour une approche France entière. Ce déficit hydrique climatique est calculé pour toutes les années entre 1981 et 2011, ce qui permet d'en déduire la médiane (probabilité de dépassement de 50 %) ainsi que le 8<sup>e</sup> décile (probabilité de dépassement de 20 %).

Le croisement de ces deux critères statistiques dessine la gamme des déficits hydriques climatiques rencontrés en France, gamme décrite dans la figure II-2/2 ci-après à la fois sous l'angle des événements fréquents (médiane en abscisse) et des événements plus rares (8<sup>e</sup> décile en ordonnée). Cette gamme couvre correctement l'étendue des possibles en France métropolitaine car notre réseau de 237 stations inclut les sites parmi les plus arrosés (Biarritz, Besançon, Oloron) et parmi les plus secs de France (Marignane, Perpignan).

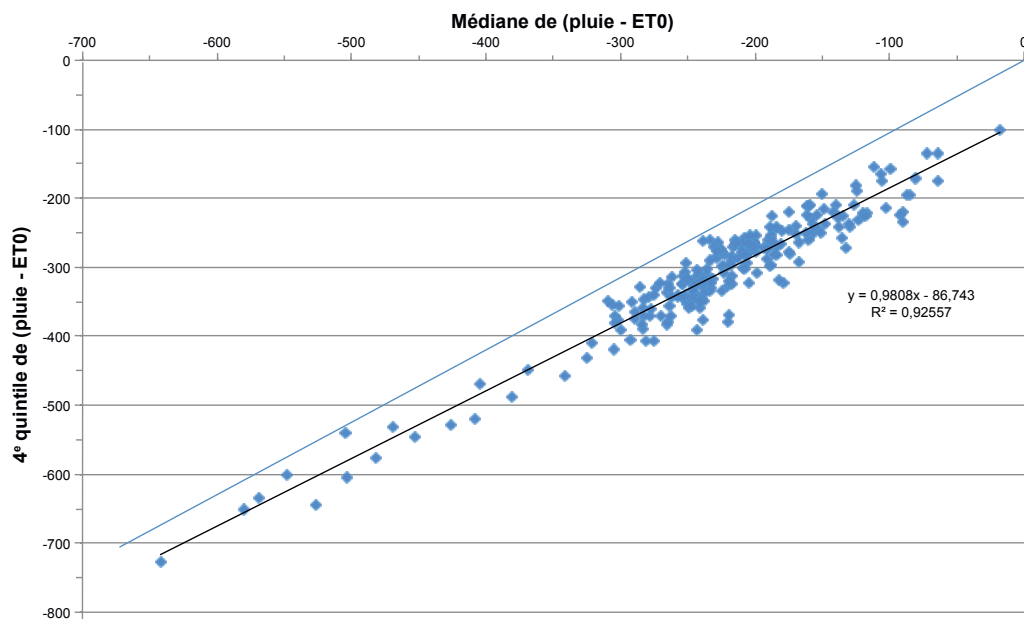


Figure II-2/2 : médianes (en abscisse) et 4<sup>e</sup> quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique (pluie-évapotranspiration potentielle) des 237 stations utilisées dans le projet LIGNOGUIDE (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

### • Etape 2 : estimation de la réserve utile requise.









A chaque localisation est associée une réserve utile minimale permettant d'atteindre des niveaux de production économiquement viables en analysant dans un premier temps la distribution statistique des déficits hydriques climatiques « 8<sup>e</sup> décile » pour l'ensemble des sites.

Tableau II-2/1 : critères statistiques de distribution du déficit hydrique climatique des 237 stations météorologiques.

Critère statistique	Valeur (mm)
Minimum	-727
Centile 5	-497
Décile 1	-390
Décile 2	-355
Médiane	-299
Décile 8	-247
Décile 9	-221
Centile 95	-195
Maximum	-100

A partir de ces résultats, une typologie de contrainte hydrique est définie s'inspirant de celle proposée dans l'étude ClimSec menée par Météo France en 2011.

Tableau II-2/2 : dénomination des classes de déficit hydrique climatique en fonction du critère statistique retenu.

Probabilité de dépassement*	Critère statistique	Code couleur	Nom de la classe	Nombre de stations
100%	Min		Extrêmement sec	12 stations
95%	Centile 5		Très sec	12 stations
90%	Décile 1		Sec	24 stations
80%	Décile 2		Modérément sec	70 stations
50%	Médiane		Modérément humide	70 stations
20%	Décile 8		Humide	24 stations
10%	Décile 9		Très humide	11 stations
5%	Centile 95		Extrêmement humide	12 stations
0%	Max			

Probabilité de dépassement\* : la valeur de déficit hydrique climatique de -300 mm est supérieure à la valeur de déficit hydrique climatique de -600 mm ; elle correspond à une contrainte hydrique moindre et a une plus forte probabilité d'être dépassée

Cette classification des sites dans une gamme qui va de « Extrêmement sec » à « Extrêmement humide » traduit la variété des situations rencontrées en France telle que restituée par notre réseau de 237 stations.

Remarque : nous alertons le lecteur sur le caractère non symétrique de la distribution de points qui affecte la délimitation des classes (classes plus larges pour les contraintes hydriques élevées).

On considère que :

- les situations « extrêmement sèches » (correspondant aux 5 % des situations les plus sèches) ne sont pas compatibles avec l'obtention de rendements économiquement pertinents, quelle que soit la réserve utile du sol ;
- le reste de la gamme (de « Très sec » à « Extrêmement humide ») permet l'obtention de rendements économiquement viables, sous réserve de s'appuyer sur des réserves utiles *ad hoc*.

Le calcul des réserves utiles *ad hoc* est fait avec l'hypothèse que le sol doit couvrir 50 % du déficit hydrique climatique au 8<sup>e</sup> décile et 70 % au moins du déficit hydrique climatique médian.

Tableau II-2/3 : classes de Réserve Utile déterminées à partir des catégories de contraintes hydriques.

Nom de la classe	0,5 x Déficit Hydrique Climatique (huitième décile de la classe en mm)	Réserve Utile retenue (mm)	Part du Déficit Hydrique Climatique médian couverte par la Réserve Utile
Extrêmement sec	-306	Aucune	-
Très sec	-222	250	71%
Sec	-186	200	71%
Modérément sec	-163	175	72%
Modérément humide	-136	150	77%
Humide	-117	125	84%
Très humide	-104	100	85%
Extrêmement humide	-74	75	122%

### • Etape 3 : caractérisation du contexte pédoclimatique pour 6 grandes zones géographiques en France.

Chacune des 237 localisations de notre réseau est positionnée dans la classification précédente. Puis une analyse est conduite par grande zone géographique, en utilisant les 6 grandes zones agroclimatiques françaises précédemment définies. Pour chacune de ces zones, une analyse de la distribution des sites en termes de contrainte climatique et de réserve utile requise est réalisée.

Dans chacune de ces zones la gamme et la répartition des situations hydriques est analysée. Cette analyse par grande zone n'est en rien exhaustive puisque le nombre de stations par zone varie fortement et que la densité géographique de stations au sein de chaque zone n'est pas homogène.

Les six zones géographiques étudiées sont les suivantes :

**Centre-Nord** : Centre/Champagne-Ardenne/Haute-Normandie/Ile-de-France/Nord Pas-de-Calais/Picardie

**Nord-Est** : Alsace/Bourgogne/Franche-Comté/Lorraine

**Ouest** : Basse-Normandie/Bretagne/Pays-de-Loire

**Centre-Est** : Auvergne/Limousin/Rhône-Alpes

**Sud-Est** : Languedoc-Roussillon/Provence Alpes Côte d'Azur

**Sud-Ouest** : Aquitaine/Midi-Pyrénées/Poitou-Charentes

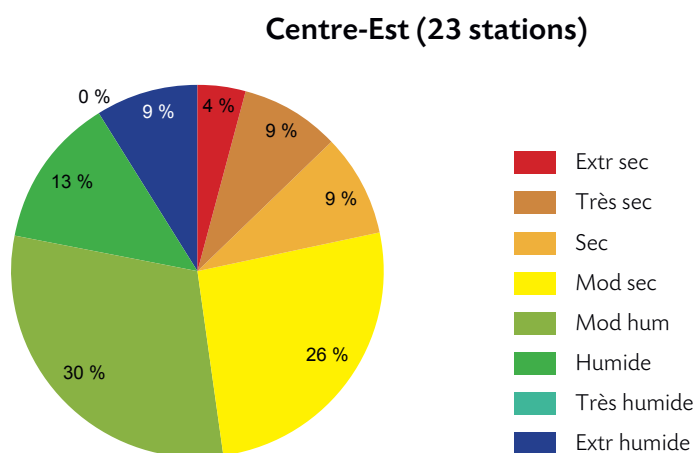


Figure II-2/3 : distribution des 23 stations météorologiques de la zone géographique Centre-Est (Rhône-Alpes/Auvergne/Limousin) dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique identifiées.

## II.2-2 Zone « Centre-Nord »

### • Centre/Champagne-Ardenne/Haute-Normandie/Ile-de-France/Nord Pas-de-Calais/Picardie/

Dans la zone Centre-Nord, l'analyse de la contrainte hydrique concernant les cultures lignocellulosiques s'appuie sur 72 stations météorologiques (Cf. tableaux II-2/4 à II-2/6). Ces 72 stations occupent majoritairement des situations de faible contrainte hydrique (correspondant aux classes « modérément humide » à « extrêmement humide »), positionnées au-dessus de la médiane de l'ensemble des sites. Font exception à ce constat, les régions Centre et Ile-de-France pour lesquelles les situations « modérément sec » et « sec » sont majoritaires.

Au regard de la variabilité rencontrée dans le territoire national, la zone Centre-Nord se définit donc comme un périmètre à contrainte hydrique essentiellement modérée à faible, mais avec des situations de contrainte hydrique intermédiaire dans sa partie Sud.

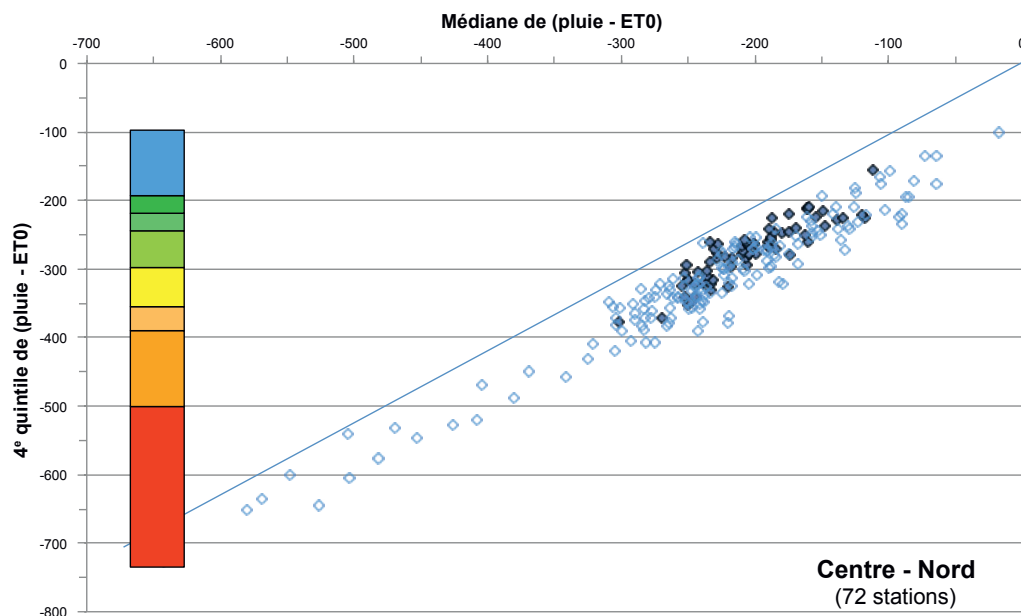


Figure II-2/4 : médianes (en abscisse) et 4<sup>e</sup> quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique des stations de la zone géographique Centre-Nord (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

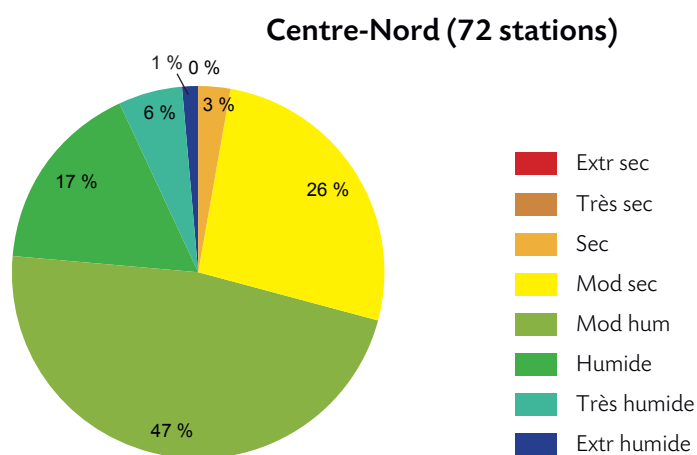


Figure II-2/5 : distribution des stations de la zone géographique Centre-Nord dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique.

Dans la zone Centre-Nord, on distingue trois cas de figure concernant la contrainte hydrique pédoclimatique et les cultures lignocellulosiques.

- Les situations humides à extrêmement humides ne se rencontrent que dans les régions Champagne-Ardenne, Haute-Normandie, Nord Pas-de-Calais et Picardie (ce qui n'exclut pas de rencontrer des situations moins favorables dans ces mêmes régions). Elles permettent le recours à des réserves utiles modérées (125 mm) à faibles (100 voire 75 mm). L'ensemble de ces sites représente un peu moins de 25 % des localisations de la zone Centre-Nord.

Tableau II-2/4 : déficits hydriques climatiques les plus favorables des stations de la zone géographique Centre-Nord.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
CUNFIN	-158	-175	-246	Champagne-Ardenne	Aube
LUSIGNY/MESNIL ST PERE	-187	-186	-245	Champagne-Ardenne	Aube
GODENVILLERS	-190	-190	-241	Picardie	Oise
LAON	-159	-169	-240	Picardie	Aisne
CAMBRAI-EPINOY (MN)	-163	-148	-237	Nord-Pas de Calais	Nord
AUZEBOSC LA YVETOT	-141	-138	-227	Haute-Normandie	Seine-Maritime
BETZ	-173	-187	-227	Picardie	Oise
OISEMONT	-148	-118	-226	Picardie	Somme
ROUEN -BOOS (MN)	-135	-135	-226	Haute-Normandie	Seine-Maritime
LE TOUQUET (MN)	-142	-154	-224	Nord-Pas de Calais	Nord
ABBEVILLE (MN)	-137	-120	-221	Picardie	Somme
SAINT QUENTIN (MN)	-162	-175	-221	Picardie	Aisne
LANGRES (MN)	-154	-149	-216	Champagne-Ardenne	Haute-Marne
OULCHY-LE-CHATEAU	-159	-162	-212	Picardie	Aisne
CHAUMONT VILLE	-146	-160	-211	Champagne-Ardenne	Haute-Marne
NAMPCEL	-154	-160	-209	Picardie	Oise
LICQUES	-95	-112	-155	Nord-Pas de Calais	Pas-de-Calais

- Les situations modérément humides (près de la moitié des sites), se rencontrent dans les 6 régions de la zone Centre-Est, mais elles sont minoritaires dans les régions Centre et Ile-de-France. Dans ces localisations, la réserve utile devra être d'au moins 150 mm. Ces situations représentent un peu moins de la moitié des situations de la zone.

Tableau II-2/5 : déficits hydriques climatiques intermédiaires des stations de la zone géographique Centre-Nord.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
TRAPPES (MN)	-216	-218	-297	Ile-de-France	Yvelines
BRETEUIL SUR ITON	-210	-206	-294	Haute-Normandie	Eure
ROMILLY SUR SEINE	-239	-251	-294	Champagne-Ardenne	Aube
TOUSSUS LE NOBLE (MN)	-232	-234	-290	Ile-de-France	Yvelines
FAGNIERES	-212	-229	-284	Champagne-Ardenne	Marne
FARGES EN SEPTAINE -AVORD (MN)	-212	-218	-284	Centre	Cher
BEAUVAIS -TILLE (MN)	-204	-207	-284	Picardie	Oise
ST POUANGE	-218	-222	-282	Champagne-Ardenne	Aube
COURTENAY	-168	-173	-281	Centre	Loiret
JEU LES BOIS (CIMEL 411 ARVALIS)	-216	-205	-279	Centre	Indre
LA COUTURE-BOUSSEY	-209	-199	-279	Haute-Normandie	Eure
DUNKERQUE (MN)	-213	-210	-279	Nord-Pas de Calais	Nord
CUZION-EGUZON-CHANTOME	-214	-205	-278	Centre	Indre
VILLIERS LE BACLE (CIMEL 411 ITCF)	-211	-229	-277	Ile-de-France	Essone



Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
ROMORANTIN -GIEVRES (MN)	-219	-209	-273	Centre	Loir-et-Cher
BRIONNE	-189	-185	-271	Haute-Normandie	Eure
EVREUX -HUEST (MN)	-225	-231	-270	Haute-Normandie	Eure
ETREPAGNY (CIMEL 404 PV)	-177	-189	-268	Haute-Normandie	Eure
ESTERNAY	-200	-210	-266	Champagne-Ardenne	Eure
CANAPPEVILLE	-194	-191	-266	Haute-Normandie	Eure
DAMMARTIN EN GOELE	-195	-205	-265	Ile-de-France	Seine-et-Marne
MATHAUX	-187	-201	-265	Champagne-Ardenne	Aube
ROUVROY LES MERLES	-196	-201	-264	Picardie	Oise
MARCILLY LE HAYER	-203	-227	-264	Champagne-Ardenne	Aube
CREIL	-206	-207	-262	Picardie	Oise
LES LOGES MARGUERON	-189	-190	-261	Champagne-Ardenne	Aube
ST MARDS-EN-OTHE	-190	-207	-261	Champagne-Ardenne	Aube
TROYES -BARBEREY-ST-SULPICE (MN)	-225	-234	-260	Champagne-Ardenne	Aube
NEUVILLE LES DIEPPE	-171	-161	-259	Haute-Normandie	Seine-Maritime
SAINT DIZIER (MN)	-179	-189	-258	Champagne-Ardenne	Haute-Marne
REIMS -COURCY (MN)	-199	-208	-258	Champagne-Ardenne	Marne
LILLE-LESQUIN(MN)	-179	-188	-254	Nord-Pas de Calais	Nord
HARBONNIERES	-166	-163	-250	Picardie	Somme
STE SEVERE SUR INDRE	-158	-180	-248	Centre	Indre

- Les situations modérément sèches et sèches représentent près d'un tiers des sites. Elles sont toutes localisées dans les régions Ile-de-France et Centre. Aucun site d'une autre région de la zone ne se rencontre dans ce groupe. Dans ces situations, une réserve utile de 175 mm (situations modérément sèches) ou de 200 mm (situations sèches) est recommandée.

Tableau II-2/6 : déficits hydriques climatiques les plus sévères des stations de la zone géographique Centre-Nord.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
TOURS - PARCAY-MESLAY (MN)	-285	-302	-376	Centre	Indre-et-Loire
COURCOUE	-282	-270	-371	Centre	Indre-et-Loire
CHATEAUDUN- JALLANS (MN)	-255	-250	-353	Centre	Eure-et-Loir
PITHIVIERS LE VIEL	-259	-248	-348	Centre	Loiret
PARIS MONTSOURIS-14° (MN)	-273	-252	-341	Ile-de-France	Paris
ORLEANS-BRICY(MN)	-252	-245	-340	Centre	Loiret
BOURGES (MN)	-228	-233	-331	Centre	Cher
SOURS (LYCEE AGRICOLE)	-233	-221	-326	Centre	Eure-et-Loir
LISLE	-257	-254	-324	Centre	Loir-et-Cher
LE BLANC	-252	-238	-323	Centre	Indre
FLEURY LES AUBRAIS	-243	-233	-323	Centre	Loiret
ST AMAND-MONTRON	-218	-245	-323	Centre	Cher
BOIGNEVILLE (CIMEL 411 ARVALIS)	-242	-238	-318	Ile-de-France	Essone

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
CHARTRES-CHAMPHOL (MN)	-242	-235	-317	Centre	Eure-et-Loir
CHATEAUROUX-DEOLS (MN)	-248	-232	-317	Centre	Indre
LE BOURGET-BONNEUIL-EN-FRANCE (MN)	-244	-251	-317	Ile-de-France	Seine Saint-Denis
PELLEVOISIN	-248	-250	-316	Centre	Indre
AUBIGNY-SUR-NERE	-232	-236	-311	Centre	Cher
VILLACOUBLAY-VELIZY (MN)	-240	-252	-307	Ile-de-France	Yvelines
ROISSY EN FRANCE (MN)	-240	-243	-304	Ile-de-France	Val-d'Oise
MELUN-MONTEREAU-SUR-LE-JARD (MN)	-225	-236	-302	Ile-de-France	Seine-et-Marne

Dans la zone Centre-Nord, plus des deux tiers des sites correspondent à des situations favorables au plan hydrique, nécessitant des RU égales ou inférieures à 150 mm. Les situations plus contraignantes au plan hydrique se trouvent toutes dans les régions Ile de France et Centre.

### II.2-3 Zone « Nord-Est »

- Alsace/Bourgogne/Franche-Comté/Lorraine

Dans la zone Nord-Est, l'analyse de la contrainte hydrique concernant les cultures lignocellulosiques s'appuie sur 18 stations météorologiques (Cf. *tableau II-2/7*), correspondant à des situations hydriques peu ou pas contraignantes. Toutes sauf une sont situées au-dessus de la médiane nationale (-299 mm).

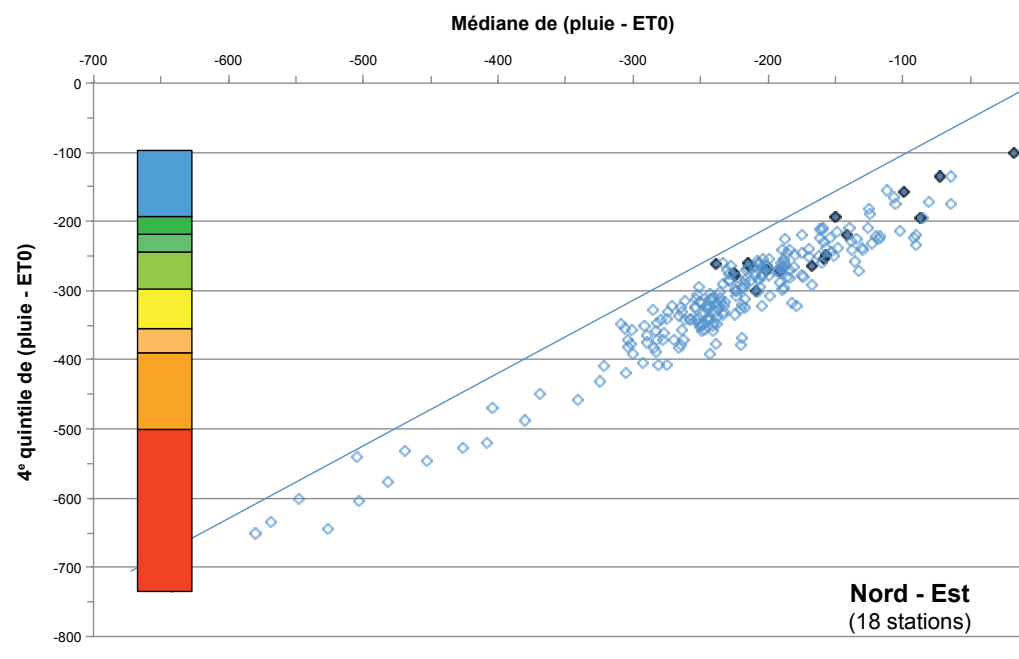


Figure II-2/6 : médianes (en abscisse) et 4° quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique des stations de la zone géographique Nord-Est (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

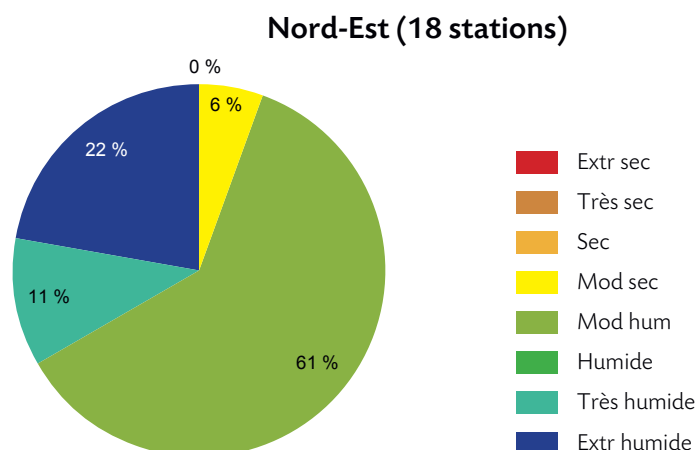


Figure II-2/7 : distribution des stations de la zone géographique Nord-Est dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique.

Aucune situation extrêmement sèche, très sèche ou sèche n'apparaît. La zone Nord-Est s'avère la moins contraignante sur le plan hydrique parmi les 6 zones analysées. Les situations très humides ou extrêmement humides y représentent un tiers des situations.

L'examen de cette zone fait ressortir deux cas de figure vis-à-vis des cultures lignocellulosiques.

- Les situations modérément sèches à modérément humides (deux tiers des situations) se rencontrent dans les vallées Bourguignonnes (Auxerre, Dijon, Mâcon), dans les vallées Lorraines (Metz, Nancy) et dans la plaine d'Alsace (Colmar, Strasbourg). Elles nécessitent des réserves utiles d'au moins 175 et 150 mm respectivement.
- Les situations très humides à extrêmement humides (un tiers des situations) se rencontrent sur les contreforts des Vosges (Luxeuil, Mirecourt) et du Jura (Besançon) ainsi que dans le Morvan (Château-Chinon). Elles permettent la valorisation de sols à réserve utile modérée (100 mm) ou faible (75 mm) respectivement.

Tableau II-2/7 : déficits hydriques climatiques des stations de la zone géographique Nord-Est.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
DIJON (MN)	-215	-209	-300	Bourgogne	Côte-d'Or
COLMAR INRA	-214	-224	-278	Alsace	Haut-Rhin
AUXERRE (MN)	-212	-225	-274	Bourgogne	Yonne
STRASBOURG -ENTZHEIM (MN)	-185	-192	-272	Alsace	Bas-Rhin
COSNE-COURS-SUR-LOIRE	-188	-200	-270	Bourgogne	Nièvre
MACON -CHARNAY-LES-MACON (MN)	-207	-202	-269	Bourgogne	Saône-et-Loire
COLMAR -MEYENHEIM (MN)	-207	-214	-265	Alsace	Haut-Rhin
PHALSBOURG -DANNE-4-VENTS-	-161	-167	-265	Lorraine	Moselle
METZ -AUGNY (MN)	-214	-239	-262	Lorraine	Moselle
NANCY -ESSEY-TOMBLAINE (MN)	-195	-215	-260	Lorraine	Meurthe-et-Moselle
NEVERS -MARZY (MN)	-161	-158	-255	Bourgogne	Nièvre
BAIGNEUX LES JUIFS	-172	-157	-248	Bourgogne	Côte-d'Or
MULHOUSE -BALE-ST-LOUIS (MN)	-147	-142	-220	Alsace	Haut-Rhin

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
COMBEAUFONTAINE	-101	-87	-195	Franche-Comté	Haute-Saône
MIRECOURT (CIMEL 411 INRA)	-149	-149	-193	Lorraine	Vosges
LUXEUIL -ST-SAUVEUR (MN)	-85	-99	-158	Franche-Comté	Haute-Saône
BESANCON (MN)	-55	-73	-134	Franche-Comté	Doubs
CHATEAU-CHINON (MN)	-22	-18	-100	Bourgogne	Nièvre

En résumé, dans la zone Nord-Est, le niveau de contrainte hydrique est modéré à faible. Des réserves utiles du sol comprises entre 75 et 175 mm suivant les situations seront suffisantes pour contenir la contrainte hydrique à un niveau supportable et permettre 8 années sur 10 l'obtention de rendements économiquement viables.

## II.2-4 Zone « Ouest »

### • Basse-Normandie/Bretagne/Pays-de-Loire

Dans la zone Ouest, notre analyse de la contrainte hydrique concernant les cultures lignocellulosiques s'appuie sur 21 stations météorologiques (Cf. tableaux II-2/8 à II-2/10). Dans l'ensemble des 237 stations de notre réseau national, ces 21 stations occupent majoritairement des situations de faible contrainte hydrique : deux tiers d'entre elles correspondent aux classes « modérément humide » à « extrêmement humide », positionnées au-dessus de la médiane de l'ensemble des sites. Se distinguent de ces situations favorables les parties les plus méridionales ou orientales de la zone.

Au regard de la variabilité rencontrée dans le territoire national, la zone Ouest se définit donc comme un périmètre à contrainte hydrique essentiellement modérée à faible, avec cependant des situations de contrainte hydrique plus marquée dans ses parties Est et Sud.

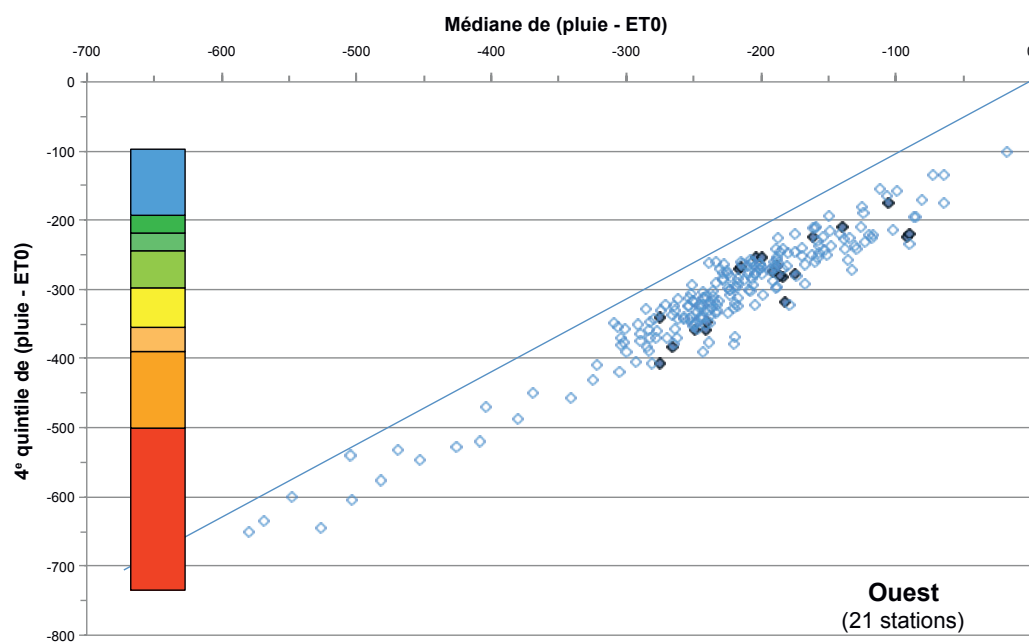


Figure II-2/8 : médianes (en abscisse) et 4° quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique des stations de la zone géographique Ouest (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

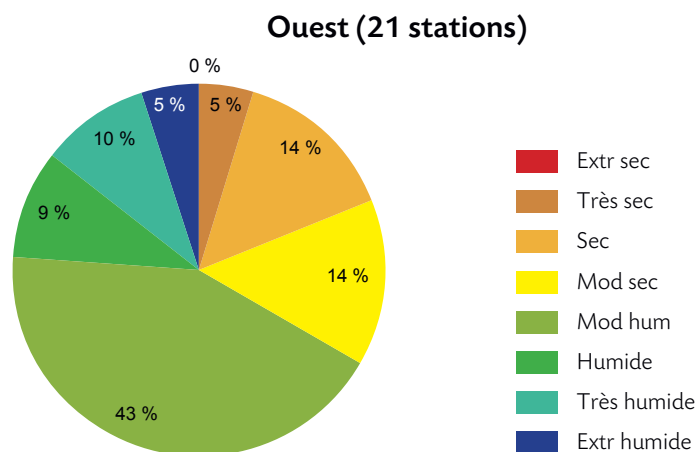


Figure II-2/9 : distribution des stations de la zone géographique Ouest dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique.

Dans la zone Ouest, on distingue quatre cas de figure concernant la contrainte hydrique pédo-climatique et les cultures lignocellulosiques.

- Les situations humides à extrêmement humide, se rencontrent dans les situations côtières (ou quasi) des régions Bretagne et Basse-Normandie. Elles permettent la valorisation de sols aux réserves utiles modérées (125 mm) à faibles (100 voire 75 mm). L'ensemble de ces sites représente un peu moins du quart des localisations de la zone Ouest.

Tableau II-2/8 : déficits hydriques climatiques les plus favorables des stations de la zone géographique Ouest.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
CHERBOURG -VALOGNES(MN)	-151	-161	-224	Basse-Normandie	Manche
KERLAVIC (CIMEL 404 EDE-29)	-112	-92	-223	Bretagne	Finistère
QUIMPER (MN)	-110	-90	-220	Bretagne	Finistère
ROSTRENEEN	-128	-140	-209	Bretagne	Côtes-d'Armor
BREST (MN)	-99	-106	-175	Bretagne	Finistère

- Les situations modérément humides se rencontrent également dans les régions Bretagne et Basse-Normandie, mais dans des localisations plus orientales (caractère océanique moins marqué) que dans la catégorie précédente. Elles représentent plus de 40% des sites de la zone. Dans ces localisations, la réserve utile devra être d'au moins 150 mm.

Tableau II-2/9 : déficits hydriques climatiques intermédiaires des stations de la zone géographique Ouest.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
LORIENT -QUEVEN (MN)	-189	-184	-282	Bretagne	Morbihan
CAEN -CARPIQUET (MN)	-184	-186	-280	Basse-Normandie	Calvados
ALENCON (MN)	-201	-175	-278	Basse-Normandie	Orne
ARGENTAN	-206	-191	-275	Basse-Normandie	Orne

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
PLOERMEL	-221	-217	-270	Bretagne	Morbihan
PONTIVY	-196	-215	-268	Bretagne	Morbihan
BIGNAN	-194	-189	-266	Bretagne	Morbihan
SEES (CIMEL 404 PV)	-187	-204	-253	Basse-Normandie	Orne
DINARD (MN)	-191	-200	-253	Bretagne	Ille-et-Vilaine

- Les situations modérément sèches et sèches représentent un peu moins d'un tiers des sites. Elles sont essentiellement localisées en région Pays de Loire et dans les zones les plus continentales de Bretagne. La région Basse-Normandie n'est pas représentée dans ce groupe. Dans ces situations, une réserve utile de 175 mm (situations modérément sèches) ou de 200 mm (situations sèches) est recommandée.
- Une situation très sèche est identifiée dans la zone Ouest. Elle correspond au minimum local de précipitations connu dans le Sud du Maine-et-Loire et le Nord de la Vienne. Dans cette situation, une réserve utile de 200 mm est recommandée.

Tableau II-2/10 : déficits hydriques climatiques les plus sévères des stations de la zone géographique Ouest.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
MONTREUIL BELLAY	-295	-275	-407	Pays de la Loire	Maine-et-Loire
ANGERS (MN)	-272	-265	-384	Pays de la Loire	Maine-et-Loire
LE MANS (MN)	-259	-241	-359	Pays de la Loire	Sarthe
RENNES (MN)	-250	-249	-359	Bretagne	Ille-et-Vilaine
LA MOTHE ACHARD	-256	-240	-347	Pays de la Loire	Vendée
NANTES-BOUGUENAIS (MN)	-274	-275	-340	Pays de la Loire	Loire Atlantique
FOUGERES	-191	-182	-318	Bretagne	Ille-et-Vilaine

Dans la zone Ouest, le contexte hydrique est globalement favorable aux cultures lignocellulosiques. Deux tiers des sites correspondent à des situations modérément humides à extrêmement humides, nécessitant des RU égales ou inférieures à 150 mm. Cependant des situations hydriques nettement plus contraignantes (sec à très sec) se rencontrent également, correspondant aux parties les plus continentales ou les plus méridionales de la zone.

## II.2-5 Zone « Centre-Est »

### • Auvergne/Limousin/Rhône-Alpes

Dans la zone Centre-Est, notre analyse de la contrainte hydrique concernant les cultures lignocellulosiques s'appuie sur 23 stations météorologiques (Cf. tableaux II-2/11 à II-2/13). Dans l'ensemble des 237 stations de notre réseau national, ces 23 stations couvrent – comme pour la zone Sud-Ouest – une gamme étendue de situations hydriques, allant de la classe « Très sec », à la classe « Extrêmement humide », ce qui reflète bien la diversité climatique de cette zone, liée pour l'essentiel à son relief (stations de plaine et stations de moyenne montagne).

Une situation «Extrêmement sèche» est incluse dans cette zone. Elle correspond à la basse vallée du Rhône (Montélimar). A l'opposé de la gamme, la zone Centre-Est compte deux situations hydriques «extrêmement humides» situées sur les contreforts Nord (Vichy) et Ouest (Bourgneuf) du massif central.

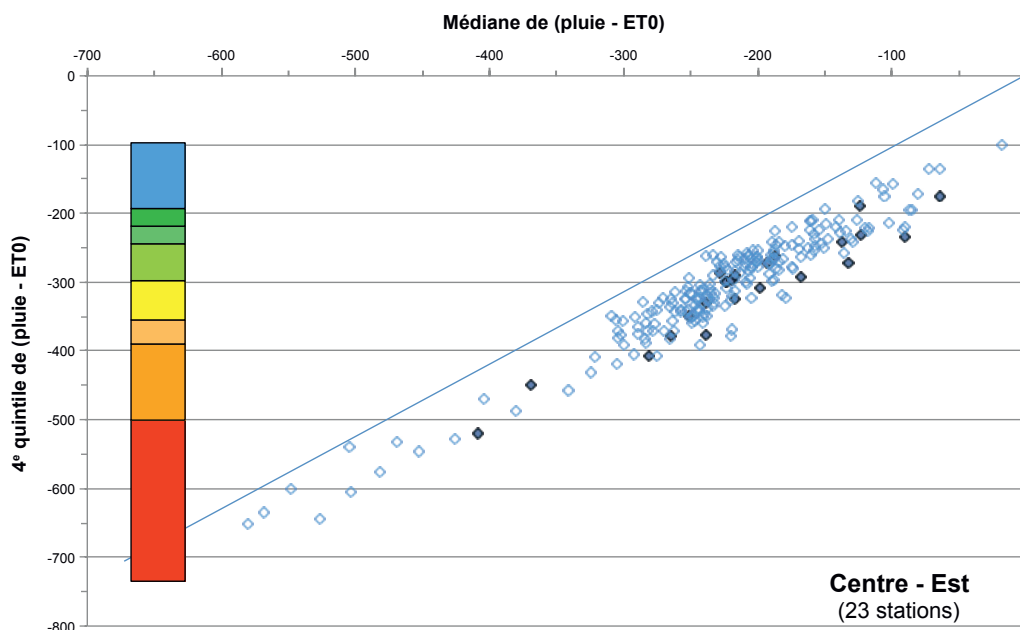


Figure II-2/10 : médianes (en abscisse) et 4<sup>e</sup> quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique des stations de la zone géographique Centre-Est (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

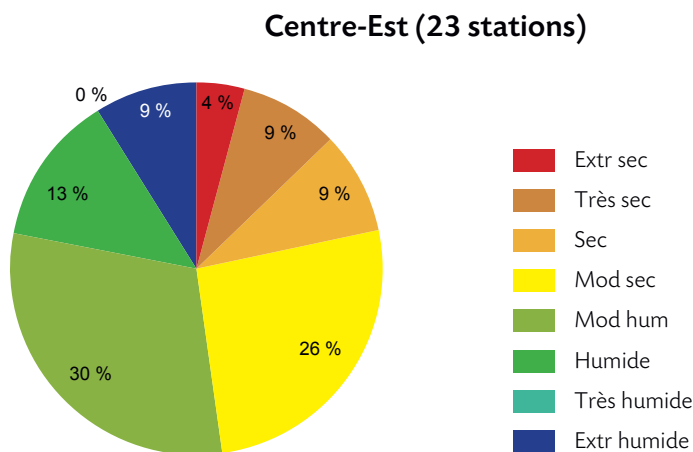


Figure II-2/11 : distribution des stations de la zone géographique Centre-Est dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique.

Dans la zone Centre-Est, on distingue trois cas de figure concernant la contrainte hydrique pédoclimatique et les cultures lignocellulosiques.

- Les situations les moins contraignantes sur le plan hydrique (extrêmement humide et humide) correspondent aux contreforts Nord et Ouest du massif central et aux contreforts Nord des Alpes. Dans ces situations très arrosées les réserves utiles requises sont modérées : 125 mm voire 75 mm. L'ensemble de ces sites représente 20% des localisations de la zone.

Tableau II-2/11 : déficits hydriques climatiques les plus favorables des stations de la zone géographique Centre-Est.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
LIMOGES (MN)	-153	-138	-242	Limousin	Haute-Vienne
CHAMBERY -VOGLANS (MN)	-108	-90	-234	Rhône-Alpes	Savoie
AMBERIEU-CHATEAU-GAILLARD (MN)	-135	-123	-232	Rhône-Alpes	Ain
VICHY (MN)	-130	-124	-190	Auvergne	Allier
BOURGANEUF	-62	-65	-176	Limousin	Creuse

- Les situations modérément humides (30% des sites), correspondent à des localisations en vallées (Grenoble, Clermont, Brioude) marquées par un effet topographique (minimum relatif) sur le régime local de précipitations. Dans ces secteurs la réserve utile devra être d'au moins 150 mm.

Tableau II-2/12 : déficits hydriques climatiques intermédiaires des stations de la zone géographique Centre-Est.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
GRENOBLE-ST ETIENNE DE GEOIRS (MN)	-202	-220	-297	Rhône-Alpes	Isère
LE PUY LOUDES SANSSAC(MN)	-197	-168	-291	Auvergne	Haute-Loire
CLERMONT-FERRAND (MN)	-221	-217	-289	Auvergne	Puy-de-Dôme
FEURS	-225	-229	-286	Rhône-Alpes	Loire
BRIOUDE/FONTANNES	-206	-194	-273	Auvergne	Haute-Loire
BELLEY	-154	-132	-273	Rhône-Alpes	Ain
ST SYMPHORIEN SUR COISE	-202	-187	-263	Rhône-Alpes	Rhône

- Les situations modérément sèches représentent un quart des sites. Elles correspondent à des zones de coteaux entre grandes vallées (Rhône) et contreforts montagneux. Dans ces situations, une réserve utile de 175 mm est recommandée. Enfin, les situations sèches, très sèches et extrêmement sèches (un cinquième des sites), correspondent au gradient climatique de la vallée du Rhône, de plus en plus sec depuis le Nord vers le Sud. Pour les deux premiers cas, une réserve utile de 200 et 250 mm sera nécessaire. Pour le troisième cas (Montélimar), la mise en culture n'est pas recommandée.

Tableau II-2/13 : déficits hydriques climatiques les plus sévères des stations de la zone géographique Centre-Est.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
MONTELMAR (MN)	-409	-409	-519	Rhône-Alpes	Drôme
CHABEUIL-AERO-DE-VALENCE	-373	-369	-449	Rhône-Alpes	Drôme
DIE	-297	-281	-407	Rhône-Alpes	Drôme
LYON -BRON (MN)	-273	-265	-379	Rhône-Alpes	Rhône
LYON-ST-EXUPERY-COLOMBIER-SAUGNIEU (MN)	-255	-239	-376	Rhône-Alpes	Rhône
BEAUREPAIRE (CIMEL 404 PV)	-249	-251	-349	Rhône-Alpes	Isère



Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
MISERIEUX (CIMEL 404 ARVALIS)	-240	-239	-330	Rhône-Alpes	Ain
LA COTE ST ANDRE	-225	-217	-324	Rhône-Alpes	Isère
CHATTE	-201	-199	-309	Rhône-Alpes	Isère
MARLIEUX	-202	-223	-300	Rhône-Alpes	Ain
MARLIEUX (CIMEL 404 CEREGRAIN)	-204	-223	-300	Rhône-Alpes	Ain

Dans la zone Centre-Est, une large gamme de situations hydriques se présente, et les RU requises oscillent entre 75 et 250 mm suivant la localisation. Il conviendra donc d'examiner attentivement la réserve utile du sol et le climat local avant d'envisager la mise en place d'une culture ligno-cellulosique.

## II.2-6 Zone « Sud-Est »

### • Languedoc-Roussillon/Provence-Alpes-Côte d'Azur

Dans la zone Sud-Est, l'analyse de la contrainte hydrique concernant les cultures lignocellulosiques repose sur 14 stations météorologiques (Cf. tableaux II-2/14 et II-2/15). Dans l'ensemble des 237 stations de notre réseau national, ces 14 stations correspondent aux situations hydriques les plus contraignantes : elles occupent les 16 premières places les plus sèches ; les quatre cinquièmes d'entre-elles sont situées dans la classe « Extrêmement sec », un cinquième dans la classe « Très sec ».

Dans cette zone, les situations les plus sèches correspondent aux minima nationaux de précipitations (Marseille, Perpignan), les situations les moins sèches à des localisations à l'intérieur des terres (Carcassonne, Saint-Auban). Outre cette dominante sèche, cette zone se caractérise par une plage étendue de déficits hydriques climatiques.

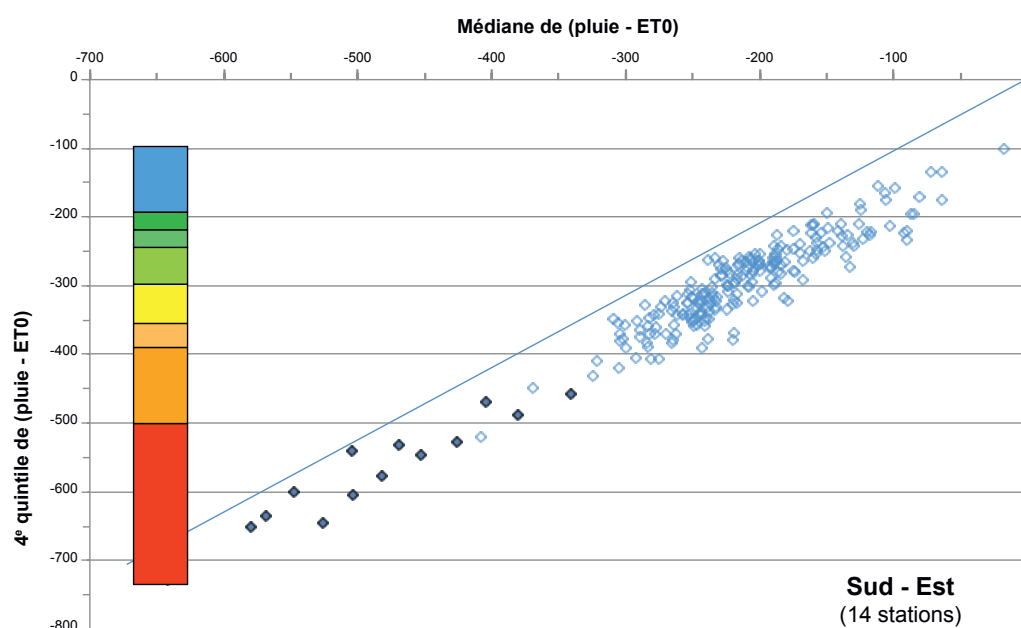


Figure II-2/12 : médianes (en abscisse) et 4<sup>e</sup> quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique des stations de la zone géographique Sud-Est (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

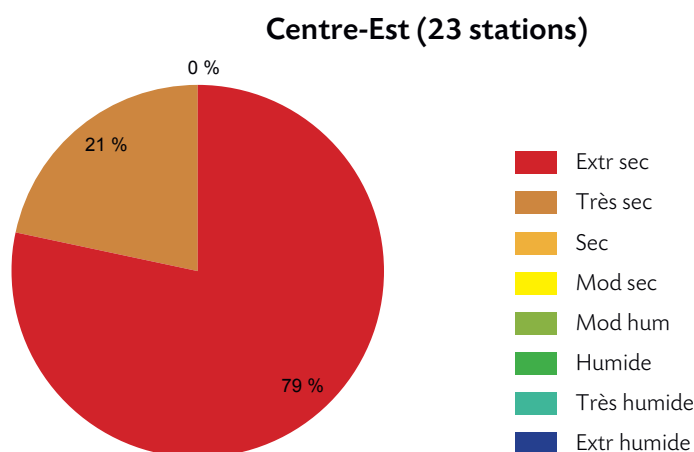


Figure II-2/13 : distribution des stations de la zone géographique Sud-Est dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique.

Dans la zone Sud-Est, on peut distinguer deux cas de figure.

- Dans les situations très sèches (un cinquième des sites), une réserve utile de 200 mm au moins apparaît nécessaire à l'obtention de rendements viables. Les stations concernées sont les suivantes.

Tableau II-2/14 : déficits hydriques climatiques les moins sévères des stations de la zone géographique Sud-Est.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
CASTELNAUDARY (LOUDES)	-387	-381	-487	Languedoc-Roussillon	Aude
GREOUX (CIMEL 411 ARVALIS)	-397	-404	-469	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Alpes de Haute Prov.
EMBRUN (MN)	-340	-342	-457	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Hautes-Alpes

- Dans les situations extrêmement sèches, le niveau de contrainte hydrique ne nous paraît pas compatible avec une production économiquement viable, ceci quelle que soit la réserve utile du sol. Les stations concernées sont les suivantes.

Tableau II-2/15 : déficits hydriques climatiques les plus sévères des stations de la zone géographique Sud-Est.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
MARIGNANE-MARSEILLE (MN)	-659	-642	-727	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Bouches-du-Rhône
PERPIGNAN (MN)	-576	-579	-651	Languedoc-Roussillon	Pyrénées-Orientales
LE LUC EN PROVENCE	-524	-527	-645	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Var
TOULON (MN)	-573	-569	-634	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Var
NIMES-COURBESSAC (MN)	-522	-503	-605	Languedoc-Roussillon	Gard
MONTPELLIER-MAUGIO (MN)	-552	-548	-600	Languedoc-Roussillon	Hérault
ORANGE (MN)	-498	-482	-577	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Vaucluse
SAINT-AUBAN - CHATEAU-ARNOUX (MN)	-455	-453	-545	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Alpes de Haute Prov.
NICE (MN)	-480	-505	-540	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Alpes-Maritimes
St RAPHAEL - FREJUS (MN)	-455	-470	-531	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Var
CARCASSONNE (MN)	-440	-426	-528	Languedoc-Roussillon	Aude

En résumé, la zone Sud-Est, en raison du niveau élevé de déficit hydrique climatique, n'autorisera la mise en place de cultures lignocellulosiques que dans des zones limitées plutôt situées à l'intérieur des terres, et nécessitera des sols profonds (réserve utile de 250 mm), pour l'obtention fréquente de rendements économiquement viables.

## II.2-7 Zone « Sud-Ouest »

### • Aquitaine/Midi-Pyrénées/Poitou-Charentes

Dans la zone Sud-Ouest, l'analyse de la contrainte hydrique concernant les cultures lignocellulosiques s'appuie sur 85 stations météorologiques (Cf. tableaux II-2/16 à II-2/18). Dans l'ensemble des 237 stations de notre réseau national, ces 85 stations couvrent une gamme étendue de situations hydriques, allant de la classe « Très sec », à la classe « Extrêmement humide », ce qui reflète bien la diversité climatique de cette zone.

Si aucune situation « Extrêmement sèche » n'apparaît dans cette zone, plus d'un quart d'entre elles se range néanmoins dans les classes « Sec » ou « Très sec ». A l'opposé, la zone Sud-Ouest compte aussi quelques-unes des situations hydriques les humides de notre réseau, localisées dans l'extrême Sud-Ouest (Biarritz, Oloron) ou en altitude (Lannemezan).

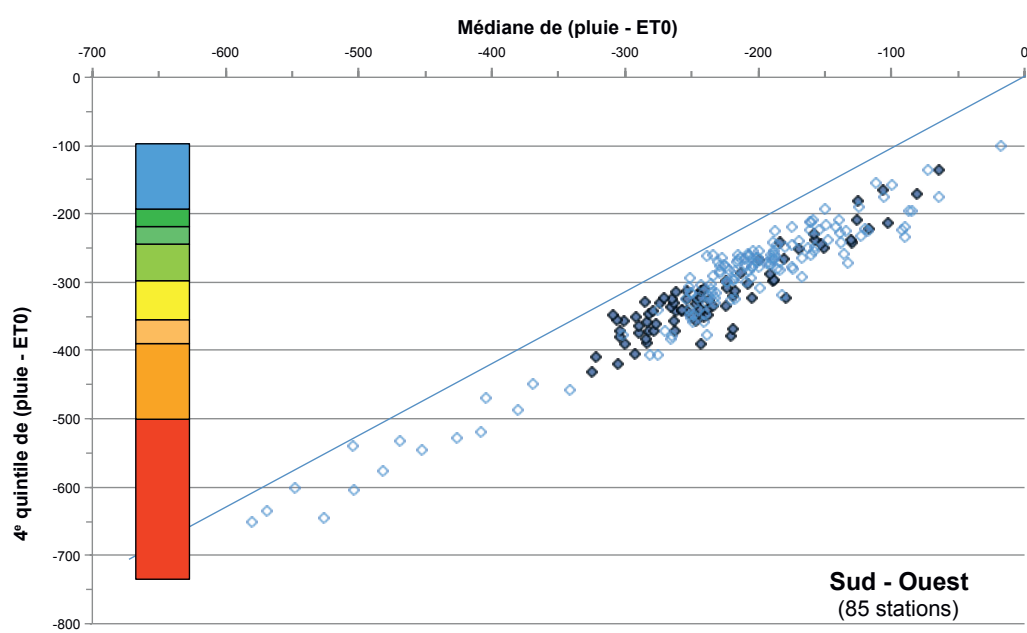


Figure II-2/14 : médianes (en abscisse) et 4<sup>e</sup> quintiles (en ordonnée) du déficit hydrique climatique des stations de la zone géographique Sud-Ouest (valeurs calculées sur la période 1981-2011).

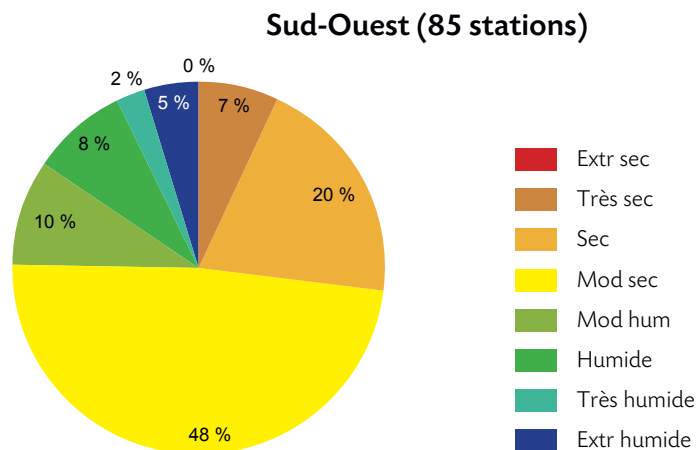


Figure II-2/15 : distribution des stations de la zone géographique Sud-Ouest dans les 8 classes de contrainte hydrique climatique.

Dans la zone Sud-Ouest, on distingue trois cas de figure concernant la contrainte hydrique pédoclimatique et les cultures lignocellulosiques.

- Les situations modérément humides à humides se rencontrent dans les vallées du Lot et de Dordogne (Gourdon, Périgueux) ainsi que dans les Landes (Dax) et les Hautes Pyrénées (Tarbes). Elles nécessiteront des réserves utiles de 150 et 125 mm respectivement. Les situations très humides à extrêmement humides se concentrent sur l'extrême Sud-Ouest de la zone (Pays Basque et pré Pyrénées) ou sur les contreforts Pyrénéens (Saint-Girons, Lannemezan). Elles permettent le recours à des réserves utiles modérées (100 mm) à faibles (75 mm) respectivement. L'ensemble de ces sites représente 25 % des localisations de la zone.

Tableau II-2/16 : déficits hydriques climatiques les plus favorables des stations de la zone géographique Sud-Ouest.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
CAZALS	-189	-189	-298	Midi-Pyrénées	Tarn-et-Garonne
PERIGUEUX-COULOUNIEIX-CHAMIERES	-204	-189	-296	Aquitaine	Dordogne
GOURDON (MN)	-191	-192	-287	Midi-Pyrénées	Lot
BERGERAC (CIMEL 411 TABACS)	-213	-213	-286	Aquitaine	Dordogne
PISSOS	-192	-200	-267	Aquitaine	Landes
CASTELNAU MAGNOAC	-173	-181	-266	Midi-Pyrénées	Hautes-Pyrénées
AMOU	-166	-170	-253	Aquitaine	Landes
MAUBOURGUET	-166	-151	-249	Midi-Pyrénées	Hautes-Pyrénées
POMPS	-155	-153	-243	Aquitaine	Pyrénées-Atlant.
ST MARTIN DE HINX - INRA	-118	-129	-242	Aquitaine	Landes
DAX (MN)	-174	-184	-241	Aquitaine	Landes
CARLA-BAYLE	-151	-157	-238	Midi-Pyrénées	Ariège
LEMBEYE	-128	-130	-237	Aquitaine	Pyrénées-Atlant.
MAGESCQ	-150	-158	-229	Aquitaine	Landes
TARBES -OSSUN (MN)	-111	-117	-221	Midi-Pyrénées	Hautes-Pyrénées
SAINT GIRONS (MN)	-111	-102	-213	Midi-Pyrénées	Ariège

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
PAU -UZEIN (MN)	-135	-126	-210	Aquitaine	Pyrénées-Atlant.
MONEIN	-105	-125	-181	Aquitaine	Pyrénées-Atlant.
LANNEMEZAN	-75	-81	-171	Midi-Pyrénées	Hautes-Pyrénées
BIARRITZ (MN)	-86	-107	-165	Aquitaine	Pyrénées-Atlant.
OLORON STE MARIE (COLLEGE)	-43	-64	-136	Aquitaine	Pyrénées-Atlant.

- Les situations modérément sèches (près de la moitié des sites), couvrent une large gamme de localisations allant du sud du Poitou (Lusignan) à la plaine d'Ariège (Mirepoix) en passant par les coteaux du Gers (Condom) ou ceux de la Garonne (Agen). Dans ces secteurs la réserve utile devra être d'au moins 175 mm.

Tableau II-2/17 : déficits hydriques climatiques intermédiaires des stations de la zone géographique Sud-Ouest.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
COUTRAS	-272	-249	-351	Aquitaine	Gironde
LA ROCHE POSAY	-260	-241	-351	Poitou-Charentes	Vienne
BEYCHAC-ET-CAILLAU	-287	-291	-351	Aquitaine	Gironde
COGNAC -CHATEAU-BERNARD (MN)	-302	-309	-349	Poitou-Charentes	Charente
BEAUVOIR SUR NIORT	-260	-238	-349	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
RUFFEC	-280	-282	-346	Poitou-Charentes	Charente
LE MAGNERAUD (CIMEL 411 ARVALIS)	-272	-279	-343	Poitou-Charentes	Charente-Maritime
LEZAY	-249	-262	-343	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
NEUVILLE DU POITOU	-263	-257	-343	Poitou-Charentes	Vienne
CELLES-SUR-BELLE	-258	-253	-342	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
MONTANS (CIMEL 411 ARVALIS)	-255	-244	-342	Midi-Pyrénées	Tarn
CAZAUX-LA-TESTE (MN)	-266	-258	-341	Aquitaine	Gironde
MENIGOUTE	-253	-244	-340	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
BOISNE	-256	-244	-339	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
TONNEINS/FAUILLET	-244	-237	-339	Aquitaine	Lot-et-Garonne
AGEN-ESTILLAC (MN)	-260	-265	-336	Aquitaine	Lot-et-Garonne
ROCQUECOR/MONTAIGU-DE-QUERCY	-234	-224	-335	Midi-Pyrénées	Tarn-et-Garonne
LA PERUSE	-236	-234	-334	Poitou-Charentes	Charente
LUSIGNAN (CIMEL 411 INRA)	-251	-247	-332	Poitou-Charentes	Vienne
BRUCH	-251	-264	-330	Aquitaine	Lot-et-Garonne
AUCH	-259	-274	-330	Midi-Pyrénées	Gers
CONDOM	-273	-285	-328	Midi-Pyrénées	Gers
MARMANDE	-259	-245	-328	Aquitaine	Lot-et-Garonne
BARBEZIEUX	-245	-237	-327	Poitou-Charentes	Charente
MIRAMBEAU	-259	-265	-324	Poitou-Charentes	Charente-Maritime
REAU - LISSE	-223	-246	-324	Aquitaine	Lot-et-Garonne
LA MOTHE MONTRAVEL	-253	-254	-324	Aquitaine	Dordogne
MIREPOIX	-195	-179	-323	Midi-Pyrénées	Ariège
NIORT SOUCHE (MN)	-248	-271	-322	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
CANCON	-215	-205	-322	Aquitaine	Lot-et-Garonne

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
STE LIVRADE/LOT	-232	-243	-322	Aquitaine	Lot-et-Garonne
MONTCUQ	-235	-220	-320	Midi-Pyrénées	Lot
MONTMORILLON	-254	-262	-315	Poitou-Charentes	Vienne
RODEZ/BELCASTEL	-229	-243	-313	Midi-Pyrénées	Aveyron
MONT DE MARSAN (MN)	-211	-217	-313	Aquitaine	Landes
ST AULAYE	-243	-242	-313	Aquitaine	Dordogne
CHALAI -RIOUX-MARTIN	-259	-254	-312	Poitou-Charentes	Charente
LECTOURE	-242	-241	-311	Midi-Pyrénées	Gers
BEAUCAIRE	-223	-224	-308	Midi-Pyrénées	Gers
MAUMUSSON LAGUIAN	-191	-208	-302	Midi-Pyrénées	Gers
COULOUNIEIX -VERGT	-209	-225	-299	Aquitaine	Dordogne

- Les situations sèches représentent un cinquième des sites. Elles couvrent le Nord des Deux-Sèvres (Glenay, Les Aubiers), le Lauragais (Revel), l'Aunis (Nuaillé-sur-Boutonne) ou le Tarn (Albi). Dans ces situations, une réserve utile de 200 mm est recommandée. Enfin, les situations très sèches (7 % des sites), correspondent aux minima régionaux de précipitations : plaine de Toulouse, cuvette de Millau, côte Rochelaise, estuaire de la Gironde. Une réserve utile de 250 mm y sera nécessaire à l'obtention huit années sur dix de rendement économiquement viables.

Tableau II-2/18 : déficits hydriques climatiques les plus sévères des stations de la zone géographique Sud-Ouest.

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
CASTELNAUDARY (LOUDES)	-387	-381	-487	Languedoc-Roussillon	Aude
GREOUX (CIMEL 411 ARVALIS)	-397	-404	-469	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Alpes de Haute Prov.
EMBRUN (MN)	-340	-342	-457	Prov.-Alpes-Côte d'A.	Hautes-Alpes
MILLAU (MN)	-338	-325	-431	Midi-Pyrénées	Aveyron
TOULOUSE - BLAGNAC (MN)	-333	-305	-419	Midi-Pyrénées	Haute-Garonne
THOUARS	-315	-321	-409	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
ST SAVIN	-310	-293	-405	Aquitaine	Vienne
LA ROCHELLE (MN)	-308	-300	-392	Poitou-Charentes	Charente-Maritime
BORDEAUX-MERIGNAC (MN)	-277	-243	-390	Aquitaine	Gironde
ISLE JOURDAIN	-290	-283	-389	Midi-Pyrénées	Vienne
ALBI AERODROME -LE-SEQUESTRE (MN)	-304	-284	-383	Midi-Pyrénées	Tarn
GLENAY	-298	-304	-381	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
LES AUBIERS	-255	-220	-379	Poitou-Charentes	Deux-Sèvres
REVEL	-289	-290	-375	Midi-Pyrénées	Haute-Garonne
MIRANDE (LEPA VALENTEES)	-259	-283	-371	Midi-Pyrénées	Gers
GIMONT	-278	-278	-371	Midi-Pyrénées	Gers
BEAUMONT/VIGUERON	-275	-263	-371	Midi-Pyrénées	Tarn-et-Garonne
ST LAURENT DE LA PREE (CIMEL 411 INRA)	-312	-304	-371	Poitou-Charentes	Charente-Maritime
LACAUNE	-244	-220	-370	Midi-Pyrénées	Tarn

Nom station	Pluie - Evapotranspiration			Région	Département
	Moyenne	Médiane	Décile 8		
NUAILLE SUR BOUTONNE	-280	-289	-366	Poitou-Charentes	Charente-Maritime
MONTAUBAN (MN)	-262	-278	-360	Midi-Pyrénées	Tarn-et-Garonne
LAVAUUR (CIMEL 404PV)	-273	-283	-359	Midi-Pyrénées	Tarn
POITIERS -BIARD (MN)	-268	-264	-357	Poitou-Charentes	Vienne
VILLEFRANCHE DE ROUERQUE	-269	-301	-356	Midi-Pyrénées	Aveyron
REALVILLE/ALBIAS	-252	-248	-356	Midi-Pyrénées	Tarn-et-Garonne
MATHA	-294	-306	-355	Poitou-Charentes	Charente-Maritime

Dans la zone Sud-Ouest, les situations sont donc fortement contrastées avec des RU requises comprises entre 75 et 250 mm suivant la localisation. Il conviendra donc d'examiner attentivement la réserve utile du sol et le climat local avant d'envisager la mise en place d'une culture ligno-cellulosique.

## II.3 - Estimations de production moyenne

Le rendement des cultures dédiées à la production de biomasse est un facteur de choix essentiel qui reste difficile à évaluer. Les expérimentations récemment mises en place (ANR REGIX, CasDar LIDEA) – Cf. liste des projets en partie V – ne permettent pas d'effectuer une analyse des rendements en conditions agricoles (« grandes parcelles »). Les facteurs de rendement sont encore mal connus pour certaines espèces et les prélèvements expérimentaux (biologiques) ont un degré d'incertitude qui ne permet pas de corrélérer les mesures biologiques et les mesures au champ. Ces différents paramètres ne permettent pas de construire une cartographie régionalisée et précise des rendements de ces cultures.

Toutefois, sur la base de l'analyse des premiers résultats expérimentaux en grande parcelle, il est possible de mettre en relation le rendement de ces cultures ligno-cellulosiques avec celui de cultures dites de référence bénéficiant de bases de données statistiques annuelles (rendements Agreste).

Ces corrélations entre cultures biomasse et cultures de référence sont présentées dans le tableau ci-dessous, sans le détail des coefficients qui restent encore à améliorer au moyen des productivités observées en grandes parcelles dans des contextes contrastés : pluviométrie, sols. Les rendements moyens sur 10 ans des cultures de référence sont mobilisés pour lisser des effets annuels.

Tableau II-2/19 : cultures de référence utilisées pour le calcul des rendements moyens départementaux des cultures ligno-cellulosiques.

Culture ligno-cellulosique	Culture de référence	Remarques
Miscanthus	Maïs fourrage	
Switchgrass, sorgho biomasse	Tournesol	Absence de références départementales sur sorgho grain, proximité du fonctionnement hydrique des espèces
Triticale	Blé tendre	Proximité des espèces et disponibilité de références

L'interprétation de ces résultats exige toutefois des précautions d'usage. Les rendements statistiques disponibles sont des moyennes départementales qui masquent pour certaines régions une forte hétérogénéité due aux différentes conditions pédoclimatiques présentes sur un département. Ce rendement moyen lisse alors des potentiels en biomasse parfois bien supérieurs ou inférieurs. Les références techniques et éléments clés des diagnostics agronomiques sont ainsi essentiels pour préciser ces rendements potentiels dans un contexte particulier.

Ces rendements potentiels restent néanmoins fréquemment bien supérieurs aux résultats présentés ci-dessous. En effet, les variabilités intra-parcellaires fortes sur les cultures pérennes peu référencées dégradent les rendements « machine » en grande parcelle. Ces hétérogénéités sont souvent mal prises en compte dans les mesures biologiques d'où les écarts avec les rendements expérimentaux présentés dans ce guide.



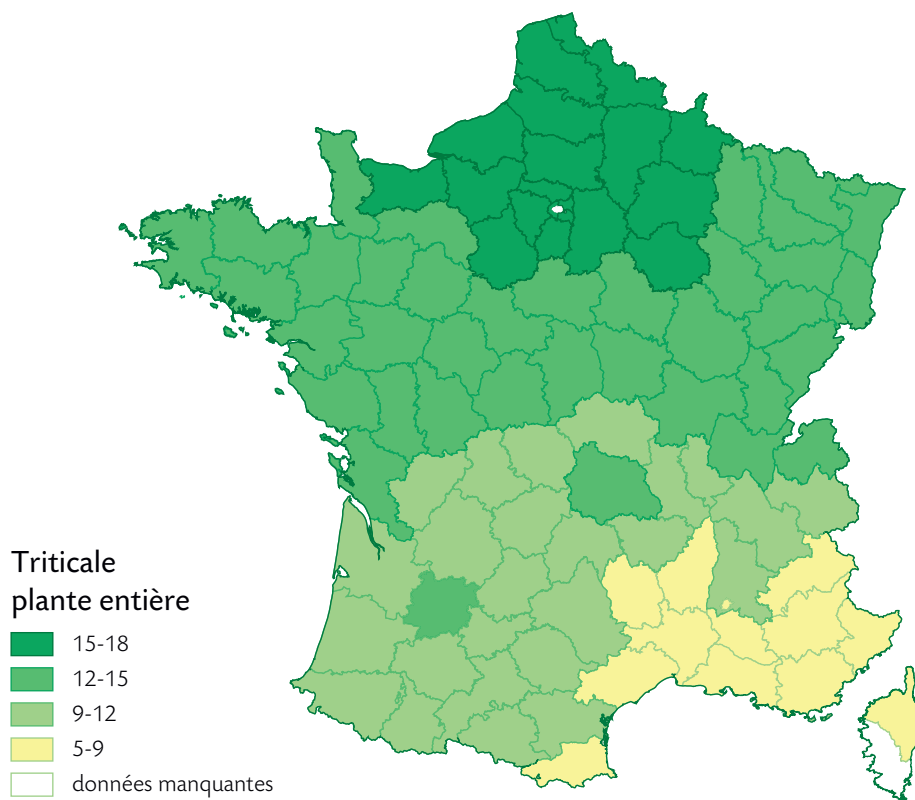


Figure II-3/1 : rendements moyens départementaux récoltables en triticale plante entière (t ms/ha).

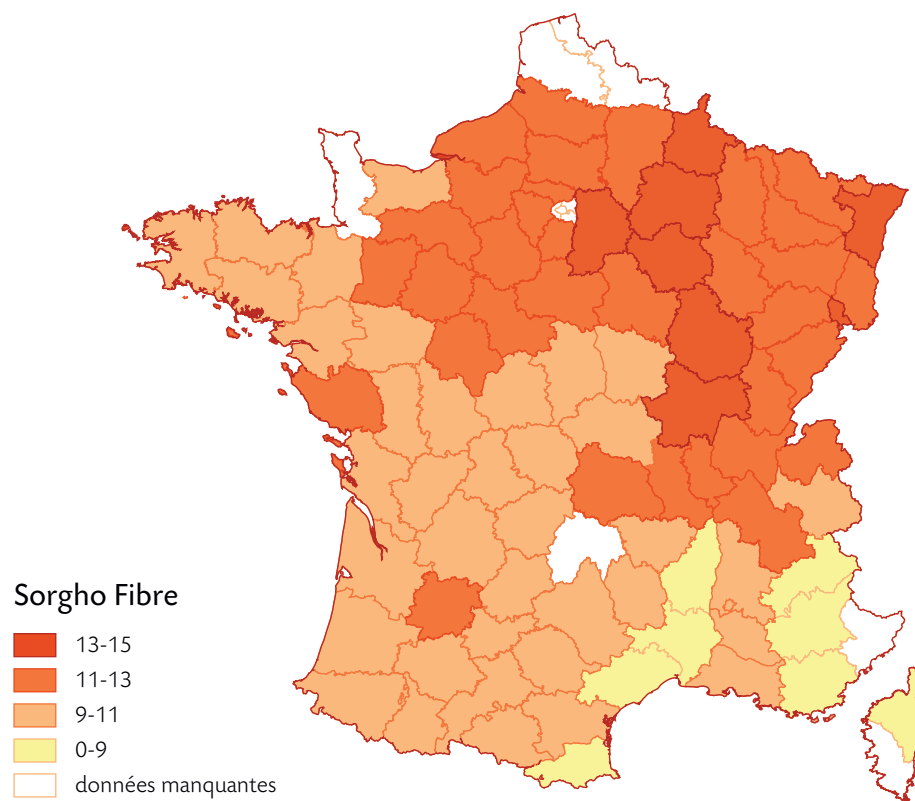


Figure II-3/2 : rendements moyens départementaux récoltables en sorgho biomasse (t ms/ha) en conditions pluviales.

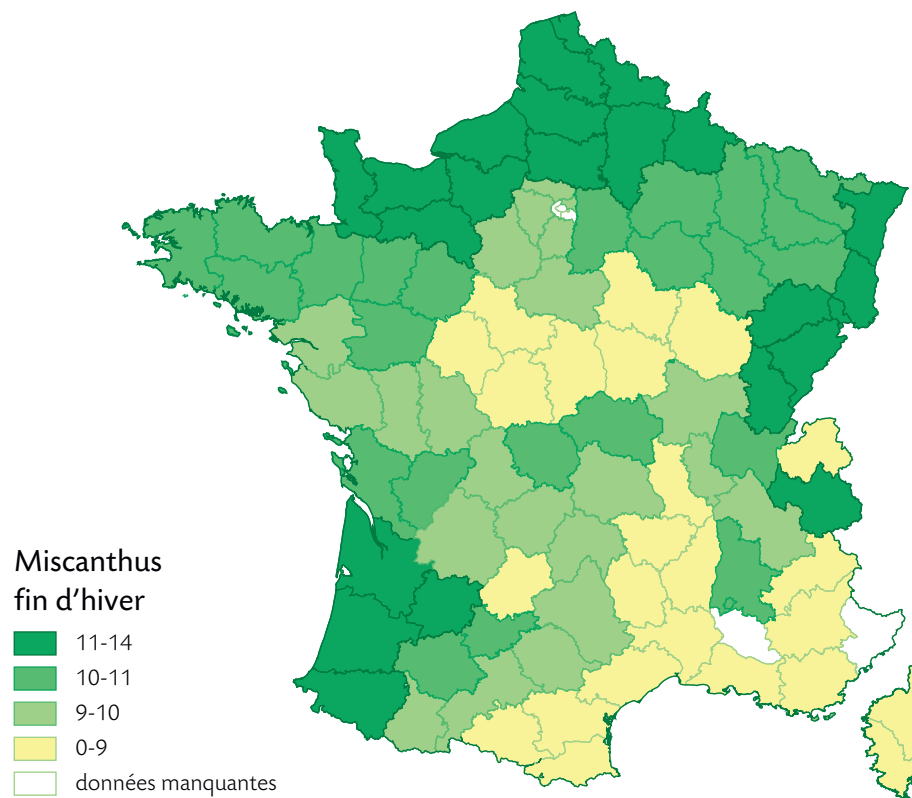


Figure II-3/3 : rendements moyens départementaux récoltables en miscanthus récolté en fin d'hiver (t ms/ha).

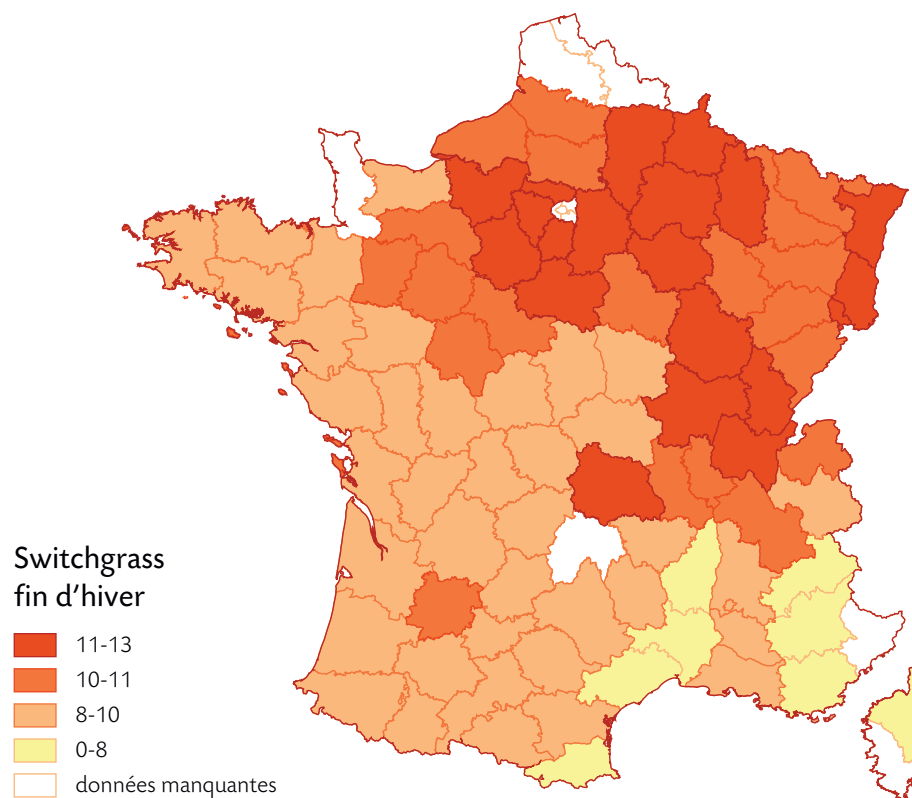


Figure II-3/4 : rendements moyens départementaux récoltables en switchgrass récolté en fin d'hiver (t ms/ha).



# PARTIE III – ENJEUX TRANSVERSAUX ASSOCIÉS AUX CULTURES LIGNOCELLULOSIQUES

Cette partie caractérise et compare les cultures lignocellulosiques au regard de trois enjeux transversaux particulièrement prégnants : l'enjeu énergétique (consommation et production d'énergie), l'enjeu environnemental (impacts qualitatifs et quantitatifs sur la ressource en eau, émissions de gaz à effet de serre) et enfin l'enjeu économique (coûts de production). Les résultats présentés ici sont issus selon le cas de travaux menés en amont du projet LIGNOGUIDE, ou d'analyses spécifiquement conduites dans le cadre de ce projet. Leur utilisation dans des contextes différents des hypothèses de travail appelle toutes les précautions habituelles d'usage.

### III.1 – Part possible de la biomasse agricole dans les objectifs français sur les énergies renouvelables

Rédacteur : Frédéric LEVRAULT (Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes)

Sur la base des feuilles de route officielles, la place de la biomasse dans les énergies renouvelables à l'horizon 2020 est analysée, puis une estimation est faite du rôle que pourraient y tenir les cultures ligno-cellulosiques afin d'éclairer le potentiel de développement de ces productions.

### III.2 – Production et consommation d'énergie par les cultures lignocellulosiques

Rédacteur : Sylvain MARSAC (Arvalis - Institut du végétal)

Les cultures ligno-cellulosiques présentent l'intérêt de produire (contenu énergétique de la biomasse) beaucoup plus d'énergie par unité de surface cultivée qu'elles n'en consomment pour la conduite de la culture (plantation, fertilisation...). Ce ratio, qualifié de rendement énergétique, est examiné pour les différentes cultures ligno-cellulosiques étudiées.

### III.3 – Impacts environnementaux des cultures lignocellulosiques

Rédacteurs : Marie-Laure SAVOURÉ (Agro-Transfert Ressources et Territoires), Fabien FERCHAUD (INRA Unité Agro-Impact), Sylvain MARSAC (Arvalis - Institut du végétal)

L'impact qualitatif des cultures ligno-cellulosiques sur l'eau, via le transfert de nitrate et de produits phytosanitaires, est analysé avec des itinéraires techniques permettant d'assurer une production proche du potentiel pédoclimatique.

La consommation en eau en régime pluvial est également étudiée.

Ces impacts qualitatifs et quantitatifs sur l'eau sont chiffrés pour chacune des espèces étudiées ici, et mis en comparaison avec les impacts de quelques cultures à vocation alimentaire.

Les cultures lignocellulosiques constituent une contribution possible de l'agriculture à la lutte contre le changement climatique. L'effet de ces cultures en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de stockage/déstockage de carbone est évalué.

### III.4 – Dimension économique des cultures lignocellulosiques

Rédacteur : Sylvain MARSAC (Arvalis - Institut du végétal)

Le prix d'intérêt de la biomasse, comparativement au prix actuel et futur des énergies fossiles, est une composante essentielle de leur développement en France. Pour éclairer ce débat, les charges de production (poste par poste) des cultures lignocellulosiques ont été analysées dans différentes situations agricoles types.

### III.5 – Autres indicateurs techniques

Rédacteur : Sylvain MARSAC (Arvalis - Institut du végétal)

Trois indicateurs complémentaires ont été étudiés ici : la Balance Globale Azotée, la consommation de carburant et le temps de travail. Pour permettre la comparaison entre espèces annuelles (triticale, maïs...) et pérennes (miscanthus, TtCR, TCR...), ces résultats sont exprimés en valeurs moyennes par année de culture.

### III.6 – Présentation des indicateurs par zone géographique

Rédacteur : Sylvain MARSAC (Arvalis - Institut du végétal)

## III.1 - Part possible de la biomasse agricole dans les objectifs français sur les énergies renouvelables

L'état actuel et le développement attendu des énergies renouvelables (parmi lesquelles la biomasse agricole) en France d'ici 2020 sont précisés par différents textes et travaux publiés ces dernières années, parmi lesquels on retiendra :

- Bilan énergétique de la France en 2011 – Commissariat Général au Développement Durable – 2012 ;
- Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale – Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables – Comité opérationnel n° 10 – 2007 ;
- Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009, relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables ;
- Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables – Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer – 2009 ;
- L'économie verte au service de la croissance – Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux – 2012.

L'analyse de ces différents supports permet de construire une hypothèse sur la place possible des cultures lignocellulosiques dans le mix énergétique français d'ici 2020.

### Place des énergies renouvelables

On rappelle que la consommation d'énergie primaire correspond à l'énergie tirée de la nature ou contenue dans les produits énergétiques tirés de la nature avant transformation. La transformation d'énergie correspond aux « pertes » liées au processus de production d'énergie et à son transport. La consommation finale non énergétique correspond au bitume pour les routes, au gaz pour les engrais, etc. La consommation d'énergie finale correspond à la consommation des utilisateurs finaux (ménages et entreprises) autres que la branche énergie.

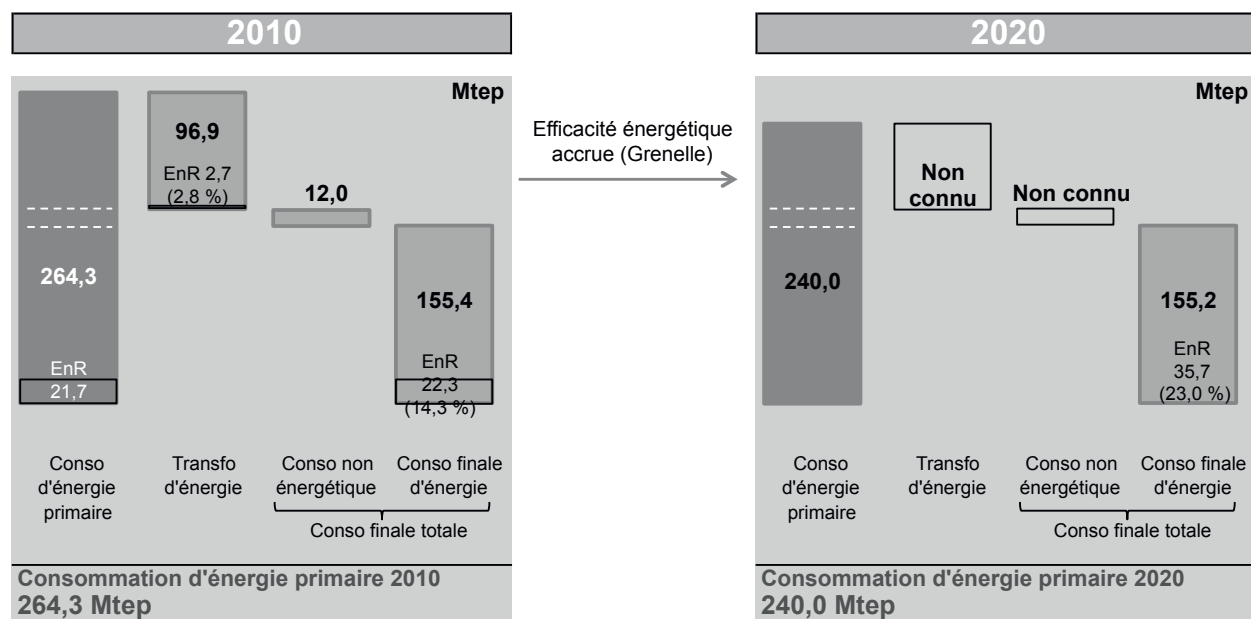


Figure III-1/1 : consommation française d'énergie observée en 2010 (à gauche) et projetée en 2020 (à droite). Sources : Bilan énergétique de la France en 2011 – Commissariat Général au Développement Durable – 2012; Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables – Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer – 2009. Remarque : les valeurs correspondant à la transformation d'énergie et à la consommation non énergétique en 2020 ne sont pas connues.

En 2020, la production française d'énergie par des sources renouvelables devra représenter 23 % de notre consommation finale d'énergie (énergie mise à disposition de l'utilisateur après production et transport), alors qu'elle n'en représentait en 2010 qu'un peu plus de 14 % (et 5 % en 2006). Dans le même temps, la consommation finale d'énergie en France devra avoir été stabilisée aux alentours de 155 Mtep, par la mise en œuvre d'un scénario dit « d'efficacité énergétique accrue » qui inclue l'amélioration des process industriels, l'isolation thermique des bâtiments, etc.

## Place de la biomasse dans la production d'énergie renouvelable

En 2010, la production française d'énergie à partir de sources renouvelables a représenté 22,3 Mtep, dont 59 % (13,2 Mtep) issus de la seule biomasse. Cette place conséquente – et souvent méconnue – de la biomasse est largement due à l'importance du bois (bûche) en tant que moyen de chauffage domestique.

La biomasse agricole correspond essentiellement au poste « Agro-carburants » (2,3 Mtep), mais aussi pour partie aux postes « Résidus de l'agriculture et des IAA » et « Biogaz ». Au total, l'agriculture représentait en 2010 un peu plus de 2,5 Mtep, d'énergie renouvelable produite, soit environ 20 % des EnR, Agro-carburants compris.

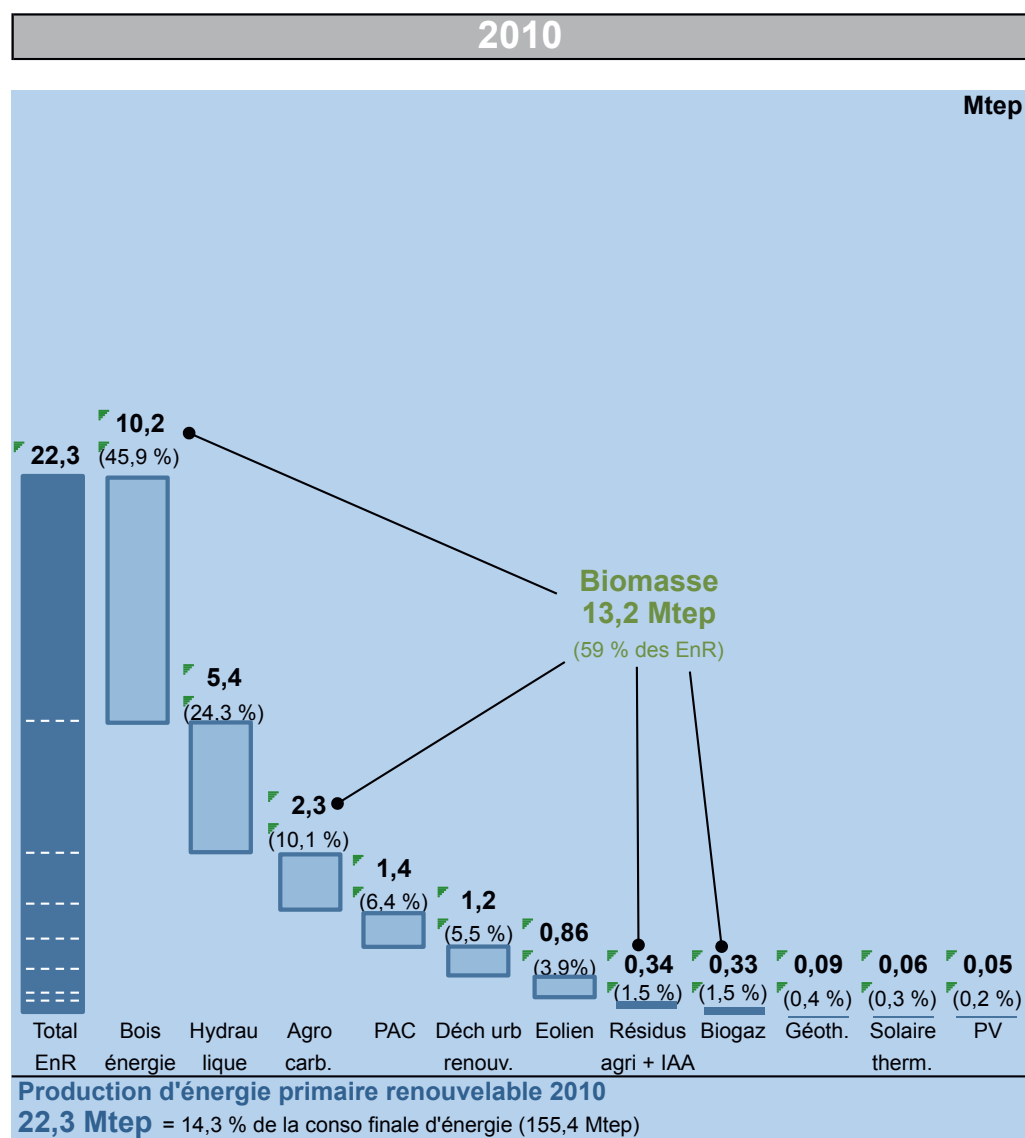


Figure III-1/2 : production française d'énergie à partir de sources renouvelables en 2010. Source : Bilan énergétique de la France en 2011 – Commissariat Général au Développement Durable – 2012.



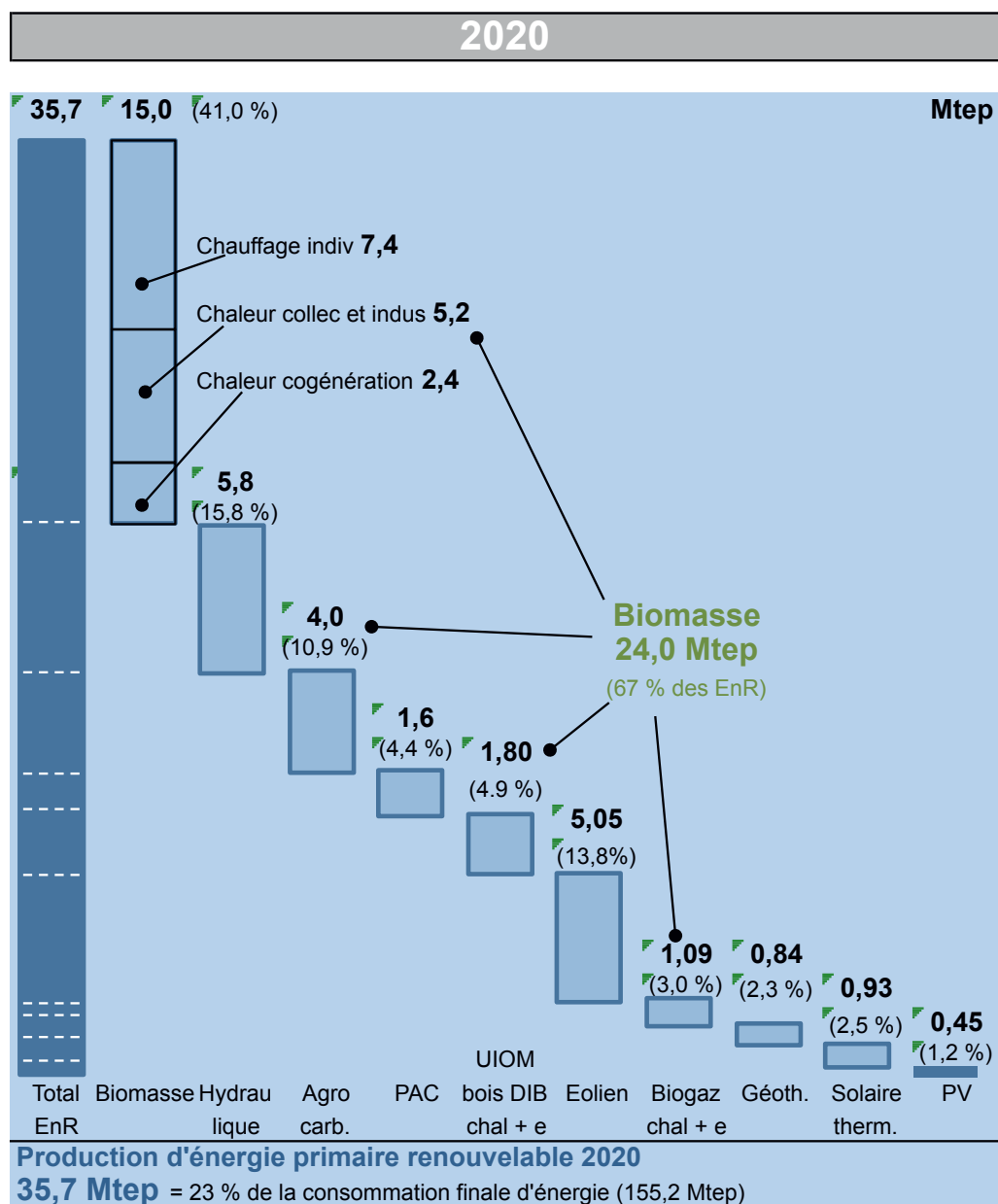


Figure III-1/3 : production française d'énergie à partir de sources renouvelables en 2020. Source : Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables – Ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – 2009.

En 2020, la production française d'énergie à partir de sources renouvelables devra atteindre 35,7 Mtep soit un quasi doublement de la production observée en 2006. Il est important de noter que la biomasse, toutes sources confondues (forêt et agriculture), représente l'essentiel de cet accroissement de production : sur les 13,4 Mtep (35,7 Mtep en 2020 – 22,3 Mtep en 2010) d'origine renouvelable à produire en plus, 10,8 Mtep (24,0 Mtep en 2020 – 13,2 Mtep en 2010) proviendront de la biomasse, c'est-à-dire 80 % de l'accroissement attendu.

## Place de la biomasse agricole dans la production d'énergie renouvelable

La place de la biomasse agricole, qui n'est pas établie de façon définitive dans les études disponibles, peut être approchée en déduction des objectifs affichés pour la biomasse forestière, et en considérant validée l'hypothèse de 4,0 Mtep d'agro-carburants produits en 2020.

Le Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux a établi que les bio-combustibles solides (c'est-à-dire hors agro-carburants) devront passer de 11,1 Mtep en 2010 à 20,0 Mtep en 2020, la forêt pouvant représenter 70% de la production à cette échéance, soit 14,0 Mtep.

Si l'on considère que la part des déchets (10% de la production de bio-combustibles) reste stable entre 2010 et 2020, les bio-combustibles solides issus de l'agriculture devront alors être mobilisés à hauteur de 20% des bio-combustibles solides, ce qui représente 4,0 Mtep.

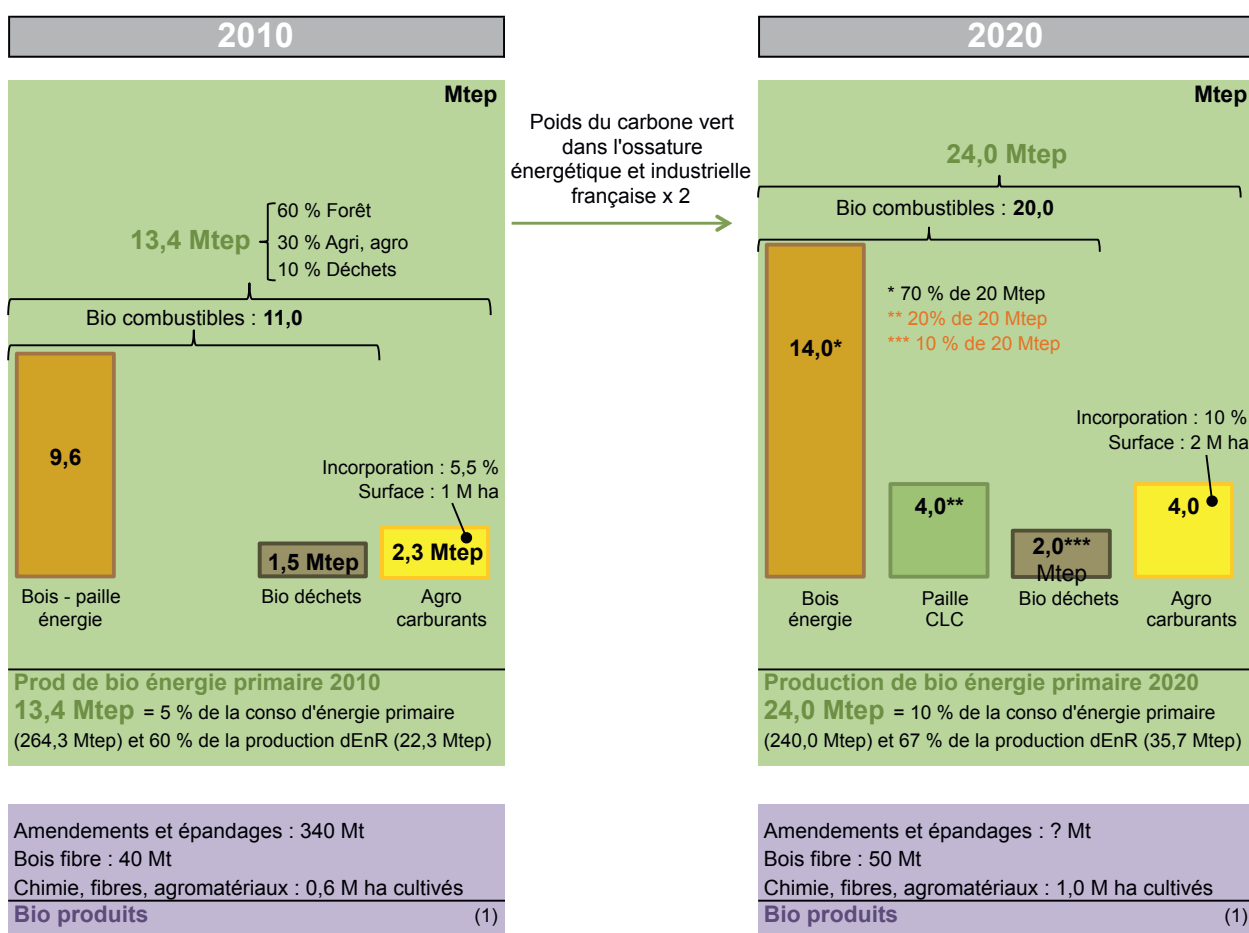


Figure III-1/4 : production française d'énergie primaire à partir de biomasse observée en 2010 (à gauche) et projetée en 2020 (à droite). Source : L'économie verte au service de la croissance – Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux – 2012.

## Place possible des cultures lignocellulosiques dans la production d'énergie renouvelable

Il est délicat d'établir plusieurs années à l'avance, quelle sera la place réelle des cultures lignocellulosiques dans ces 4,0 Mtep attendus en 2020. A titre d'illustration, indiquons cependant que dans l'hypothèse où ces cultures représenteraient la moitié (2,0 Mtep) de cet objectif, il faudrait implanter l'équivalent de 500 000 hectares de miscanthus en France pour couvrir ce besoin (PCI = 4,7 MWh/t ms soit 0,4 tep/t ms; rendement = 10 t ms/ha), sans tenir compte de l'efficacité énergétique des processus en jeu. Cela représenterait en moyenne 5 000 hectares par département de France métropolitaine.

Dans cette hypothèse, et en intégrant les surfaces agricoles dédiées aux matériaux et à la chimie tels que dimensionnées par le CGAAER, la SAU nécessaire pour suivre la feuille de route initiée par la Directive européenne 2009/28/CE passerait de 1,6 millions d'hectares en 2010 à 3,5 millions d'hectares en 2020, agro-carburants compris.

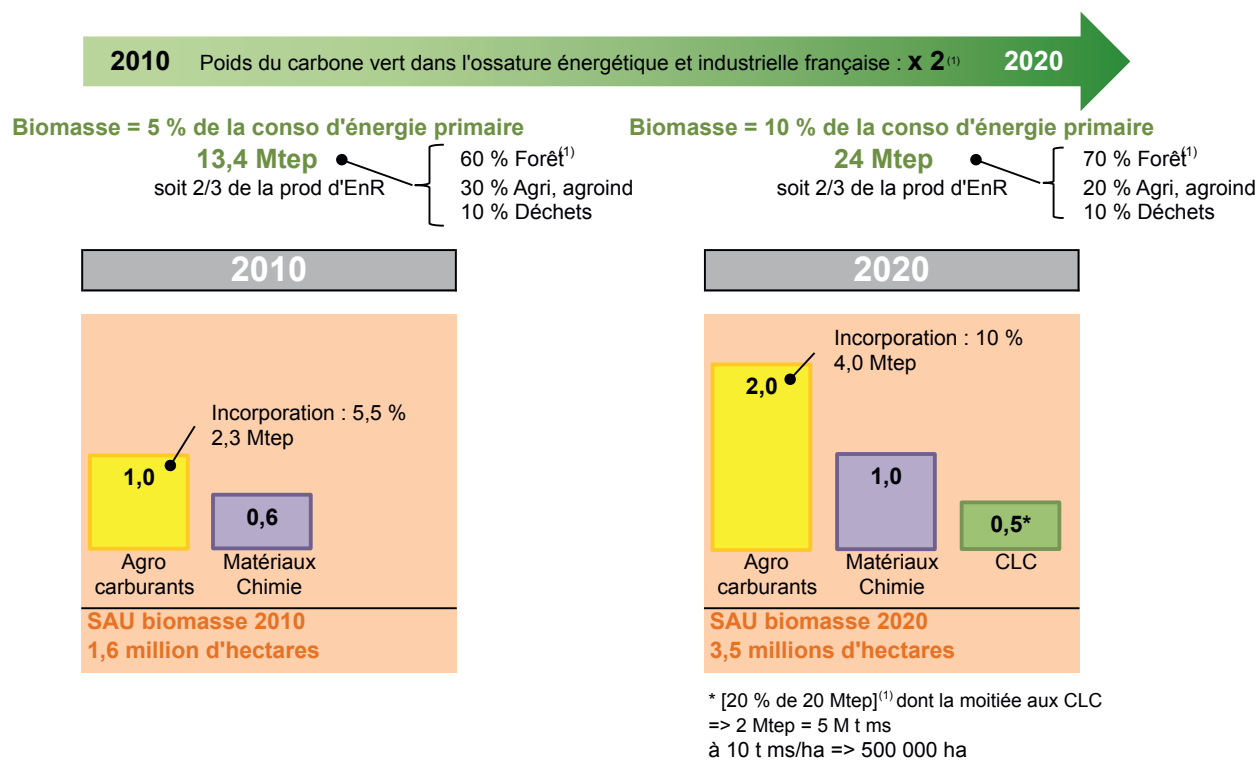


Figure III-1/5 : Surface Agricole Utile (SAU) française occupée par la biomasse non alimentaire en 2010 (à gauche) et projetée en 2020 (à droite). D'après : L'économie verte au service de la croissance – Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux – 2012.

## III.2 - Production et consommation d'énergie par les cultures lignocellulosiques

*Systerre® est un outil d'évaluation multicritère des systèmes de production. Des indicateurs techniques, économiques et environnementaux sont calculés à partir d'un référencement de toutes les données d'une exploitation, d'un système de culture voire d'une expérimentation.*

Les indicateurs présentés dans cette partie sont issus d'hypothèses de pratiques culturales et de rendements par grand contexte pédoclimatique (Cf. *itinéraires techniques présentés en annexe 2*). Ils ont été appliqués sur des fermes de référence pour chacun des contextes étudiés. Ces fermes de référence permettent d'intégrer une structure générale d'exploitation, son assolement détaillé, le parc matériel (traction, travail du sol, épandage, récolte...) et les itinéraires techniques détaillés (produit, date, dose) pour chacune des cultures. L'ensemble de ces informations sont saisies dans l'outil (Systerre®) et permettent le calcul de divers indicateurs techniques, économiques, énergétiques et environnementaux. Les résultats sont présentés pour l'ensemble des cultures ligno-cellulosiques avec une comparaison à la culture de référence (blé ou maïs, alimentaire) pour chacun des contextes étudiés, culture évaluée sur la même ferme de référence.

Chacun des indicateurs étudiés est présenté sur une seule des six zones géographiques de l'étude. L'ensemble des indicateurs dans chacune des zones est présenté en III.6.

Les indicateurs économiques et énergétiques présentés dans ce guide sont étroitement liés aux productions des différentes cultures. Ces niveaux de production affichés sont des niveaux moyens lissés sur la durée de vie de la culture qui peut intégrer une ou plusieurs années sans production.

Le bilan énergétique de cultures dédiées à la production de biomasse est certainement un des premiers indicateurs étudiés pour analyser la viabilité des voies de valorisation. Des estimations de consommations et des productions énergétiques doivent être effectuées.

Les consommations d'énergie présentées ci-dessous sont des consommations d'énergie primaire totale. L'énergie nécessaire à la fabrication de chacun des intrants (semences, plantes, engrais, phytosanitaires), à la fabrication et à l'utilisation des matériels de culture (fuel) est comptabilisée selon des méthodes normalisées et partagées. Ces calculs sont issus de référentiels sur les matériels de culture, traction, récolte (ARVALIS – Institut du végétal, BCMA...) et produits d'entretien utilisés (engrais, phytosanitaires, fuel...).

La production d'énergie est quant à elle calculée à partir du pouvoir calorifique d'une tonne de biomasse. Ce PCI (pouvoir calorifique inférieur) est exprimé en MJ/t ms. Cette valeur quantifie l'énergie contenue dans la biomasse sèche qui n'est toutefois pas l'énergie disponible en sortie d'unité de valorisation, énergie qui dépend du procédé de transformation.

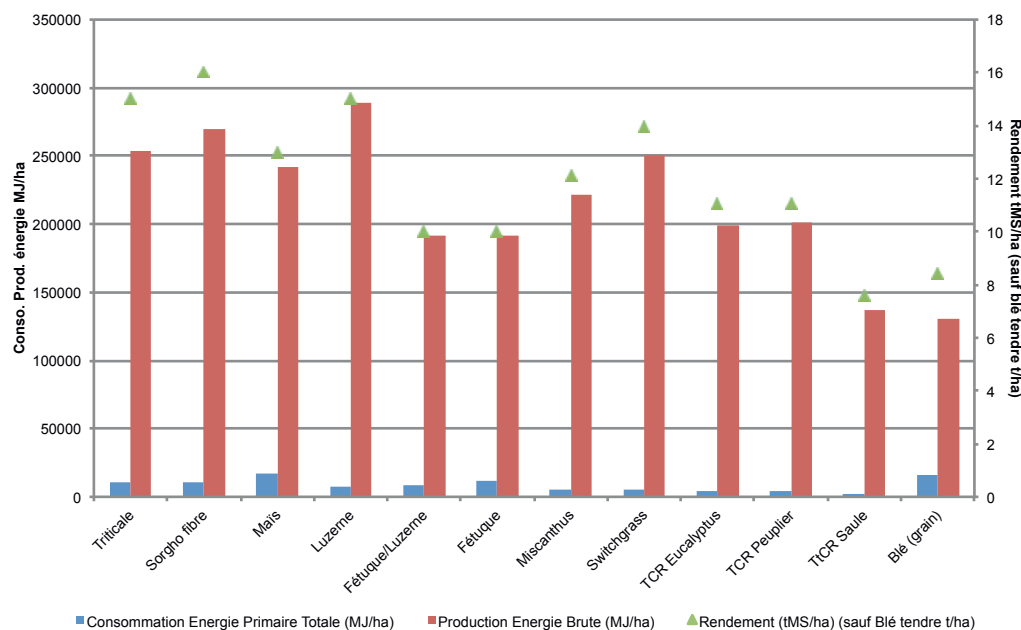


Figure III-2/1 : production et consommation d'énergie de différentes cultures lignocellulosiques à rendement fixé et de la culture de référence (blé) dans le Nord-Est (MJ/ha) – calcul Systerre®.

Les productions d'énergie sont toutes largement supérieures à la consommation énergétique que ce soit à l'unité de surface (ha) ou l'unité produite (t ou t ms). Cette consommation est faible pour l'ensemble de ces productions (inférieure à 20 000 MJ/ha). Les cultures pérennes ont les niveaux les plus bas en raison d'une moindre fertilisation, de l'absence de travail du sol annuel et de l'amortissement d'opérations lourdes sur l'ensemble de la durée de vie de la culture. Sur les cultures pérennes, les consommations en carburant représentent près de 50% des consommations d'énergie (essentiellement récolte).

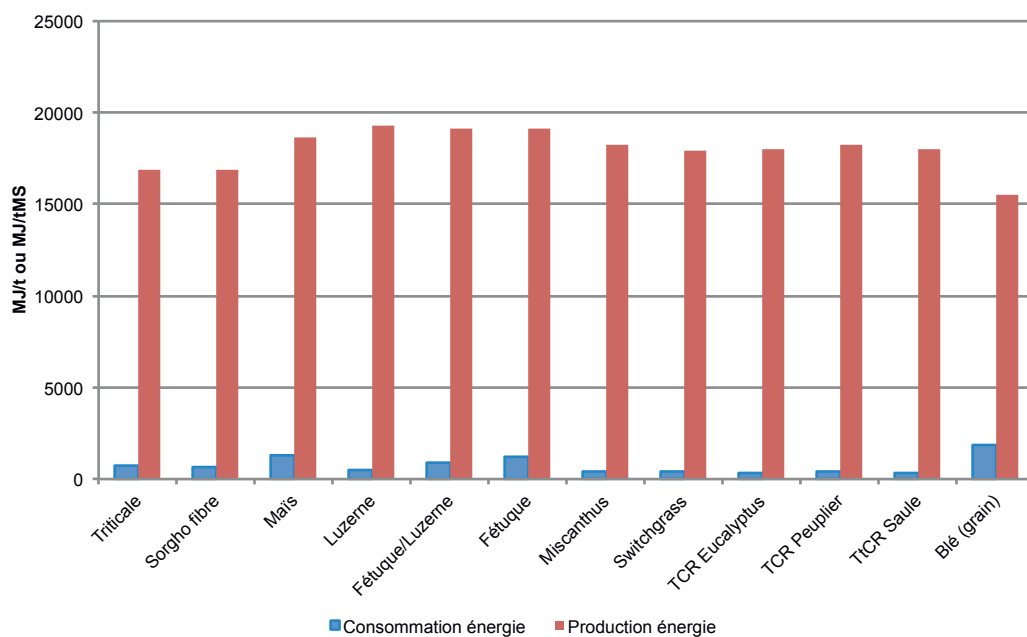


Figure III-2/2 : production et consommation énergétique par tonne produite de différentes cultures lignocellulosiques et de la culture de référence (blé) dans le Nord-Est (MJ/t ou MJ/t ms).

Les productions d'énergie présentées sont très homogènes. Toutefois, nous rappelons qu'il s'agit de la quantité d'énergie potentielle produite pour une tonne de matière sèche, soit à 0% d'humidité. Cette humidité est importante à intégrer selon les voies de valorisation envisagées.

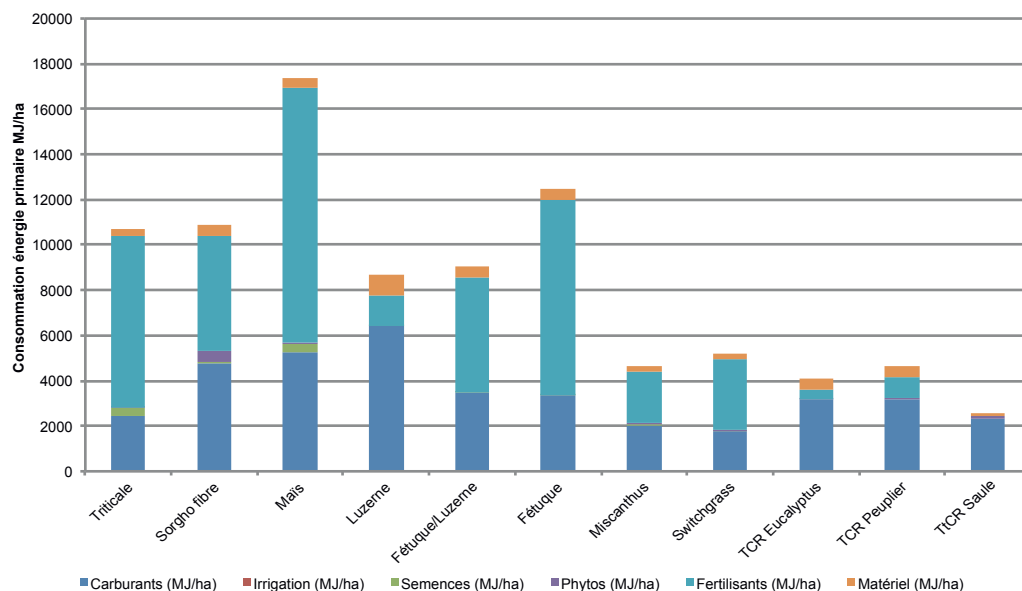


Figure III-2/3 : répartition de la consommation d'énergie par poste de charge pour différentes cultures ligno-cellulosiques et pour la culture de référence dans le Nord-Est (MJ/ha).

Les apports de fertilisants pour les cultures annuelles et le nombre de récoltes pour les cultures pluriannuelles fourragères expliquent majoritairement les écarts entre cultures. Pour les cultures annuelles, conformément aux références, la fertilisation reste le principal poste de consommation. Les opérations lourdes de récolte et l'absence ou très faible fertilisation sont les facteurs d'explication majeurs des consommations d'énergie sur cultures ligneuses (TCR).

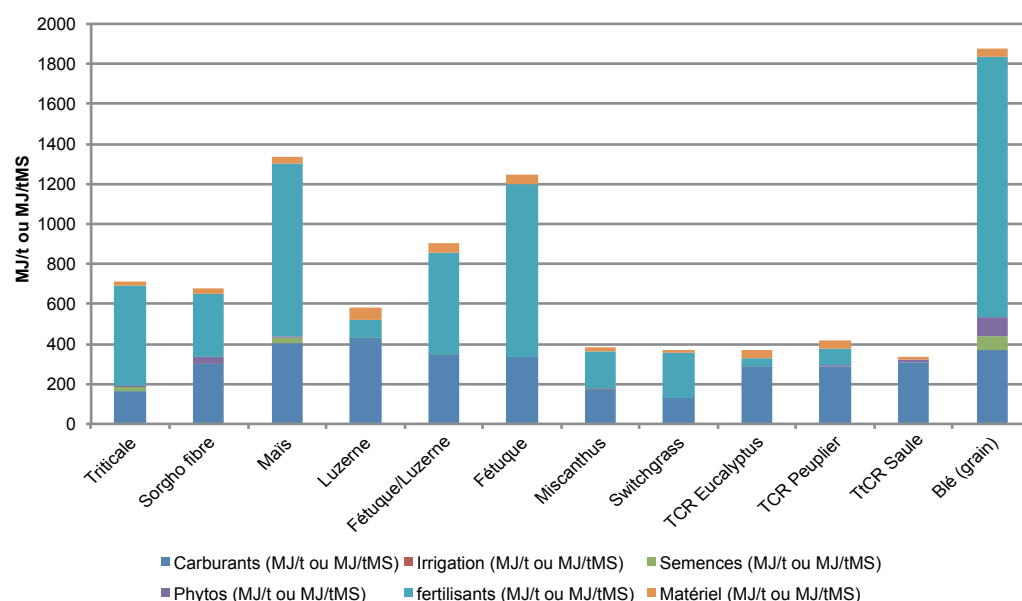


Figure III-2/4 : répartition de la consommation d'énergie à la tonne produite par poste de charge pour différentes cultures ligno-cellulosiques et pour la culture de référence dans le Nord-Est (MJ/t ou MJ/tms).

## III.3 – Impacts environnementaux des cultures lignocellulosiques

### III.3-1 Impacts sur la quantité d'eau

#### • Les facteurs qui influencent la consommation en eau et le drainage

Dans les paysages agricoles et naturels, l'essentiel des précipitations pénètre dans le sol et s'y stocke en remplissant le réservoir superficiel du sol, dont la capacité de rétention est déterminée par sa « réserve utile » (RU) (Amigues *et al.*, 2006). L'eau stockée temporairement dans ce réservoir peut retourner vers l'atmosphère, par évaporation du sol ou transpiration des plantes (on parle d'évapotranspiration). L'eau en excès s'évacue par percolation (drainage). L'eau drainée s'infiltre alors dans le sous-sol et alimente la nappe phréatique et/ou le réseau hydrographique de surface (par écoulement latéral). Les épisodes de drainage s'observent le plus souvent en période hivernale, lorsque les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration. Dans les conditions de climat tempéré, l'essentiel du drainage annuel a lieu généralement entre novembre et mars, mais avec une assez forte variabilité en fonction des sites et des années (Mary *et al.*, 1996).

L'évapotranspiration (ET) est la somme de l'évaporation du sol et de la transpiration de la végétation. Elle dépend de l'eau disponible dans le sol, de la demande en eau exprimée par le climat, mais également du couvert végétal (en lien avec la surface foliaire notamment). Cette consommation en eau, variable selon les couvertures végétales, joue un rôle important dans le cycle hydrologique puisqu'elle détermine la part des précipitations qui retourne vers l'atmosphère et celle qui est restituée au milieu par le drainage (Amigues *et al.*, 2006). L'agriculture peut donc jouer un rôle important sur la ressource en eau. Les modes d'occupation des sols au niveau local ou régional modifient le bilan entre évapotranspiration et drainage. En parallèle, un autre effet majeur de l'agriculture est le prélèvement direct dans les masses d'eau naturelles pour l'irrigation.

En général, les surfaces cultivées non irriguées consomment moins d'eau que les surfaces constamment couvertes par la végétation (forêt, prairie). Ceci est dû au fait que les systèmes de culture laissent une proportion de sols nus plus ou moins importante et que le sol nu limite ses pertes par évaporation une fois sa surface desséchée grâce à l'effet « mulch » (Amigues *et al.*, 2006). D'autre part, il peut exister des différences de consommation en eau entre les systèmes de culture, qui sont notamment fonction de la durée de végétation et du positionnement du cycle végétatif par rapport à la demande climatique (qui est maximale en été).

#### • La consommation en eau des cultures lignocellulosiques

Évaluer l'impact quantitatif sur l'eau des cultures lignocellulosiques revient à quantifier leur consommation en eau (évapotranspiration) et/ou le drainage se produisant sous ces cultures, en conditions non irriguées puisque l'on fait l'hypothèse que ces cultures seront conduites sans irrigation. Cependant, peu d'études ont pour l'instant été menées afin de comparer la consommation en eau des cultures lignocellulosiques entre elles et/ou par rapport à des cultures conventionnelles.

Les cultures pluriannuelles de type fourragères (fétuque, luzerne) ont un fonctionnement proche d'une prairie fauchée. Or, il a été montré que la consommation en eau d'une prairie est supérieure à celle d'une parcelle en cultures annuelles, ce qui induit une réduction des quantités d'eau drainées dont l'importance dépendra du climat et de la réserve utile du sol (Amigues *et al.*, 2006). Cet écart est principalement dû à la durée du cycle de végétation, plus importante en prairie. La luzerne possède de plus un système racinaire particulièrement développé, qui lui permet de prélever de l'eau en

profondeur. Une réduction du drainage sous luzerne par rapport à une rotation de cultures annuelles a par exemple été observée par Beaudoin *et al.* (1992). La fétuque et la luzerne pourraient donc avoir une consommation en eau supérieure à celle des cultures annuelles.

Il est généralement attendu que les cultures pérennes (miscanthus, switchgrass, TCR) aient également une consommation en eau supérieure aux cultures annuelles, de par leur développement racinaire important, leur surface foliaire élevée et leur long cycle de végétation (Hickman *et al.*, 2010; Rowe *et al.*, 2009; Vanloocke *et al.*, 2010). Leur implantation en lieu et place de cultures annuelles pourrait donc entraîner une réduction du drainage et donc de la restitution d'eau au milieu. Quelques expérimentations ont été menées aux USA pour comparer l'évapotranspiration du miscanthus, du switchgrass et du maïs. Ces études ont montré une consommation en eau supérieure des cultures pérennes, et en particulier du miscanthus, par rapport au maïs, mais avec une forte variabilité sur l'importance de cette augmentation (Hickman *et al.*, 2010, McIsaac *et al.*, 2010).

### • La comparaison des cultures lignocellulosiques étudiées dans LIGNOGUIDE

Dans le cadre du réseau expérimental du projet LIGNOGUIDE, le stock d'eau du sol a été mesuré à l'automne et en sortie d'hiver pendant trois années consécutives, sur les trois espèces étudiées dans le réseau : miscanthus, switchgrass et sorgho fibre.

Dans un contexte pédoclimatique donné, les différences entre cultures sur le stock d'eau du sol à l'automne, avant la reprise du drainage, résultent des différences d'évapotranspiration pendant la saison de culture. Plus l'évapotranspiration est importante, plus le stock d'eau du sol à l'automne sera faible et plus le drainage l'hiver suivant sera réduit.

Le stock d'eau à l'automne a donc été utilisé comme un indicateur de la consommation en eau des cultures (Cf. [tableau III-3/1](#)). Cette mesure permet de comparer les espèces entre elles sur chaque site et en moyenne sur le réseau expérimental. Pour permettre une comparaison plus aisée entre sites, ce stock a été exprimé en pourcentage de la quantité d'eau retenue par le sol lorsque la réserve utile est pleine.

**Tableau III-3/1** : stocks d'eau mesurés en automne sur le réseau LIGNOGUIDE et exprimés en pourcentage du stock d'eau à la capacité au champ (moyenne des années 2010, 2011 et 2012).

	Stock d'eau mesuré en automne* (en % du stock à la capacité au champ)		
	Miscanthus	Switchgrass	Sorgho
Marchais	94	73	89
Catenoy	88	88	
Nojeon	78	58	74
Le Subdray	54	74	86
Le Chesnoy	80	87	
Montans	35	38	
Gréoux	77	74	
Aix Valabre	71	42	70
Bonanza		56	67
Moyenne	71	68	73

\* Les stocks d'eau sont calculés sur la profondeur de prélèvement (entre 25 et 90 cm selon les sites) à partir des mesures de teneur en eau par horizon et d'une estimation de la densité apparente du sol. Ils sont ensuite exprimés par rapport au stock d'eau du sol lorsque celui-ci est « à la capacité au champ », c'est-à-dire lorsque la réserve utile du sol est pleine.



Globalement, les trois espèces comparées dans le réseau ne présentent pas de différence majeure. En moyenne, le stock d'eau mesuré à l'automne (entre le 15/09 et le 01/11 en fonction des sites et des années) équivaut à environ 70 % du stock d'eau à la capacité au champ; le sol n'est donc pas entièrement ré-humecté et la phase de drainage n'a pas commencé. Le degré de ré-humectation du sol est par contre assez variable entre sites, ce qui est probablement lié à des différences de sol et de climat.

Dans le détail, la hiérarchie entre cultures varie selon les sites mais les différences sont souvent minimes. Ces mesures ne permettent donc pas de confirmer l'existence d'une consommation en eau plus importante pour les espèces pérennes, par rapport à une espèce annuelle comme le sorgho. Cela peut être dû, en partie, à des limites méthodologiques (nécessité d'un suivi plus fin de l'état hydrique du sol au cours du temps et sur toute la profondeur de sol). Il est également probable que les différences de comportement entre espèces soient réduites dans des sols superficiels (cas de la majorité des sites du réseau) par rapport à des sols à réserve utile importante.

## • Conclusion

Les références permettant de comparer la consommation en eau des cultures ligno-cellulosiques sont peu nombreuses. Certains résultats expérimentaux permettent de penser que la consommation en eau des cultures pluriannuelles et pérennes peut être supérieure à celle des cultures annuelles. Cependant, l'interaction complexe avec les conditions pédoclimatiques rend difficile la quantification de ces différences. Les mesures effectuées sur le réseau LIGNOGUIDE ne montrent pas de différence importante entre les trois espèces suivies. Des travaux de recherche sont encore nécessaires pour mieux appréhender cet aspect. Des travaux sur ce thème sont en cours à l'INRA Unité Agro Impact à Estrées-Mons (80).

## III.3-2 Impacts sur la qualité de l'eau via le transfert de nitrate

### • Les facteurs qui influencent le transfert de nitrate vers l'eau

Le transfert de nitrate vers les eaux se fait par lixiviation, c'est-à-dire par entraînement en profondeur dans le sol sous l'action des eaux de percolation, au-delà de la limite d'enracinement des cultures. Ces pertes d'azote par lixiviation se produisent donc seulement si les deux conditions suivantes sont réunies (Simon, 1999) :

- 1) **La présence de nitrate dans le sol.** Les origines du nitrate présent dans le sol sont diverses (Simon, 1999). Il peut provenir de la minéralisation de l'azote organique du sol, des apports d'engrais minéraux, des apports d'engrais de ferme et des restitutions directes par les animaux au pâturage (dans le cas d'une prairie). La minéralisation nette d'azote par le sol représente une fourniture d'azote importante et très variable selon les situations (type de sol, antécédents d'apports organiques...). Les quantités d'azote minéralisées varient également au cours de l'année pour une situation donnée, en lien avec la température et l'humidité du sol.
- 2) **Une situation d'excès d'eau qui conduit au développement d'un flux d'eau dans le sol (drainage).** La phase de drainage hivernale est la période pendant laquelle s'opère la plus grande partie des pertes d'azote par lixiviation car l'essentiel du drainage se produit à cette période (Mary *et al.*, 1996). D'autre part, les quantités moyennes annuelles d'eau drainée varient selon le contexte pédoclimatique, puisqu'elles dépendent notamment des précipitations, de l'évapotranspiration et de la réserve utile du sol (Simon, 1999).

Les pertes d'azote par lixiviation dépendent donc du stock d'azote minéral présent dans le sol au début de la période de drainage, de la lame drainante et du type de sol. En effet, pour une quantité donnée d'azote nitrique présent dans le sol, la quantité d'azote lixiviée augmente avec le

drainage. De même, plus la réserve utile du sol est faible (sol peu profond, sableux...), plus le risque de lixiviation pour une même lame drainante est important. Par contre, quand la lame drainante augmente, pour une même quantité d'azote lixiviée, la concentration en nitrate des eaux de drainage diminue.

Le type de culture peut avoir une influence sur les pertes de nitrate par lixiviation, principalement du fait des différences d'absorption d'azote entre cultures (quantité totale et dynamique temporelle). Par exemple, la betterave à sucre a une période d'absorption de l'azote plus longue que d'autres cultures comme le maïs, ce qui lui permet d'absorber l'azote du sol minéralisé en automne et donc de réduire les pertes de nitrate l'hiver suivant (Beaudoin *et al.*, 2005). Le type de culture peut aussi avoir une influence sur le drainage, via une plus ou moins grande consommation en eau. Cependant, les pertes en nitrate sont également dépendantes des pratiques culturales (fertilisation...) et du système de culture (rotation, présence ou absence de culture intermédiaire...), ce qui peut rendre délicat la comparaison entre espèces.

### • Les transferts de nitrate vers l'eau sous les cultures lignocellulosiques

Quelques expérimentations ont été menées en Europe et aux USA pour étudier l'impact des cultures lignocellulosiques pérennes (miscanthus, switchgrass, TtCR de saule) sur les pertes en nitrate. Ces expérimentations ont consisté à mesurer les quantités d'azote lixiviées et/ou les teneurs en nitrate des eaux drainées, au moyen de lysimètres ou de bougies poreuses. Elles ont permis de constater de faibles concentrations moyennes en nitrate (généralement inférieures à 25 mg de nitrate par litre) dans l'eau drainée sous ces cultures pérennes (Aronsson et Bergstrom, 2001, Christian et Riche, 1998, Goodlass *et al.*, 2007, Mclsaac *et al.*, 2010, Mortensen *et al.*, 1998, Schmidt-Walter et Lamersdorf, 2012).

Lorsque l'effet de la fertilisation azotée a été testé, la concentration moyenne en nitrate de l'eau drainée était peu affectée par le niveau d'apport d'azote, sauf dans le cas d'une étude sur miscanthus pour le niveau d'apport le plus élevé (120 kg N ha<sup>-1</sup>) (Christian et Riche, 1998).

Cependant, les mêmes travaux de recherche ont montré que les pertes en nitrate peuvent être considérablement augmentées lors de la phase d'implantation du miscanthus et du TCR de saule (pendant une ou deux années après l'installation). Des concentrations de plus de 100 mg NO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> ont alors pu être observées (Aronsson et Bergstrom, 2001, Christian et Riche, 1998, Goodlass *et al.*, 2007, Mortensen *et al.*, 1998). Une augmentation des concentrations en nitrate de l'eau drainée a également été montrée après destruction d'un TCR de peuplier, suivie d'une replantation (Goodlass *et al.*, 2007).

De faibles pertes d'azote par lixiviation ont aussi été observées sous luzerne, liées à la fois à une réduction du drainage par rapport à des cultures annuelles et à une faible concentration en nitrate de l'eau drainée (Beaudoin *et al.*, 1992). En effet, cette culture prélève efficacement l'azote du sol, et de manière prioritaire par rapport à la fixation symbiotique.

### • La comparaison des cultures lignocellulosiques étudiées dans LIGNOGUIDE

Dans le cadre du réseau expérimental du projet LIGNOGUIDE, le stock d'azote minéral a été mesuré à l'automne et en sortie d'hiver pendant trois années consécutives, sur les trois espèces étudiées dans le réseau expérimental : miscanthus, switchgrass et sorgho fibre. Les apports d'azote effectués sur le réseau ont varié légèrement selon les sites (Cf. [tableau III-3/2](#)), malgré des recommandations identiques. Cependant, ces variations restent relativement faibles et n'ont probablement qu'un effet marginal sur les stocks d'azote minéral à l'automne.

Tableau III-3/2 : doses d'azote apportées sur le miscanthus, le switchgrass et le sorgho du réseau expérimental (kg N/ha) - \* nc : non connu.

	Miscanthus			Switchgrass			Sorgho		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
02- Marchais	60	52	50	80	52	50	nc	0	0
04- Gréoux	0	40	40	0	80	80	/	/	/
11- Bonanza	0	/	/	0	0	0	100	50	115
13- Aix-Valabre	40	40	40	80	80	80	120	120	120
18- Le Subdray	40	0	40	80	0	0	120	120	120
27- Nojeon	40	40	40	80	80	40	120	180	120
45- Le Chesnoy	40	0	0	80	0	0	/	/	/
60- Catenoy	0	0	0	0	0	0	/	/	/
81- Montans	40	40	40	80	80	40	/	/	/

A noter : les doses d'azote préconisées sur le réseau expérimental (40 kgN/ha/an pour le miscanthus, 80 kgN/ha/an pour le switchgrass, 120 kgN/ha/an pour le sorgho) ont été estimées afin de compenser les exportations en azote de la biomasse.

Le reliquat d'azote minéral mesuré à l'automne est un indicateur intéressant pour comparer différents systèmes de culture vis-à-vis des risques de perte de nitrate (Mary *et al.*, 1996). Cependant, cet indicateur n'est pertinent que si l'on compare différents systèmes au sein d'un même contexte pédoclimatique. En effet, le drainage et le type de sol (en particulier sa réserve utile) influencent fortement la relation entre le reliquat d'automne et les pertes par lixiviation (Mary *et al.*, 1996).

La mesure de reliquat d'azote faite à l'automne a donc été utilisée comme un indicateur du risque potentiel de perte en nitrate par lixiviation pendant l'hiver (Cf. [tableau III-3/3](#)). Elle permet de comparer les espèces entre elles sur chaque site et en moyenne sur le réseau expérimental, dans le cadre des pratiques de fertilisation azotée mises en œuvre sur le réseau (doses d'azote « modérées » fixées pour compenser les exportations).

Tableau III-3/3 : stocks d'azote minéral mesurés en automne sur le réseau LIGNOGUIDE (moyennes des années 2010, 2011 et 2012).

	Stock d'azote minéral mesuré en automne (kg N ha <sup>-1</sup> )*		
	Miscanthus	Switchgrass	Sorgho
Marchais	26.9	37.1	25.7
Catenoy	31.3	12.4	
Nojeon	65.9	56.4	120.2
Le Subdray	10.8	12.1	11.2
Le Chesnoy	18.8	23.1	
Montans	8.5	7.3	
Gréoux	18.7	18.2	
Aix Valabre	35.3	68.2	112.2
Bonanza		15.0	74.5
Moyenne	27.0	27.8	68.8

\* Les stocks d'azote minéral (nitrate et ammonium) sont calculés sur la profondeur de prélèvement (entre 25 et 90 cm selon les sites) à partir des mesures de teneur en azote par horizon et d'une estimation de la densité apparente du sol.

Les stocks d'azote mesurés à l'automne sont en moyenne très proches et peu variables entre les années de mesure pour les deux cultures pérennes (miscanthus et switchgrass). Ces résultats montrent que le risque de perte de nitrate est probablement équivalent entre ces deux cultures. En revanche, une variabilité un peu plus importante est observée entre sites. Cette variabilité est vraisemblablement due en grande partie à des différences de sol et de climat, puisque les pratiques de fertilisation ont été assez homogènes entre sites. D'autre part, les valeurs moyennes observées sont plutôt faibles, en comparaison avec des observations similaires faites en grandes cultures (Beaudoin *et al.*, 2005). Cela est cohérent avec les résultats expérimentaux publiés pour ces deux espèces (faibles pertes en nitrate pour des cultures en phase de production).

Les stocks mesurés pour le sorgho sont en moyenne plus élevés et surtout plus variables entre sites. Dans le détail, les valeurs observées sont similaires aux cultures pérennes dans deux sites (Marchais et Le Subdray) mais supérieures dans trois autres sites (Nojeon, Aix Valabre et Bonanza). Un reliquat d'azote particulièrement élevé a été mesuré à Nojeon en automne 2010. Ceci est probablement lié à une fourniture d'azote du sol importante, du fait du retournement de la jachère ayant précédé la culture, qui s'est ajoutée à une fertilisation azotée de 120 kg N ha<sup>-1</sup>.

### • Conclusion

Plusieurs travaux de recherche ont montré de faibles pertes de nitrate comparativement à des systèmes de cultures annuelles, pour des cultures ligno-cellulosiques pérennes et pluriannuelles en phase de production. Ces observations pourraient s'expliquer par une bonne valorisation de l'azote du sol par ces cultures, qui induirait une réduction des quantités d'azote minéral disponibles dans le sol pour être lixiviées pendant la phase de drainage. Les observations réalisées sur le réseau LIGNOGUIDE vont dans ce sens, avec des reliquats d'azote à l'automne généralement assez faibles pour miscanthus et switchgrass. Cependant, les niveaux de pertes (en termes de quantité d'azote et de teneur en nitrate de l'eau drainée) en fonction des contextes pédoclimatiques sont encore mal connus.

D'autre part, plusieurs études ont montré des pertes plus importantes lors des premières années suivant l'installation du miscanthus ou des TCR, probablement du fait du développement réduit de ces cultures en première année. Des mesures préventives devront être mises en place pour limiter ces pertes (couverture du sol pendant l'automne précédant l'installation, pas de fertilisation en première année...).

Pour les cultures ligno-cellulosiques annuelles, les pertes dépendront principalement du système de culture dans lequel elles sont insérées (avec en particulier la gestion de l'interculture) et du contexte pédoclimatique.

## III.3-3 Impacts sur la qualité de l'eau via le transfert de molécules phytosanitaires

### • Les facteurs qui influencent le transfert des molécules phytosanitaires vers l'eau

(Rédigé à partir de la synthèse bibliographique issue de Le Manach, 2012).

La contamination de l'eau par les produits phytosanitaires concerne les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour que l'eau soit considérée potable, la concentration de produits phytosanitaires doit être inférieure à 0.1 µg/l par molécule d'après la norme européenne (Czernichowski-Lauriol et Caudron, 1999).

Lors d'un traitement, le produit phytosanitaire est soit perdu par la dérive liée au vent, soit adsorbé par la plante, soit adsorbé par le sol, soit « libre ». Ainsi, les processus qui contrôlent la contamination de l'eau par les pesticides sont (Czernichowski-Lauriol et Caudron, 1999; Amalric *et al.*, 2003, Barriuso *et al.*, 1996) (Cf. figure III-3/1) :

- **la volatilisation** : une partie du produit se retrouve dans l'atmosphère, par la dérive lors de l'application, ou par la volatilisation après application, ou par l'érosion éolienne des particules du sol ayant absorbé le produit. Ces molécules présentes dans l'atmosphère peuvent ensuite retomber au sol par les pluies (Czernichowski-Lauriol et Caudron, 1999).
- **l'adsorption et la désorption sur les composés organiques et minéraux du sol**. L'adsorption dépend des propriétés de la molécule adsorbée ainsi que des constituants minéraux (argiles, oxydes et hydroxydes) et organiques des sols. La réaction inverse est la désorption. L'adsorption n'est souvent que partiellement réversible (Czernichowski-Lauriol et Caudron, 1999; Amalric *et al.*, 2003).
- **l'absorption par les plantes**. Les molécules phytosanitaires peuvent être absorbées par les plantes; une partie ne sera pas métabolisée. A la mort des végétaux, ces molécules sont restituées au milieu et peuvent à nouveau être mobilisées (Gouy, 1993 dans Amalric *et al.*, 2003). Un métabolisme partiel peut intervenir dans la plante engendrant la création de produits moins toxiques.
- **la dégradation éventuelle des produits phytosanitaires**, par trois voies possibles : l'hydrolyse (lorsque les molécules sont adsorbées sur les particules du sol), la photo-décomposition (à la surface du sol), la biodégradation par les micro-organismes (Czernichowski-Lauriol et Caudron, 1999).
- **le transport des molécules par l'eau**. Les molécules phytosanitaires non adsorbées ni par la plante ni par le sol vont se retrouver potentiellement dans l'eau, principal vecteur de la migration des pesticides vers les rivières et les nappes. Le ruissellement contribue principalement à la pollution des eaux de surface tandis que l'infiltration, ou lixiviation, contribue surtout à celle des eaux profondes (Czernichowski-Lauriol et Caudron, 1999).

Ainsi, les mécanismes de dispersion des molécules phytosanitaires dans les milieux sont nombreux. En milieux agricoles, ils dépendent principalement du couvert végétal, des caractéristiques du sol, du fonctionnement hydrologique (et donc des substrats géologiques et des conditions climatiques pendant et après l'application), et de la composition des produits épandus (d'après les Cahiers du CLIP, 2009).

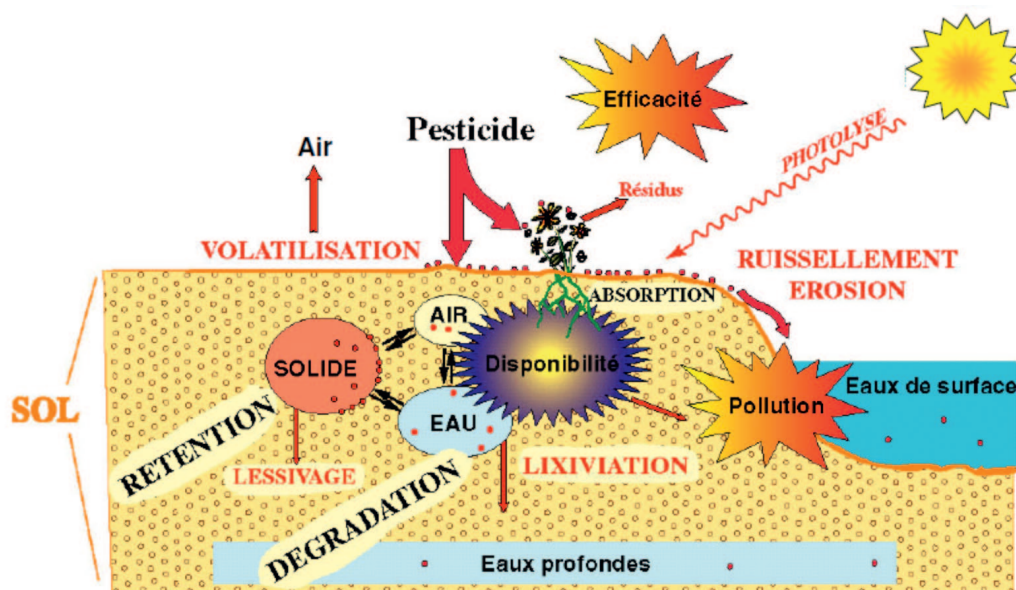


Figure III-3/1 : processus impliqués dans le devenir des pesticides dans les sols, conditionnant leur disponibilité et par conséquent leur efficacité phytosanitaire ou la manifestation de leur caractère polluant (Barriuso *et al.*, 1996).

### • Les transferts des molécules phytosanitaires vers l'eau sous les cultures lignocellulosiques

L'évaluation des risques liés aux pesticides est une étape clé dans la prévention de la contamination de l'environnement. Néanmoins, le transfert de molécules phytosanitaires sous des cultures dédiées à la production de biomasse a été peu étudié. Aucune étude n'est ici référencée.

Les pratiques appliquées à une culture ligno-cellulosique peuvent tout de même permettre de quantifier la pression phytosanitaire, à l'aide d'indicateurs de risque.

### • La comparaison des cultures lignocellulosiques étudiées dans LIGNOGUIDE

La comparaison de la pression des pratiques phytosanitaires appliquées sur les cultures lignocellulosiques repose sur deux indicateurs : l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT, indicateur du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt) et le Potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur (indicateur issu du DAE-G développé par Agro-Transfert Ressources et Territoires). Les itinéraires techniques « types » définis dans le projet LIGNOGUIDE (Cf. annexe 2) sont évalués.

*L'IFT est un indicateur technique reflétant la pression des pratiques agricoles (pression des traitements phytosanitaires). Il prend en compte la dose de produit phytosanitaire apportée et la dose homologuée sur la culture. La méthode de calcul est disponible sur le site du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2012).*

#### › L'Indice de Fréquence de Traitement

La pression phytosanitaire est variable selon les cultures et dépend de l'itinéraire technique. L'itinéraire des cultures lignocellulosiques annuelles comporte un désherbage, ainsi qu'un fongicide pour le triticale dans le pédoclimat du nord de la France. Les IFT obtenus, compris entre 0 et 2, s'avèrent faibles en comparaison des IFT des cultures alimentaires conventionnelles (par exemple : IFT de 4.5 pour du blé tendre en Picardie, IFT de 3.9 pour du colza dans la Plaine de Lyon).

Les faibles valeurs d'IFT observées pour les cultures lignocellulosiques pérennes s'expliquent par un faible nombre d'apports de produits phytosanitaires (Cf. figure III-3/2). Pour le miscanthus ou le switchgrass par exemple, aucun traitement fongicide ou insecticide ne semble nécessaire à ce jour. Les désherbages ne sont généralement pratiqués qu'en première voire en deuxième année, pour assurer la bonne implantation de la culture. Ils peuvent être envisagés en dernière année pour la destruction de la culture et la remise en état de la parcelle, même si des techniques de destruction mécaniques sembleraient efficaces. Aucun traitement phytosanitaire n'est a priori nécessaire entre ces deux termes. La figure III-3/3 met en avant l'absence de pression phytosanitaire les années de culture.

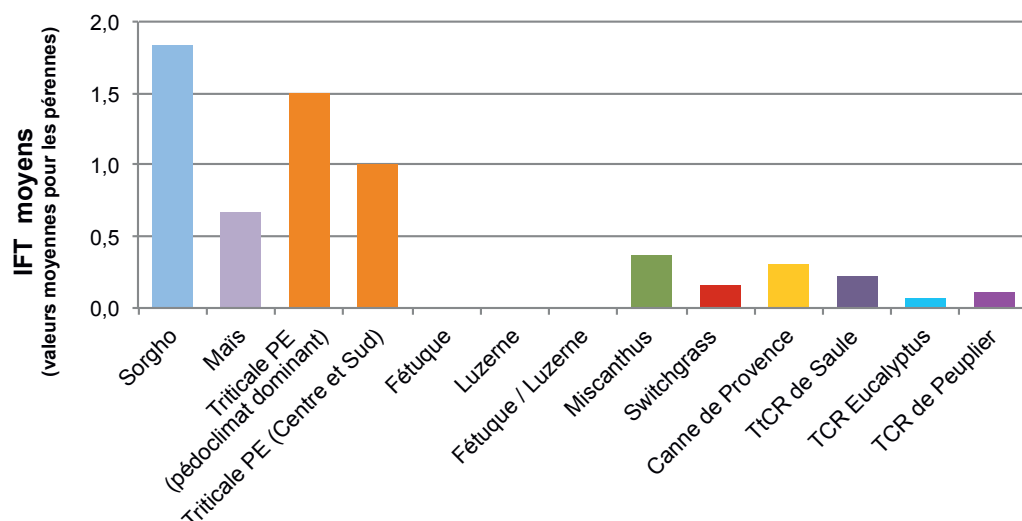


Figure III-3/2 : comparaison des IFT moyens des cultures ligno-cellulosiques, tous produits phytosanitaires confondus.

Pour les cultures pérennes, la valeur présentée est une moyenne sur 15 années (cas du miscanthus, switchgrass et canne de Provence), 20 années (cas des TtCR de saules), ou 22 années (cas des TCR de peupliers et eucalyptus).

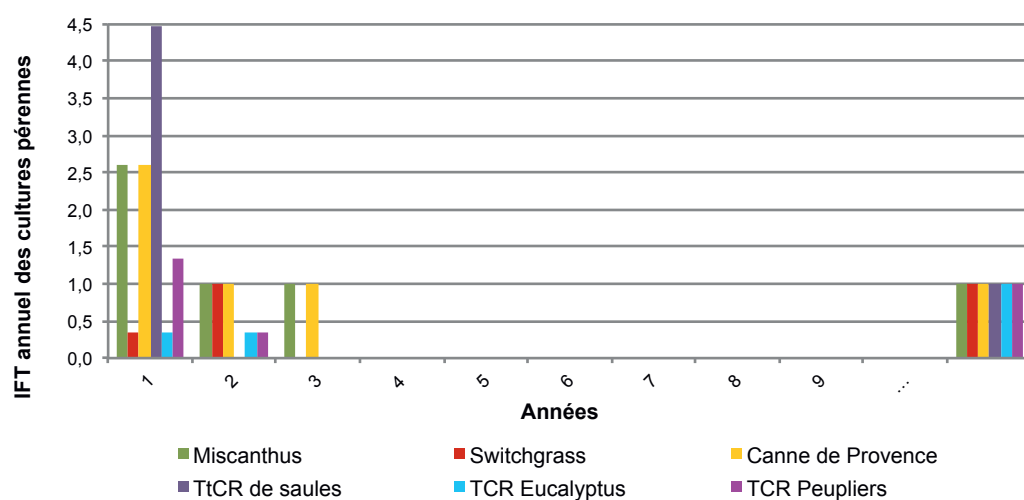


Figure III-3/3 : comparaison des IFT annuels des cultures lignocellulosiques pérennes, tous produits phytosanitaires confondus, de leur implantation à leur destruction (en année 15 pour le miscanthus, switchgrass et canne de Provence, année 20 pour les TtCR de saules, en année 22 pour les TCR de peupliers et eucalyptus).

#### › Le Potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur

Cet indicateur rend compte de la pression potentielle exercée sur les eaux souterraines par les produits phytosanitaires, liée à la mobilité du produit appliqué et à la couverture du sol lors de son application (Cf. figures III-3/4 et III-3/5). Il est complémentaire de l'IFT. Par exemple, les produits phytosanitaires appliqués sur le sorgho impliquent un IFT relativement faible (1.5) mais un potentiel de transfert fort, en raison de l'application sur un sol peu couvert (couverture du sol < 30 %)

*Le Potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur prend en compte le produit phytosanitaire appliqué (concentration et potentiel de mobilité - GUS de la matière active, dose appliquée) et la couverture du sol lors de l'apport. Cet indicateur est issu de l'outil de Diagnostic Agri-Environnemental Géographique (DAEG) développé par Agro-Transfert Ressources et Territoires et les Chambres d'agriculture de Picardie (Debomy, sur [www.agro-transfert-rt.org](http://www.agro-transfert-rt.org) et Agro-Transfert Ressources et Territoires, 2011).*

d'une matière active relativement mobile (application de Isard comportant du Dimethenamid-p, une molécule très mobile avec un GUS de 2.078).

Comme pour l'IFT, cet indicateur met en avant la faible pression phytosanitaire sur les cultures pérennes en année de production.

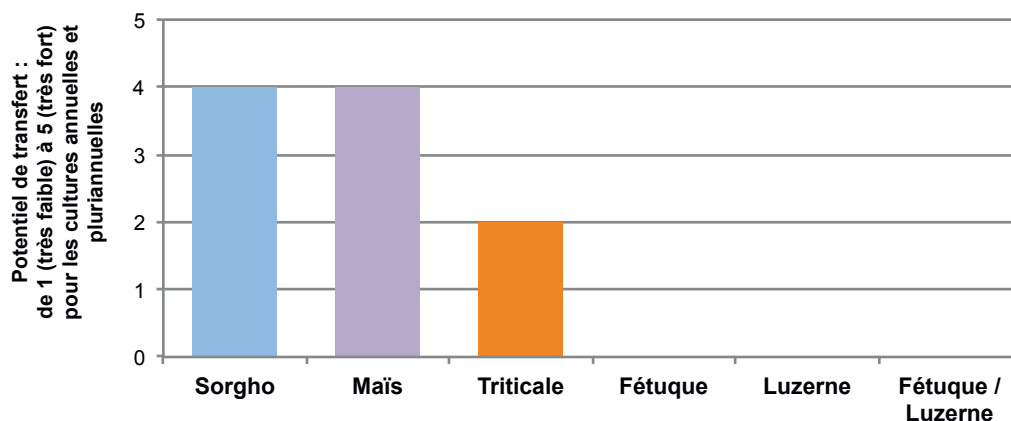


Figure III-3/4 : comparaison des potentiels de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur, pour les cultures annuelles et pluriannuelles (indépendant de l'effet du sol).

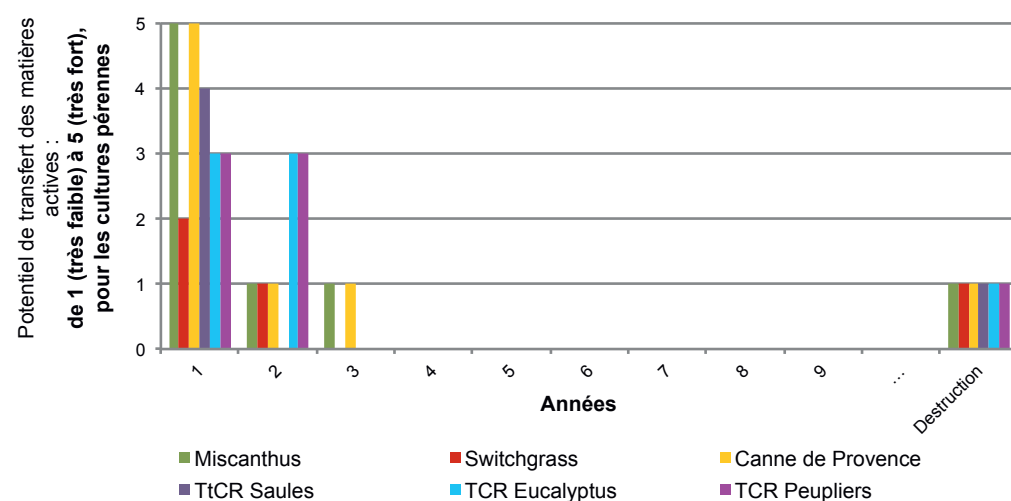


Figure III-3/5 : comparaison des potentiels de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur, pour les cultures pérennes (indépendant de l'effet du sol).

## • Conclusion

Les itinéraires techniques des cultures lignocellulosiques comportent peu d'intrants phytosanitaires et impliquent une pression sur la ressource en eau relativement faible. L'IFT et le potentiel de transfert des matières actives vers les eaux de profondeur mettent en avant une pression particulièrement faible pour les cultures pérennes, après la phase d'implantation.

Néanmoins, le risque de pollution des eaux de profondeur par les molécules phytosanitaires n'est pas directement lié à la pression des pratiques. La sensibilité du milieu doit être prise en compte.



Les facteurs à l'origine d'une forte sensibilité du milieu sont par exemple la présence d'un aquifère à faible profondeur, des précipitations hivernales excédentaires (P-ETP élevé), un sol filtrant et/ou peu profond et/ou avec peu de matière organique... (Agro-Transfert Ressources et Territoires, 2011). Ce risque peut être atténué en adaptant les pratiques de protection phytosanitaire des cultures : diminution des quantités de matières actives appliquées, choix de matières actives avec une mobilité réduite ou applicables sur des cultures plus développées et couvrant mieux le sol.

Le risque de pollution des eaux de surface par les molécules phytosanitaires peut quant à lui être limité en adaptant les pratiques de protection phytosanitaires des cultures (en particulier en favorisant les molécules avec un temps de demi-vie court) mais aussi en mettant en place des aménagements limitant le ruissellement dans les parcelles en pente (bandes enherbées, haies, talus...) (Agro-Transfert Ressources et Territoires, 2011).

### III.3-4 Impacts sur les émissions de gaz à effet de serre (GES)

#### • Les facteurs qui influencent les émissions de GES

Nous nous intéresserons ici uniquement aux émissions de GES qui ont lieu au cours de l'étape de production de la biomasse, c'est-à-dire depuis la fabrication des intrants agricoles jusqu'à la récolte. Ces émissions de GES sont liées d'une part à la consommation de ressources d'origine fossile (carburants...), et d'autre part à des processus biologiques. Il faut également prendre en compte l'évolution des stocks de carbone du sol qui peut constituer un puits ou une source de CO<sub>2</sub>.

##### 1) Emissions liées aux consommations de ressources fossiles :

L'utilisation d'engrais (en particulier les engrais azotés dont la fabrication est très émettrice de GES car consommatrice d'énergie fossile) et la consommation de carburants au cours des opérations culturales (semis, travail du sol, passages de traitements phytosanitaires, opérations de récolte) sont les principales sources d'émissions de GES dans cette catégorie (Gac *et al.*, 2010). Ces émissions vont donc varier en fonction de l'itinéraire technique. Les émissions de GES indirectes liées à la fabrication des matériels et des infrastructures (bâtiments, machines agricoles etc.) sont très inférieures (de l'ordre de quelques pourcents au plus par rapport aux consommations d'intrants ou de carburants).

##### 2) Emissions d'origine biologique :

Ces émissions sont liées à l'activité de certains microorganismes du sol qui produisent du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) lors des processus de nitrification (oxydation de l'ammonium en nitrate) et de dénitrification (réduction du nitrate en azote gazeux). Elles peuvent être directes (produites par le sol de la parcelle cultivée) et indirectes (produites par d'autres sols suite à des transferts d'azote par lixiviation ou volatilisation). Ces émissions ont une part non négligeable dans le bilan global de GES en raison du fort pouvoir de réchauffement du N<sub>2</sub>O (298 fois celui du CO<sub>2</sub> à 100 ans). Les mesures réalisées sur le terrain ont montré une forte variabilité temporelle et spatiale de ces émissions (Germon *et al.*, 2003). Pour évaluer les émissions liées à l'agriculture, la méthode la plus utilisée est celle proposée par l'IPCC (2006) dans le cadre des inventaires nationaux. Cette méthode repose sur des facteurs d'émission applicables aux quantités d'azote apportées au sol par les activités agricoles. Elle s'appuie sur l'observation de relations de proportionnalité entre ces quantités d'azote apportées et les émissions de N<sub>2</sub>O (Germon *et al.*, 2003). De nombreux travaux de recherche sont en cours pour préciser ces estimations, en faisant appel à des réseaux de mesure et/ou à des outils de simulations.

##### 3) Stockage/déstockage du carbone du sol :

La matière organique du sol est constituée en moyenne de 58% de carbone. Le sol représente donc un réservoir de carbone important, capable de stocker ou d'émettre du CO<sub>2</sub>. En France, les sols cultivés contiennent en moyenne 40 t C ha<sup>-1</sup> sur 30 cm de profondeur, contre 65 t C ha<sup>-1</sup> en prairie et 70 t C ha<sup>-1</sup> en forêt (IFEN, 2007). L'évolution du stock de carbone du sol résulte de l'équilibre entre les quantités d'apports organiques au sol (résidus végétaux et apports

organiques exogènes) et la vitesse de minéralisation des matières organiques du sol par les microorganismes. Le changement d'usage des sols (entre cultures, prairie et forêt), en modifiant cet équilibre, impacte de manière importante les stocks de carbone, même si cette évolution se fait sur un temps long (supérieur à 50 ans). Pour les sols cultivés, les systèmes de culture pratiqués influencent également les stocks de carbone, en particulier au travers des quantités de matières organiques restituées au sol (racines, pailles, cultures intermédiaires...).

### • Les émissions de GES dans le cas des cultures lignocellulosiques

Bien qu'il y ait eu de nombreux travaux de recherche pour quantifier les émissions de GES des cultures conventionnelles, il y a à l'heure actuelle peu de données disponibles sur les émissions liées aux cultures lignocellulosiques.

Concernant les émissions liées aux consommations de ressources fossiles, les méthodes d'évaluation sont identiques quelles que soient les cultures (voir par exemple Gac *et al.*, 2010). Elles nécessitent par contre de définir avec précision l'itinéraire technique. Pour les cultures lignocellulosiques, un avantage des cultures pérennes est qu'elles nécessitent moins d'interventions culturales que les cultures annuelles, ce qui peut permettre une réduction de la consommation de carburant et des émissions associées. Cette réduction peut être relativement importante, par exemple d'un facteur 3 à 5 dans le cas du switchgrass en comparaison avec une rotation de cultures annuelles (Adler *et al.*, 2007). D'autre part, les émissions liées à la fabrication des engrais sont également plus faibles pour les cultures pérennes et la luzerne du fait que la fertilisation azotée de ces cultures est inférieure à celle des autres cultures.

Les processus à l'origine des émissions de  $N_2O$  sont les mêmes pour les cultures lignocellulosiques que pour les cultures classiques. Cependant, l'espèce cultivée peut avoir un impact sur les émissions de  $N_2O$ , en modifiant les conditions du milieu (humidité...) et la disponibilité de l'azote minéral dans le sol. Quelques expérimentations ont été menées pour comparer les émissions de  $N_2O$  pour des cultures lignocellulosiques pérennes (miscanthus, switchgrass, TCR) et pour des cultures annuelles. En général, les cultures pérennes ont des émissions de  $N_2O$  significativement inférieures aux cultures annuelles (Don *et al.*, 2011). Ceci est dû en partie au fait que la fertilisation azotée des cultures pérennes est généralement inférieure à celle des cultures annuelles. Les facteurs d'émission mesurés dans ces expérimentations (rapports entre les quantités de  $N_2O$  émises et les quantités d'azote apportées par la fertilisation) sont aussi souvent plus faibles pour les cultures pérennes, même si des cas inverses ont pu être observés (Don *et al.*, 2011). Dans tous les cas, les émissions augmentent fortement entre les situations sans fertilisation azotée et les situations fertilisées (Behnke *et al.*, 2012; Don *et al.*, 2011; Schmer *et al.*, 2012).

L'impact des cultures lignocellulosiques sur les stocks de carbone du sol ne peut être évalué qu'en comparaison à une situation de référence (par exemple système de grandes cultures alimentaires avec pailles restituées).

Dans cette situation, l'insertion dans les rotations de cultures lignocellulosiques annuelles récoltées en « plante entière » pourrait conduire à une réduction des apports de carbone organique au sol et donc des stocks de carbone du sol. Pour maintenir une teneur en matière organique suffisante dans le sol, il sera nécessaire d'évaluer l'impact de cette baisse des restitutions en fonction de la rotation et du type de sol (Mary *et al.*, 2009). Des mesures compensatoires, comme par exemple l'introduction de cultures intermédiaires restituées au sol, pourraient être envisagées.

Au contraire, l'implantation de cultures lignocellulosiques pérennes sur des parcelles initialement en cultures annuelles pourrait permettre d'augmenter les stocks de carbone (Anderson-Teixeira *et al.*, 2009). En effet, ces cultures s'accompagnent de restitutions de carbone via le retour des feuilles au sol en hiver (cas du miscanthus et des TCR) et via le renouvellement du système racinaire. Ces restitutions de carbone, accompagnées d'une absence de travail du sol, pourraient favoriser le

stockage de carbone dans les sols sous ces cultures. Les taux de séquestration de carbone mesurés sont cependant très variables en fonction des expérimentations. A partir d'une quinzaine de publications scientifiques, Don *et al.* (2011) ont ainsi calculé un taux de séquestration annuel de  $0.44 \pm 0.43 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (moyenne  $\pm$  écart type) pour les TCR et de  $0.66 \pm 0.93 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  pour le miscanthus, dans les cas où ces cultures sont implantées sur des parcelles initialement en cultures annuelles. Cette forte variabilité s'explique probablement en partie par des différences entre expérimentations sur les conditions pédoclimatiques et sur la conduite des cultures (fertilisation, date de récolte...).

### • La comparaison des cultures lignocellulosiques étudiées dans LIGNOGUIDE

Les émissions de GES ont été évaluées pour les cultures lignocellulosiques étudiées dans LIGNOGUIDE avec l'outil Systerre®. Cet outil prend en compte : i) les émissions liées aux consommations de ressources fossiles, ii) les émissions directes de  $\text{N}_2\text{O}$  en lien avec la fertilisation azotée. Il n'intègre donc pas le stockage/déstockage de carbone dans les sols (lié par exemple au changement d'affectation des sols). Les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  sont calculées à partir d'un facteur d'émission identique quelle que soit la culture considérée. Les itinéraires techniques utilisés pour les calculs sont des itinéraires techniques types, identiques à ceux utilisés pour l'analyse économique (Cf. annexe 2). Les émissions sont données en équivalent  $\text{CO}_2$  par hectare (Cf. figure III-3/6).

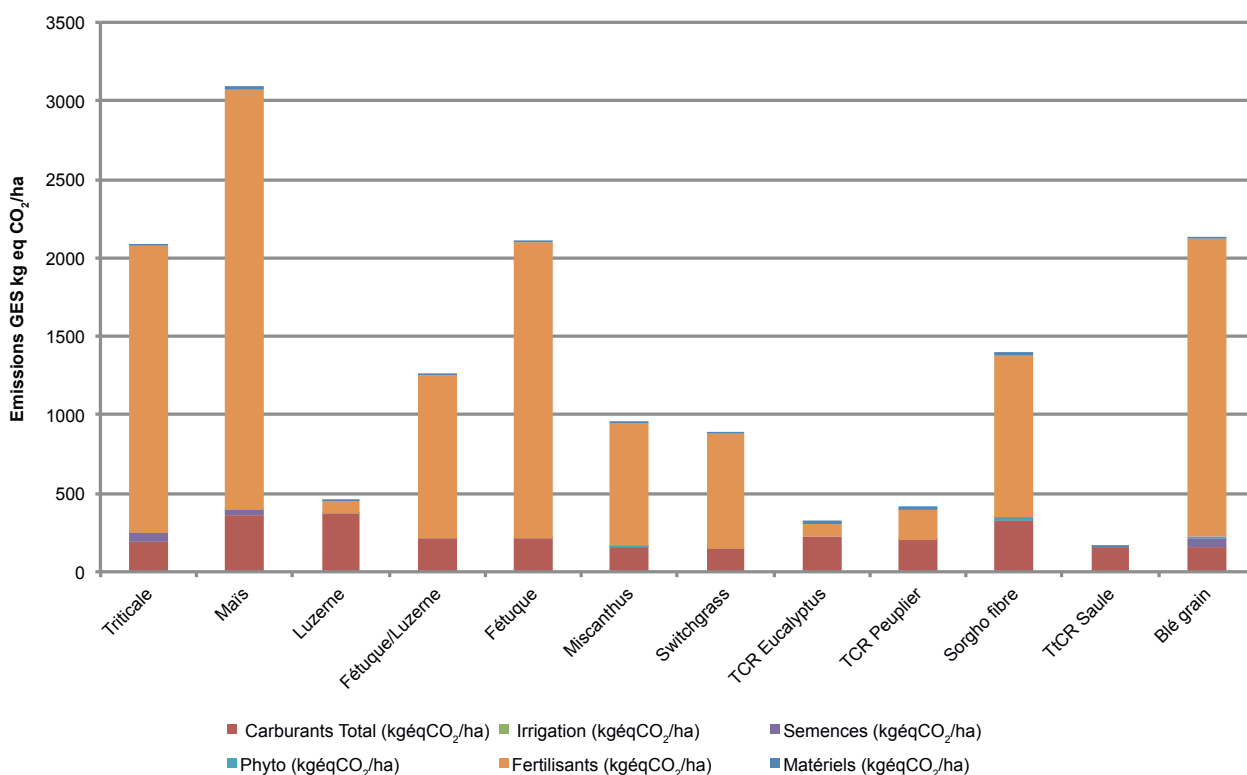


Figure III-3/6 : répartition des émissions de gaz à effet de serre (GES) par poste de charge pour différentes cultures ligno-cellulosiques et pour la culture de référence (blé) en région Nord.

Les fertilisants notamment azotés sont le principal poste émetteur de GES, en raison d'une part des émissions liées à la production des engrais et d'autre part des émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  associées à la fertilisation azotée. Les cultures ayant de faibles besoins en intrants azotés ont donc les émissions de GES les plus faibles (luzerne, TCR). Les résultats présentés ici sont très dépendants des hypothèses retenues pour la définition des niveaux de fertilisation.

Le deuxième poste le plus émetteur est celui des carburants, même s'il ne représente qu'une faible part des émissions totales pour les cultures recevant de l'engrais azoté.

La grande majorité de ces cultures dédiées à la production de biomasse a des niveaux d'émission par hectare inférieurs aux cultures de référence (blé dans cet exemple en région Nord). Seule la production de maïs biomasse a un niveau d'émission légèrement supérieur.

### • Conclusion

Les émissions de GES au cours de l'étape de production de biomasse sont fortement liées aux intrants fossiles utilisés et en particulier à la fertilisation azotée. Grâce à leurs besoins réduits en intrants azotés, les cultures pérennes et la luzerne ont ainsi les niveaux d'émission de GES par hectare les plus faibles. La prise en compte des émissions liées à l'évolution du stock de carbone du sol devrait également avantager les cultures pérennes.

## III.4 - Dimension économique des cultures lignocellulosiques

### III.4-1 Postes de charges – Mode de calcul

Les cultures lignocellulosiques génèrent des charges opérationnelles, des charges de mécanisation voire d'autres charges selon leur positionnement dans le système d'exploitation. Ces cultures peuvent être comparées entre elles à travers différents indicateurs.

Le coût de production est un de ces indicateurs, résultat du rapport entre la somme des charges mobilisées (€/ha) et le rendement de la culture (t ms/ha). Il permet de connaître la valeur d'une tonne de biomasse (€/t ms). Le niveau de charges comptabilisées est différent selon des approches comptables à court terme ou de viabilité à moyen terme.

Le coût de production complet rémunère la totalité des charges. Il permet d'avoir une vision à moyen terme en comparant les prix de vente des biomasses à ce coût complet. Toutes les charges suivantes sont rémunérées :

- intrants (semences, engrais, phytosanitaires et autres dont assurances),
- mécanisation (amortissement technique basé sur une utilisation annuelle réelle, charges financières, entretien, réparation, assurances, fuel),
- rémunération de la main d'œuvre et charges MSA (salariée et familiale),
- autres charges fixes (impôts, taxes, assurances, électricité, gestion...),
- foncier (à hauteur d'une valeur technique (fermage) et non patrimoniale).

Le coût de production cash ou de trésorerie traduit la vision comptable annuelle. Il intègre seulement les charges générant un décaissement de trésorerie : inputs (intrants et fuel), charges financières, entretien et réparations du matériel, main d'œuvre salariée et charges MSA de l'exploitant, autres charges et fermage réellement décaissé.

### III.4-2 Comparaison du coût complet et du coût cash - Exemple

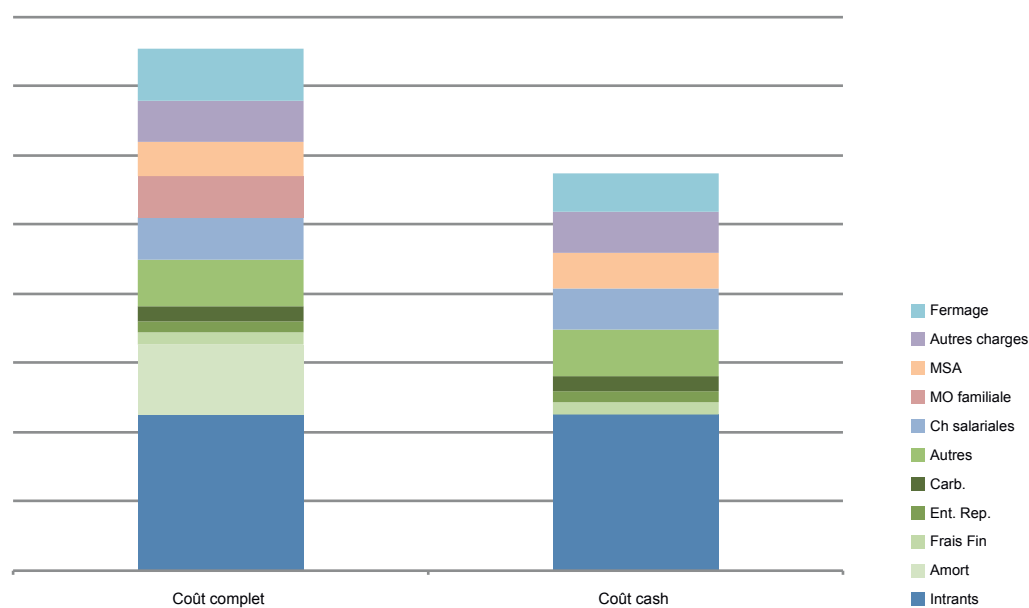


Figure III-4/1 : exemple de répartition des postes de charge intégrés dans le calcul du coût de production complet et coût de production cash (€/t ms).

Ces deux éléments de coût sont essentiels à la négociation du prix d'achat de la biomasse.

Dans les calculs de coûts présentés ci-après, les spécificités des cultures dédiées à la production de biomasse ont été intégrées.

Les charges d'implantation des cultures annuelles sont connues, elles intègrent des coûts de semences et d'opérations culturales annuelles. Pour les cultures pluriannuelles et pérennes ces charges sont réparties et donc amorties sur la durée de la culture : matériel végétal (boutures, rhizomes, semences), préparation de sol et opérations culturales spécifiques (plantation, destruction des pérennes...). Les charges d'entretien de la ou des premières années doivent également être réparties. Pour des espèces telles que le miscanthus, le switchgrass ou la canne de Provence, des premières années sans production doivent aussi être prises en compte. Elles génèrent un manque à gagner qu'il est important d'intégrer à ces coûts d'implantation (équivalent à une perte de marge brute d'une culture de référence de la région).

Les autres charges telles que les récoltes et fertilisations annuelles sont comptabilisées pour chaque année de production.

Seules les opérations de récolte et de transport en bord de parcelle ont été intégrées dans les chiffres présentés. Le stockage et le transport sur site de valorisation ne sont pas intégrés. Ces récoltes sont réalisées sous forme d'ensilage (sorgho, maïs) ou de balles haute-densité (miscanthus, switchgrass, triticale, fourragères) avec des matériels de chantier de type industriel afin de maximiser les débits de chantier et se positionner dans une hypothèse d'approvisionnement de plusieurs milliers de tonnes par an. Il va de soi que les inputs (intrants et carburants) sont soumis aux fluctuations de marchés et peuvent donc modifier ces coûts au sein même d'une campagne de production ou entre campagnes.

### III.4-3 Comparaison des coûts complets entre espèces

Ces coûts de production complets varient de 80 à 150 €/t ms selon les espèces en région Sud pour une moyenne de 70 à 150 €/t ms pour différentes espèces. Switchgrass et sorgho fibre ont les coûts les plus faibles. Le rendement est le facteur d'explication majeur de l'ensemble des résultats dans toutes les régions. Les coûts cash sont inférieurs de 10 à 15 €/t ms : 50 à 120 €/t ms pour la moyenne France de différentes espèces. Les autres cultures annuelles et la luzerne ont des coûts légèrement supérieurs en raison de la fréquence de récolte. Les cultures pluriannuelles et pérennes sont plus élevées, comme les ligneuses. Les très faibles rendements des TtCR de saule expliquent ces coûts les plus élevés. La maîtrise des charges de mécanisation et de main d'œuvre reste la principale voie d'optimisation de ces coûts à l'échelle de l'exploitation. La récolte d'un produit densifié permettrait également de réduire ces coûts de mobilisation en bord de parcelle et encore plus pour la suite de la chaîne logistique.

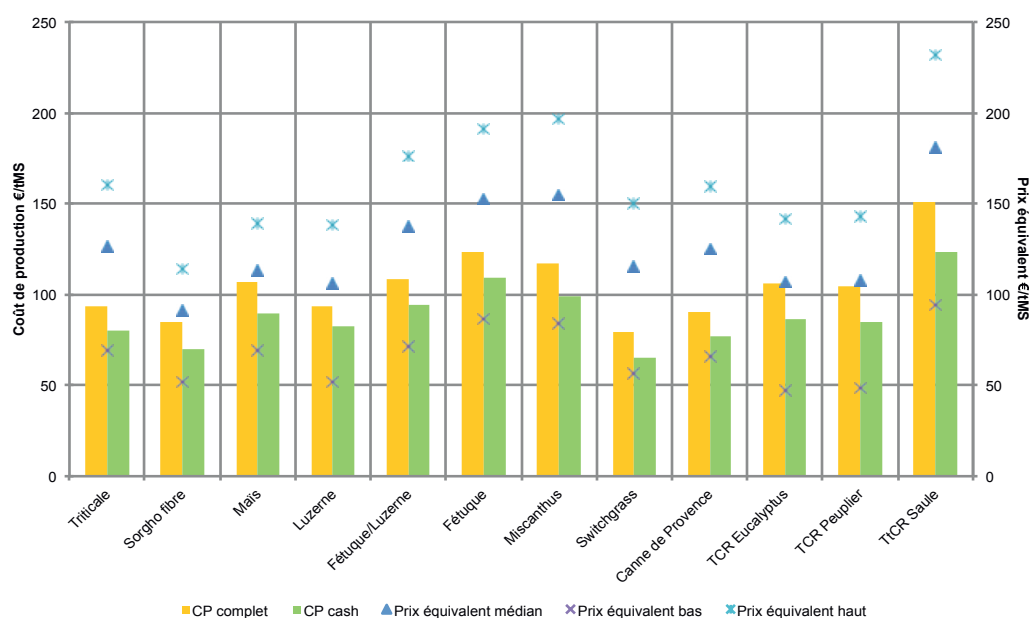


Figure III-4/2 : coût de production complet, coût de production cash et prix équivalent de différentes cultures ligno-cellulosiques dans le Sud-Ouest (€/t ms).

Ces coûts de production sont des indicateurs de compétitivité. Ils permettent de comparer différentes cultures entre elles. Mais il est nécessaire de connaître les prix de vente de ces biomasses pour en évaluer leur rentabilité. Les marges peuvent être un de ces indicateurs de rentabilité, et le développement de ces cultures ne pourra se faire qu'en garantissant un niveau de rentabilité au moins équivalent aux autres cultures en place. Les prix de marchés de ces biomasses sont encore peu répandus, voire confidentiels et intimement liés à un contexte de valorisation particulier, souvent soutenu par des aides.

Des prix de marché doivent alors être calculés pour évaluer ces seuils de rentabilité. Il s'agit de prix dits « équivalents ». Ces prix de biomasse permettent d'atteindre un niveau de marge brute égal à celui de la culture de référence sur la région, le maïs en l'occurrence dans notre exemple. Ces prix équivalents ont été calculés et sont présentés pour différents niveaux de prix des cultures de référence (blé ou maïs) :

- scénario intermédiaire (170 €/t net de séchage) ;
- scénario bas (110 €/t net de séchage) ;
- scénario haut (205 €/t net de séchage).

Ces prix équivalent de 90 à 180 €/t ms sont les plus faibles pour le sorgho fibre et la luzerne dans notre exemple en région Sud avec une moyenne de 100 €/t ms pour les cultures annuelles, 145 €/t ms pour les pluriannuelles et pérennes et 105 €/t ms environ pour les TCR de peuplier et d'eucalyptus.

En scénario de prix bas, nos prix équivalents de biomasse de 50 à 100 €/t ms sont moins variables. Les scénarios de prix hauts inversent la tendance avec une forte variabilité : de 105 €/t ms à 230 €/t ms environ.



## III.5 - Autres indicateurs techniques

Le choix des cultures lignocellulosiques se réalise avant tout par l'adaptation au contexte pédo-climatique. Toutefois dans certains cas, plusieurs espèces peuvent être adaptées. Les critères économiques et environnementaux sont alors les clés de décision comme d'autres indicateurs techniques présentés ci-dessous. En effet, l'insertion dans les systèmes de production, voire dans les systèmes de culture, repose sur l'organisation du travail et les impacts agronomiques (les bilans minéraux...).

Trois indicateurs calculés avec l'outil Systerre® sont présentés ici sur la base des itinéraires techniques type (Cf. annexe 2) :

- la balance globale azotée, qui traduit le solde entre les apports et les exportations d'azote ; ce solde doit être proche de 0 à légèrement positif (30 kg/ha) afin de limiter les risques de pertes vers l'eau ou l'atmosphère tout en maintenant le stock d'azote organique du sol ;
- la consommation de carburant ;
- le temps de traction par hectare qui reflète les temps nécessaires aux interventions culturales.

### III.5-1 Balance Globale Azotée

La balance globale azotée est un indicateur calculé par la différence entre les entrées et les sorties d'azote au niveau de la parcelle cultivée. Les entrées correspondent aux apports d'azote effectués sous forme de fertilisant minéral ou organique. Les sorties correspondent aux exportations d'azote par la biomasse, qui sont calculées avec les teneurs en azote de la biomasse récoltée et le rendement attendu. Dans le cas des légumineuses (luzerne), les entrées d'azote par la fixation symbiotique étant difficilement quantifiables, on suppose que la balance globale azotée est nulle. Dans le cas des cultures pérennes, la balance présentée est une moyenne annuelle calculée sur l'ensemble du cycle de production.



Figure III-5/1 : balance globale azotée de cultures lignocellulosiques et de référence en région Centre (kg N/ha).

Les balances azotées recherchées doivent être légèrement positives (< 30 kg/ha) à nulles afin de limiter les risques de pertes vers l'eau ou l'atmosphère tout en maintenant le stock d'azote organique du sol et donc la fertilité du sol à long terme. Ces balances sont équilibrées (c'est-à-dire proche de 0 kg/ha) pour toutes les espèces dédiées à la production de biomasse à l'exception du sorgho. En effet, des apports d'azote relativement faibles (60 à 100 kg/ha) sont envisagés pour cette culture, du fait de sa bonne capacité à valoriser l'azote du sol. Avec 70 kg/ha, la balance globale azotée de la référence blé tendre est légèrement élevée.

Ces chiffres sont toutefois à relier aux hypothèses d'itinéraires techniques. Des conditions locales particulières avec des niveaux de rendement supérieurs ou inférieurs peuvent modifier ces balances azotées voire d'autres bilans minéraux équilibrés avec les hypothèses prises en compte ici.

### III.5-2 Consommation de carburant

Les consommations de carburant et temps de travaux sont également réparties et moyennées sur la durée de vie de chacune des cultures. Les résultats reprennent les observations sur la consommation d'énergie et les émissions de GES. Les cultures annuelles totalisent les consommations de carburant les plus élevées en raison de la fréquence annuelle des opérations culturales. C'est également le cas pour la luzerne avec une fréquence élevée de coupes. Cette fréquence est moindre pour la fétuque seule ou associée. Ces opérations culturales sont traduites par les temps de travaux également plus élevés pour les cultures annuelles et pluriannuelles.

Ces consommations de carburants peuvent être étudiées en parallèle des temps de travaux.

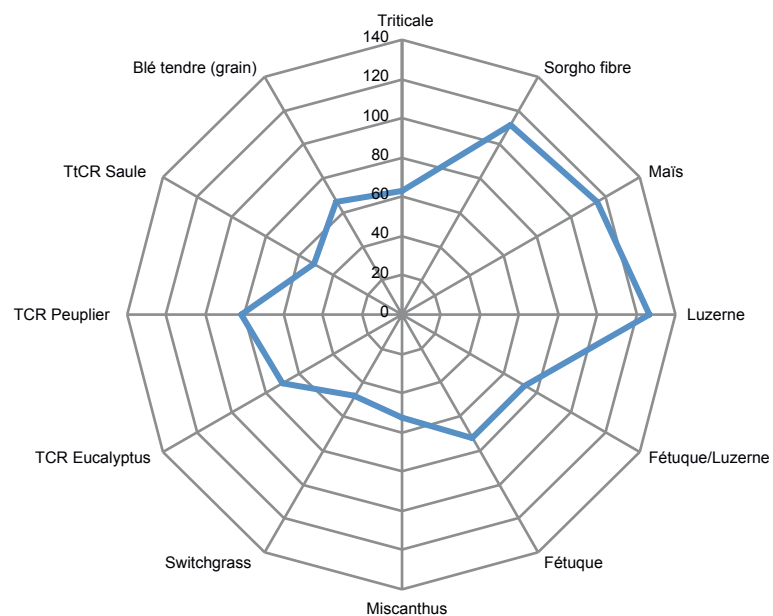


Figure III-5/2 : consommation de carburant (l/ha) pour la production et la mobilisation de cultures lignocellulosiques et de référence en sortie de parcelle de la zone géographique Centre.

### III.5-3 Temps de travail

Les lourdes opérations d'abattage, débardage et broyage de TCR se font sentir sur les temps de travaux comme la luzerne ou espèces lignocellulosiques annuelles estivales. Dans ces cas, les fréquences de coupe ou la présence d'irrigation expliquent ces résultats. Pour les autres espèces lignocellulosiques annuelles ou pérennes, les temps sont équivalents et proches de la référence alimentaire.

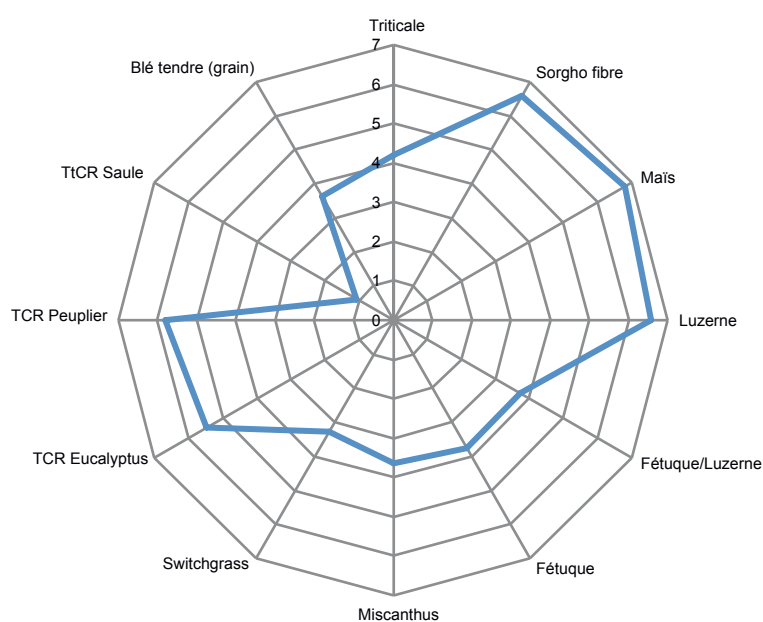


Figure III-5/3 : temps de travail (h/ha) pour la mise en place et la mobilisation en bord de parcelle de cultures ligno-cellulosiques et de référence en zone géographique Centre.

## III.6 - Présentation des indicateurs par zone géographique

Nous avons vu précédemment chacun de ces indicateurs détaillés sur un exemple régional avec les principaux facteurs explicatifs. L'ensemble des indicateurs techniques, économiques et environnementaux est détaillé ici pour chaque zone pédoclimatique. Ces indicateurs sont issus de la même méthode de calcul basée sur les itinéraires techniques type (Cf. annexe 2) et l'outil Systerre®.

### Zone géographique « Nord-Est »

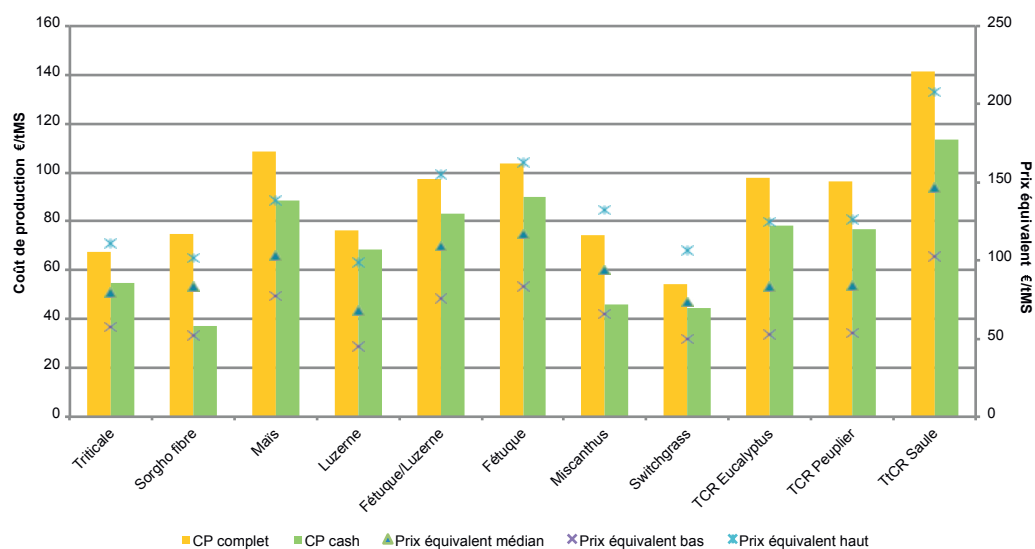


Figure III-6/1 : coûts de production et prix équivalents (€/t ms) en zone géographique Nord-Est.

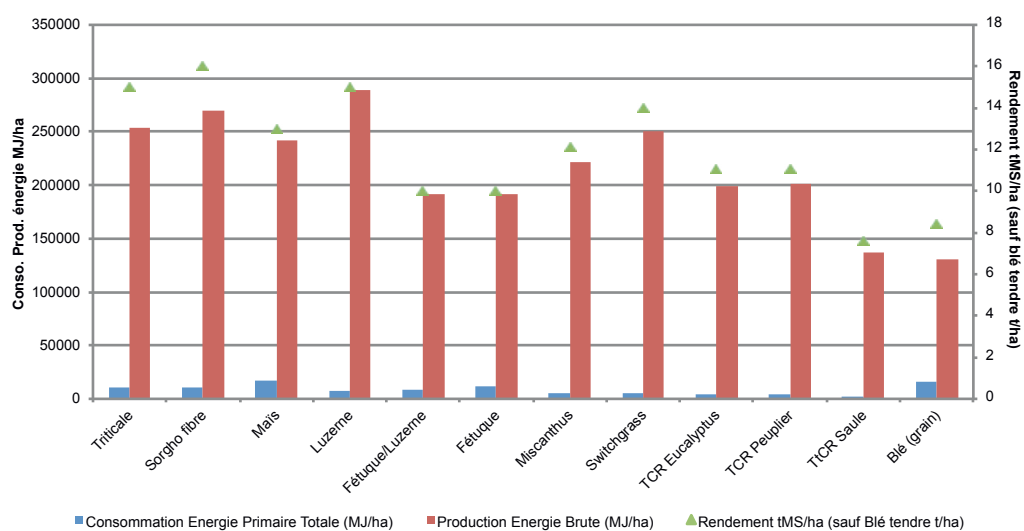


Figure III-6/2 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Nord-Est (MJ/ha) – Référence alimentaire blé tendre (t/ha).

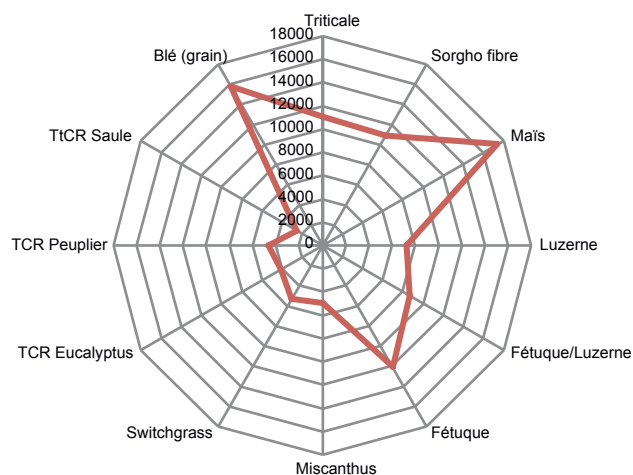
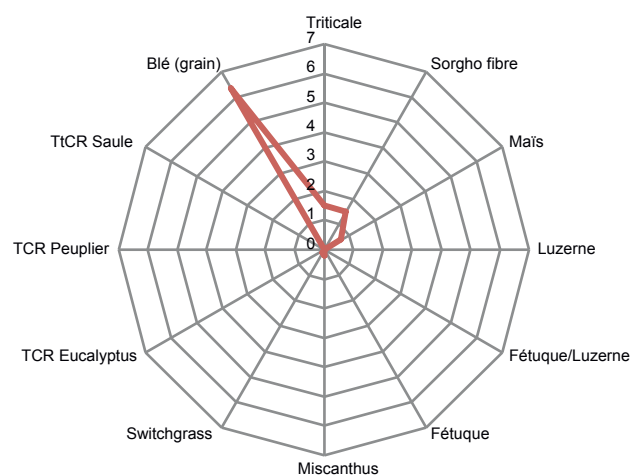
Figure III-6/3 : émissions de GES en zone géographique Nord-Est (kg eq CO<sub>2</sub>/ha).

Figure III-6/4 : IFT en zone géographique Nord-Est.

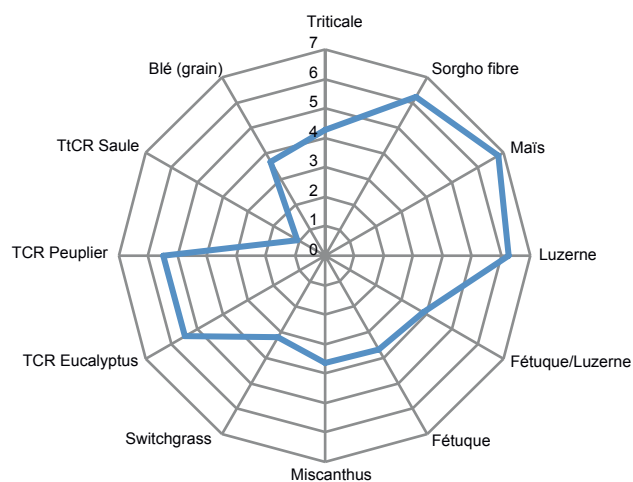


Figure III-6/5 : temps de travail en zone géographique Nord-Est (h/ha).

## Zone géographique « Centre-Nord » – Région Nord Pas de Calais

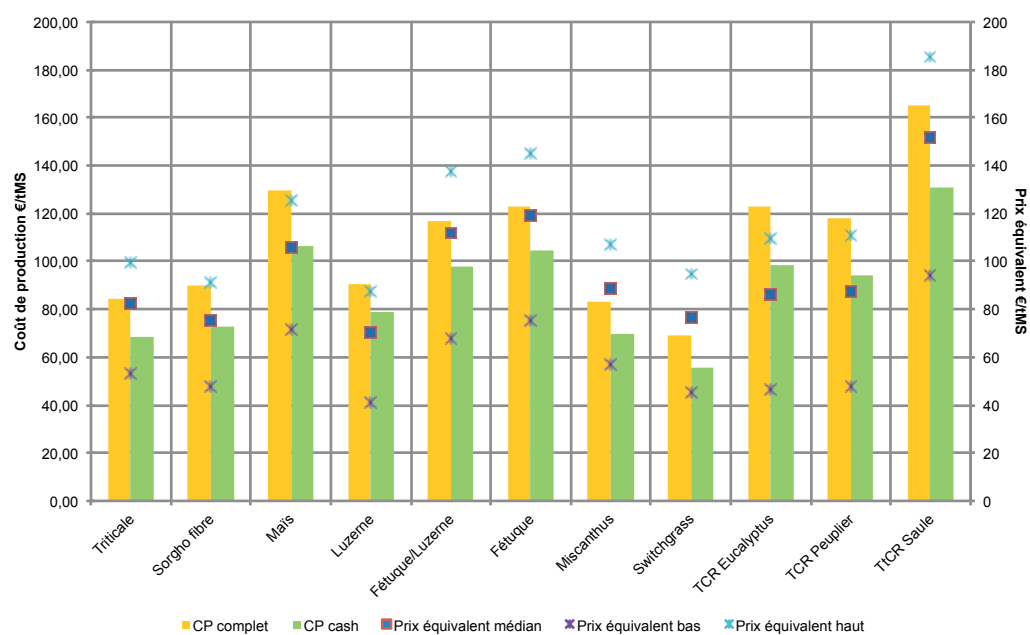


Figure III-6/6 : coûts de production et prix équivalents (€/t ms) en zone géographique Centre-Nord – Région Nord Pas de Calais.

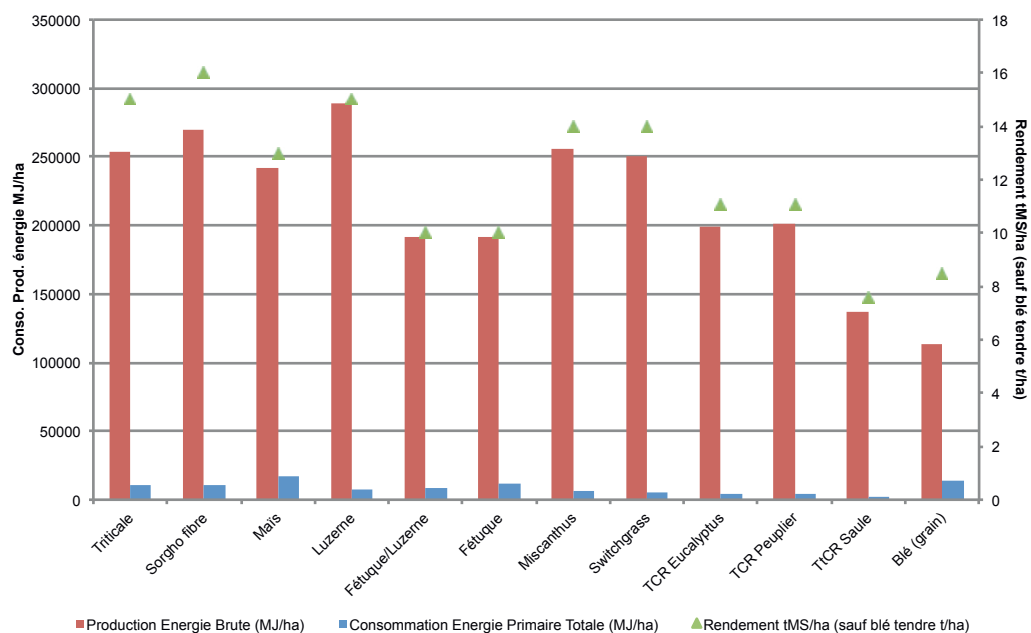


Figure III-6/7 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Centre-Nord (MJ/ha) – Région Nord Pas de Calais - Référence alimentaire blé tendre.

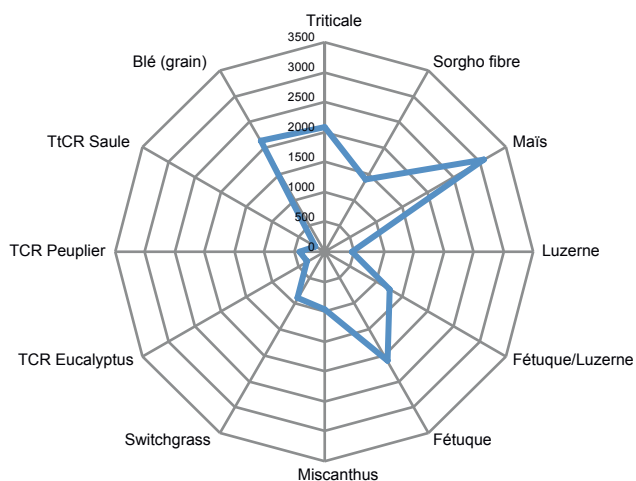


Figure III-6/8 : émissions de GES en zone géographique Centre-Nord – Région Nord Pas de Calais (kg eq CO<sub>2</sub>/ha).

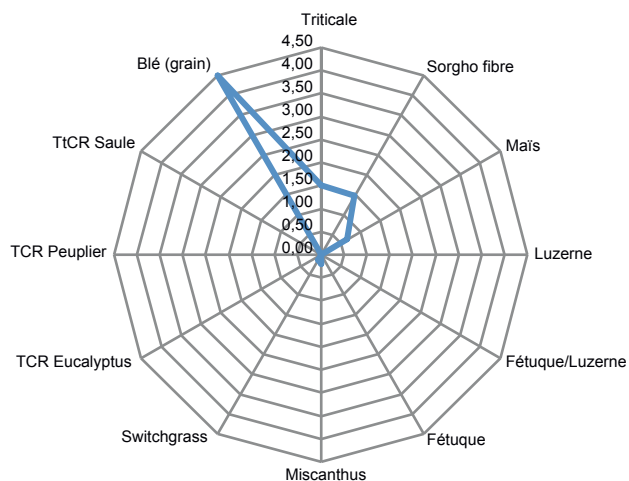


Figure III-6/9 : IFT en zone géographique Centre-Nord – Région Nord Pas de Calais.

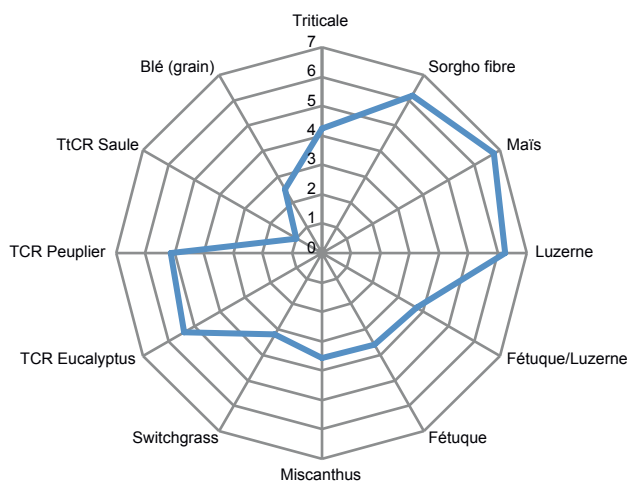


Figure III-6/10 : temps de travail en zone géographique Centre-Nord – Région Nord Pas de Calais (h/ha).

## Zone géographique « Ouest »

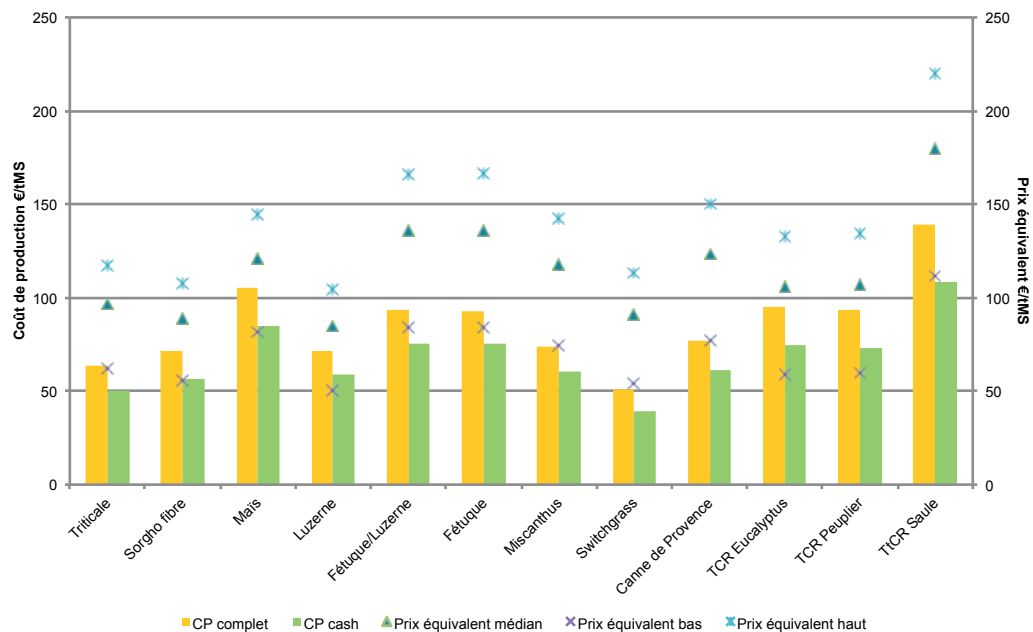


Figure III-6/11 : coûts de production et prix équivalents (€/t ms) en zone géographique Ouest.

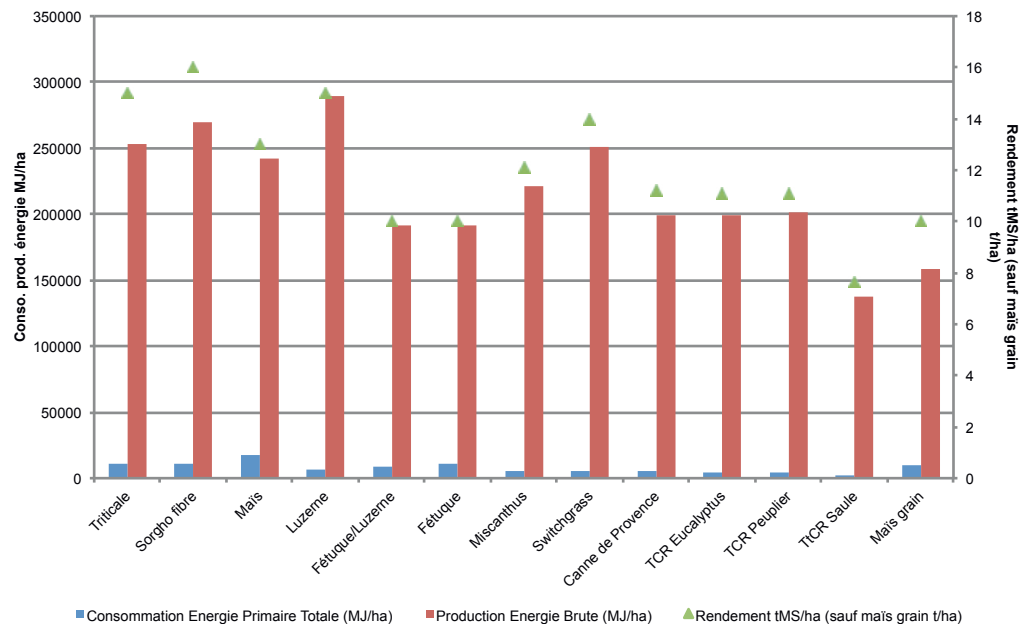


Figure III-6/12 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Ouest (MJ/ha) – Référence alimentaire maïs grain.



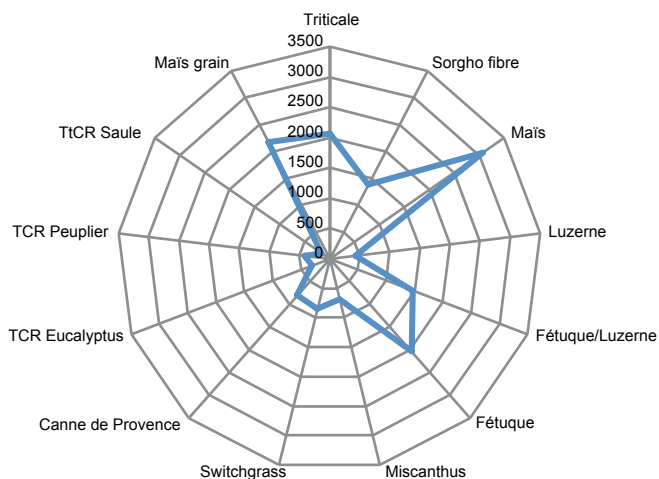
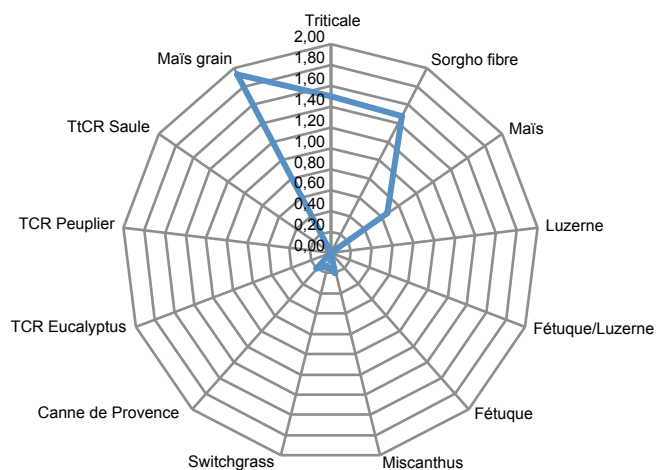
Figure III-6/13 : émissions de GES en zone géographique Ouest (kg eq CO<sub>2</sub>/ha).

Figure III-6/14 : IFT en zone géographique Ouest.

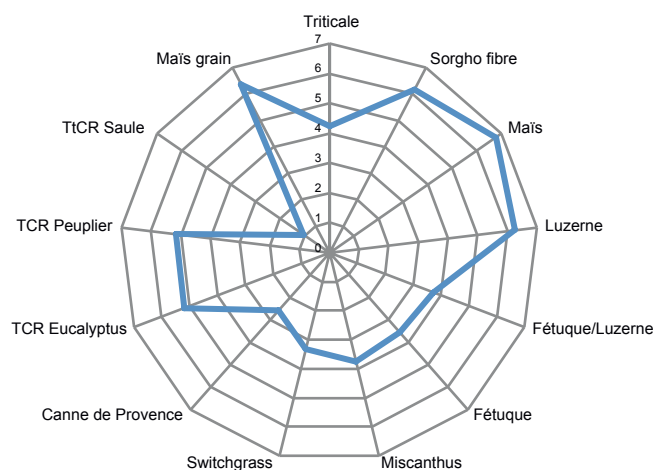


Figure III-6/15 : temps de travail en zone géographique Ouest (h/ha).

## Zone géographique « Centre-Nord » – Région Centre

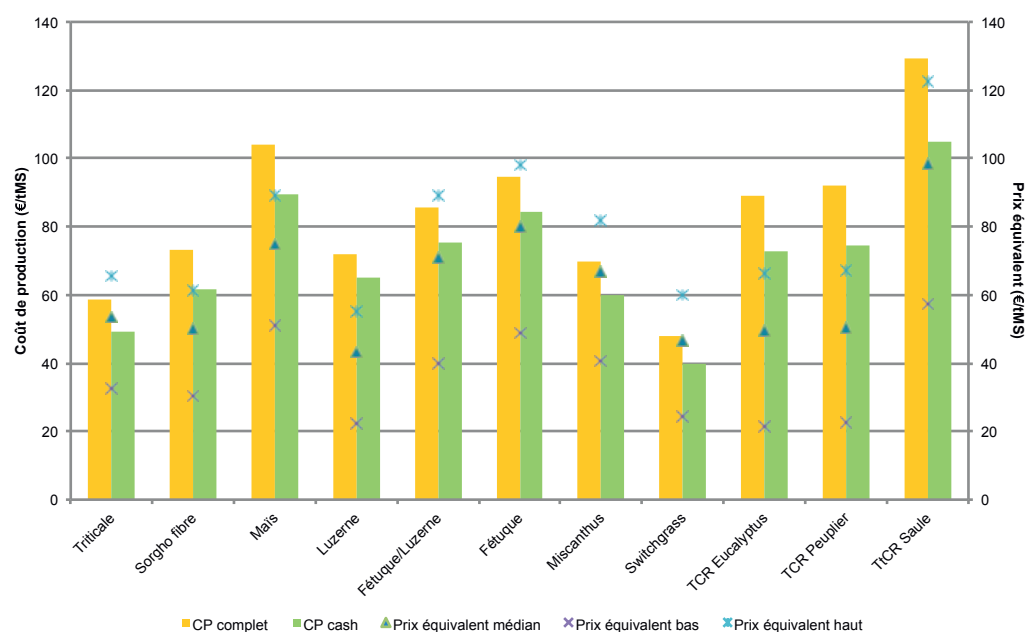


Figure III-6/16 : coûts de production et prix équivalents (/ t ms) en zone géographique Centre-Nord – Région Centre.

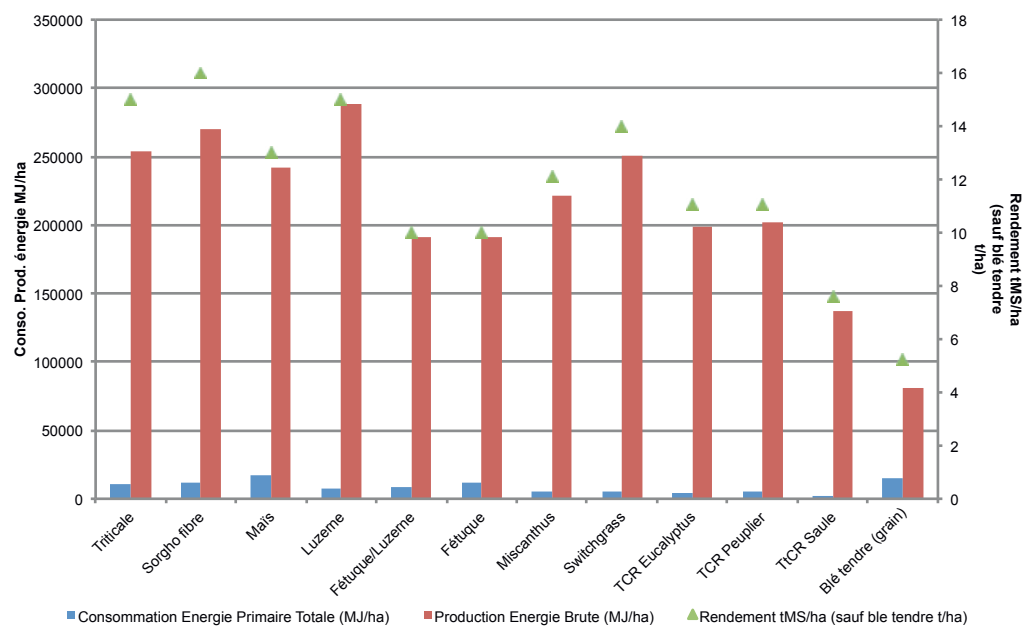


Figure III-6/17 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Centre-Nord (MJ/ha) – Région Centre - Référence alimentaire blé tendre.

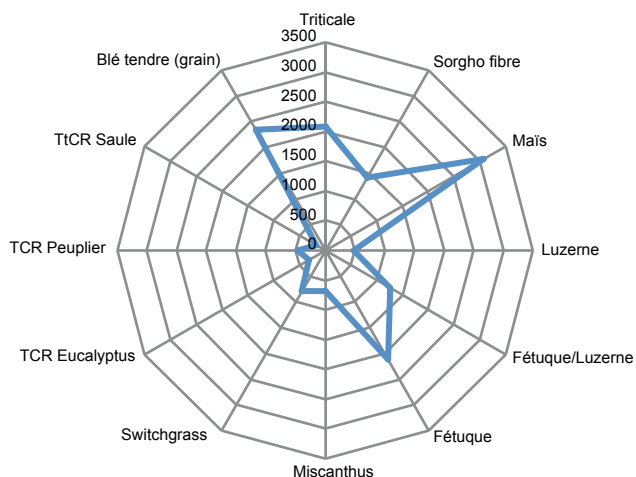


Figure III-6/18 : émissions de GES en zone géographique Centre-Nord – Région Centre (kg eq CO<sub>2</sub>/ha)..

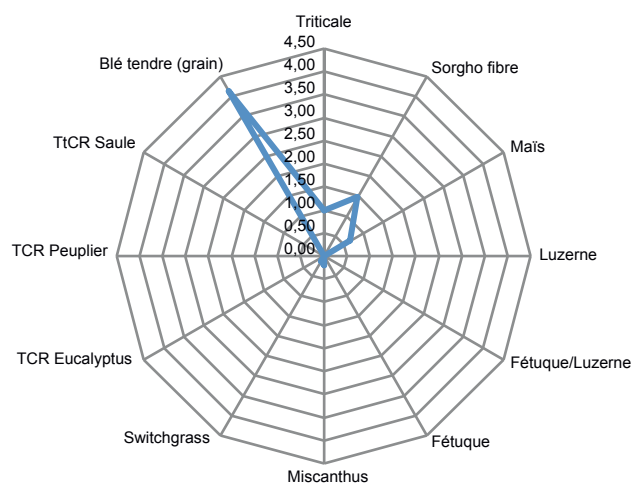


Figure III-6/19 : IFT en zone géographique Centre-Nord – Région Centre.

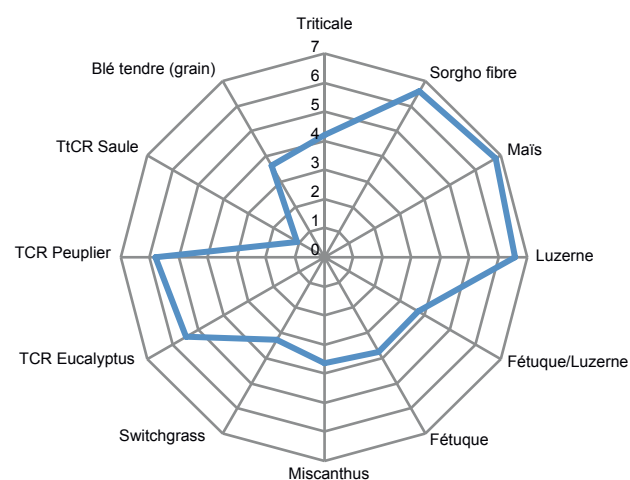


Figure III-6/20 : temps de travail en zone géographique Centre-Nord – Région Centre (h/ha).

## Zone géographique « Sud-Ouest »

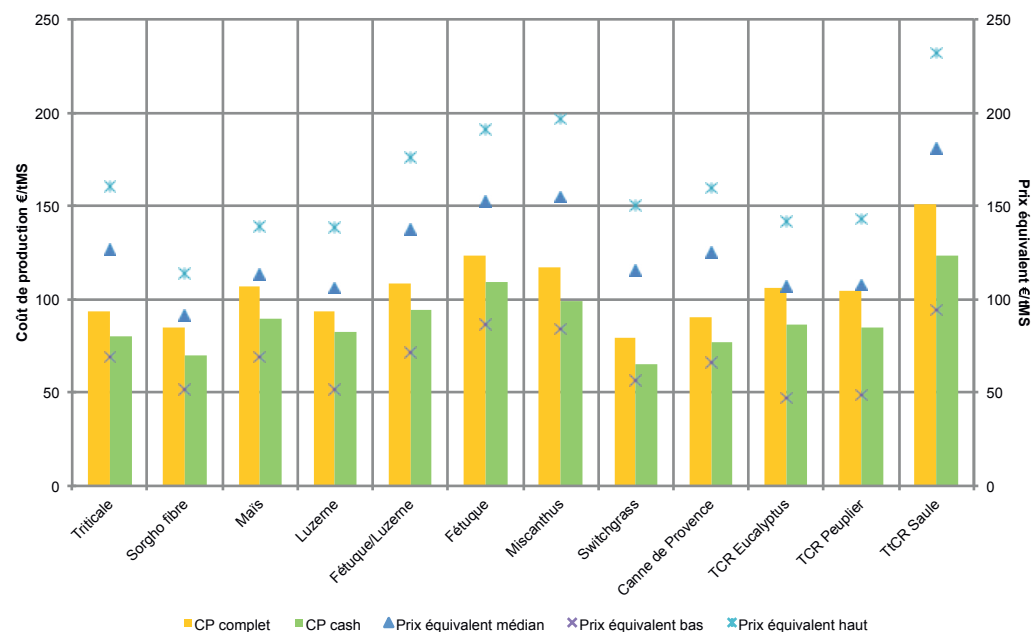


Figure III-6/21 : coûts de production et prix équivalents (€/t ms) en zone géographique Sud-Ouest.

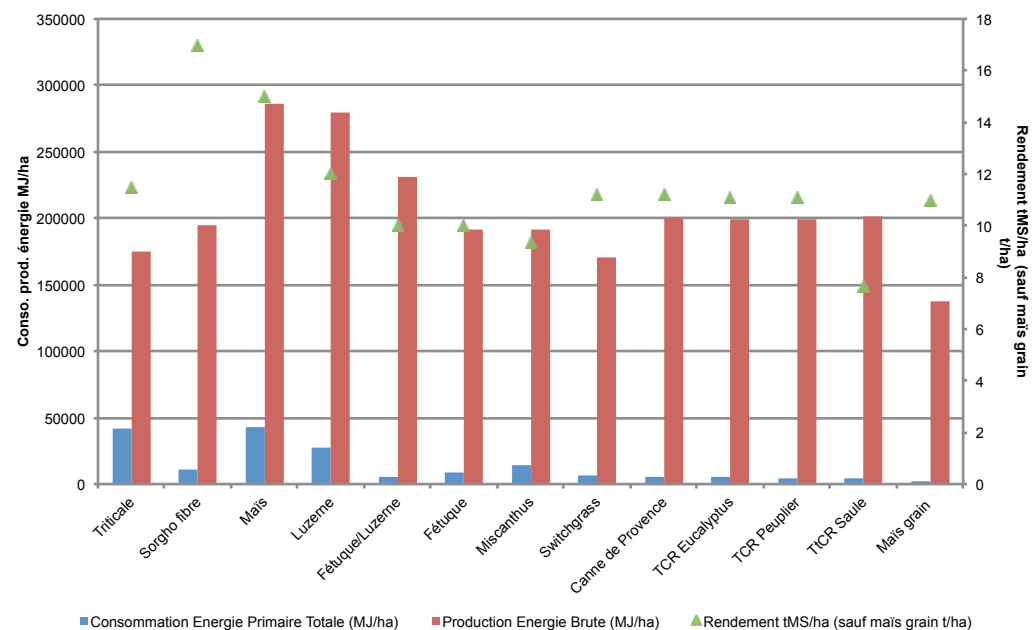


Figure III-6/22 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Sud-Ouest (MJ/ha) – Référence alimentaire maïs grain.

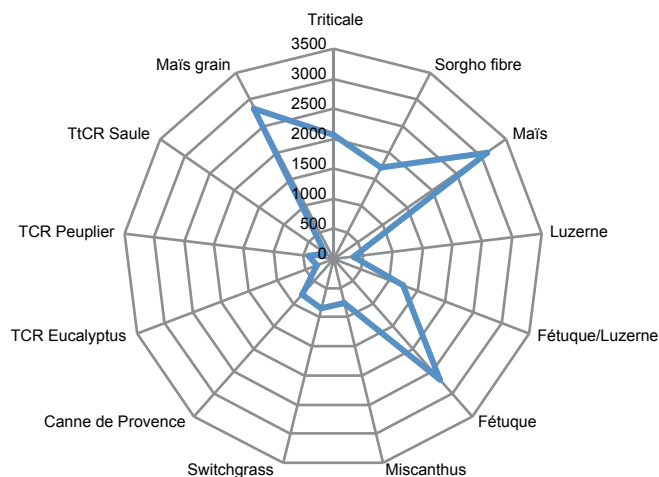
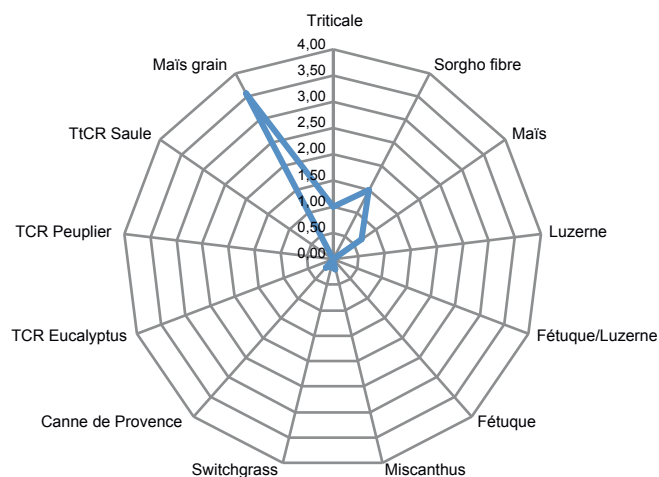
Figure III-6/23 : émissions de GES en zone géographique Sud-Ouest (kg eq CO<sub>2</sub>/ha).

Figure III-6/24 : IFT en zone géographique Sud-Ouest.

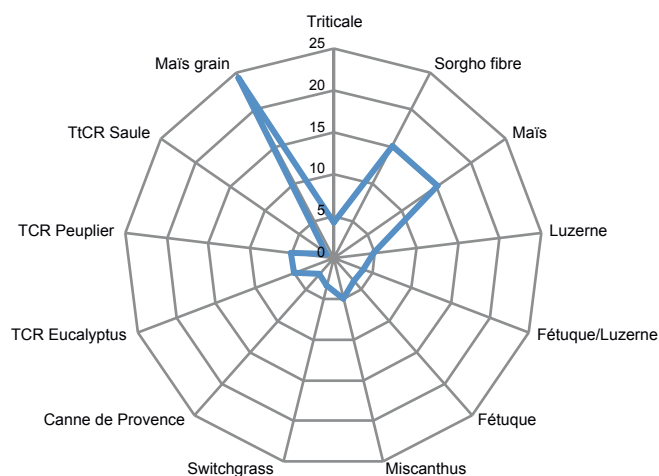


Figure III-6/25 : temps de travail en zone géographique Sud-Ouest (h/ha).

## Zone géographique « Centre-Est »

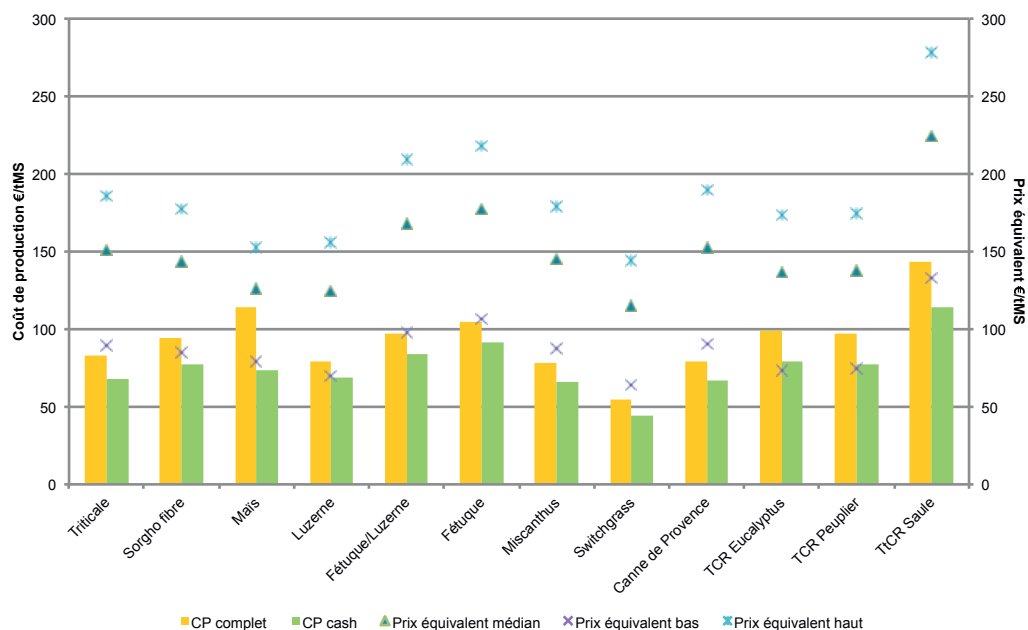


Figure III-6/26 : coûts de production et prix équivalents (€/t ms) en zone géographique Centre-Est.

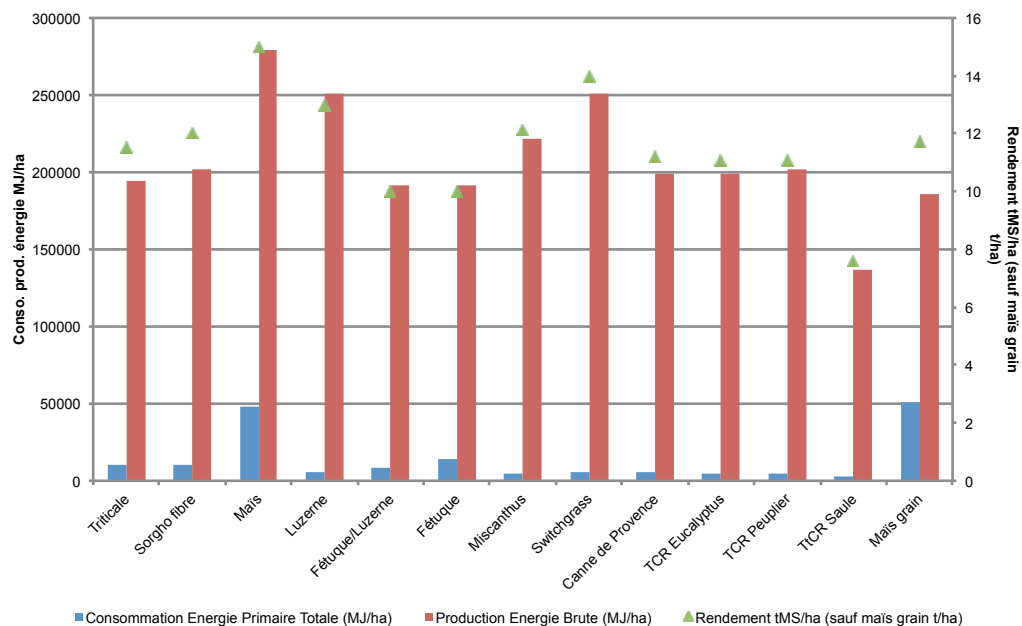


Figure III-6/27 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Centre-Est (MJ/ha) – Référence alimentaire maïs grain.

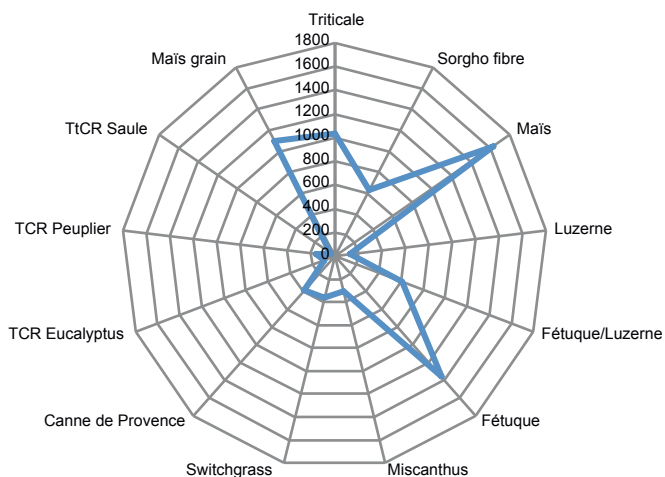


Figure III-6/28 : émissions de GES en zone géographique Centre-Est (kg eq CO<sub>2</sub>/ha).

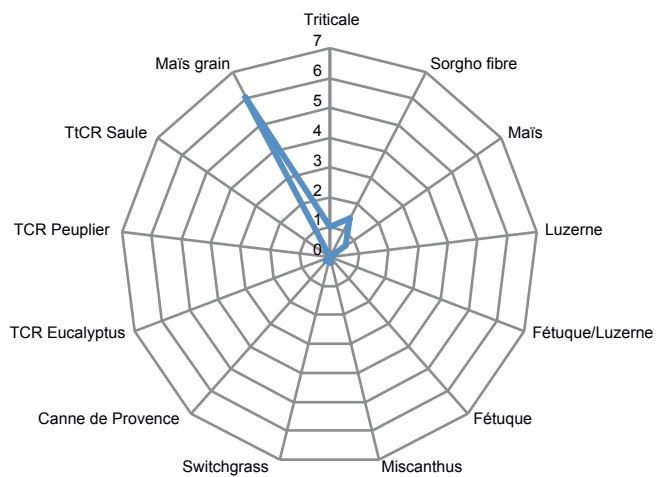


Figure III-6/29 : IFT en zone géographique Centre-Est.

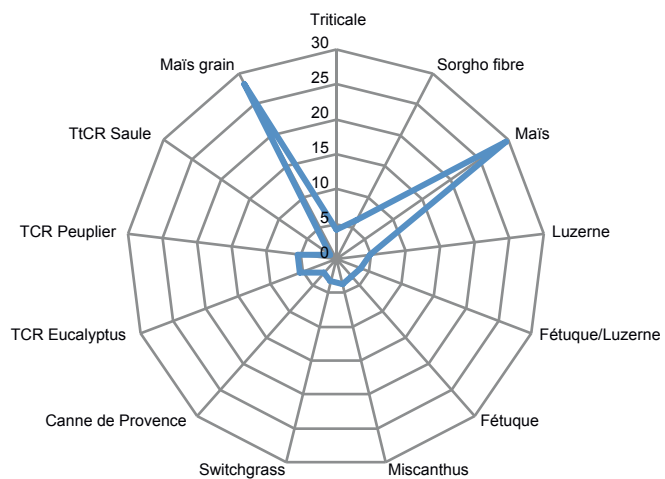


Figure III-6/30 : temps de travail en zone géographique Centre Est (h/ha.)

### Zone géographique « Sud-Est »

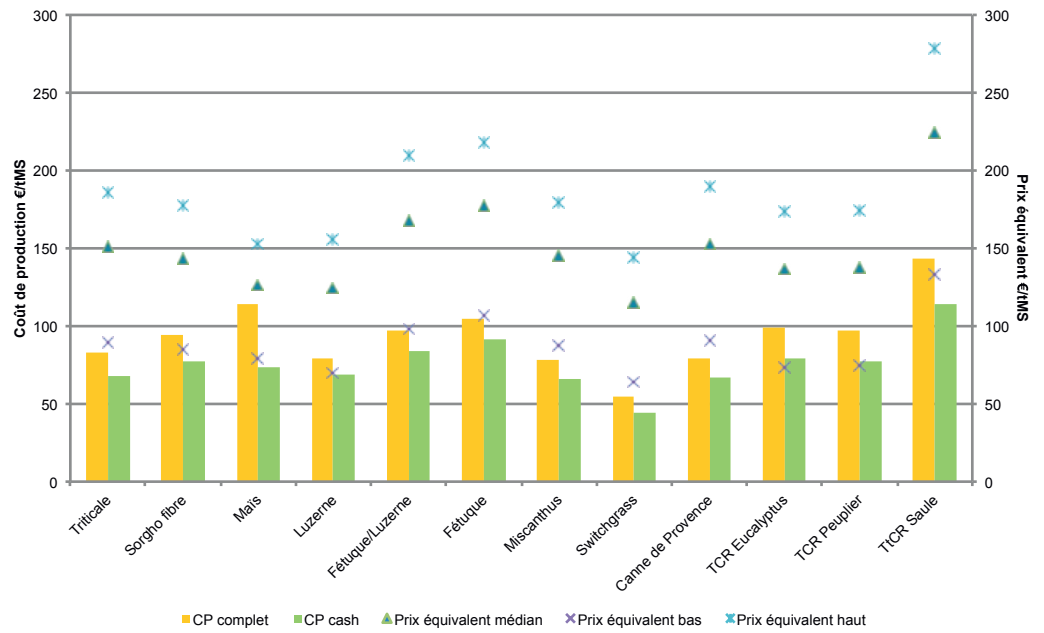


Figure III-6/31 : coûts de production et prix équivalents (€/t ms) en zone géographique Sud-Est.

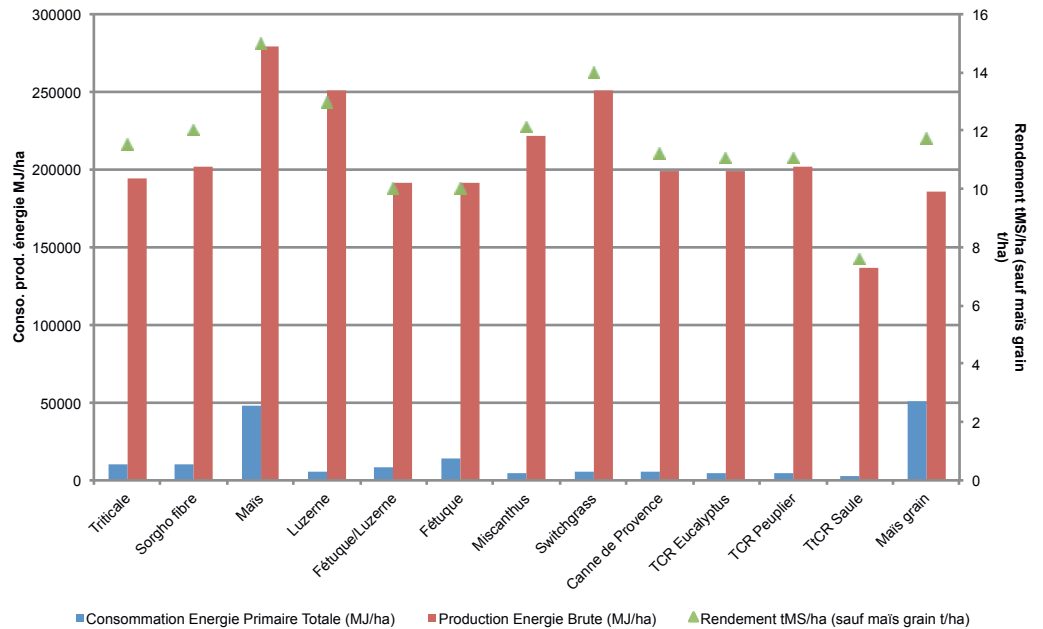


Figure III-6/32 : consommation et production d'énergie à rendement fixé en zone géographique Sud-Est (MJ/ha) – Référence alimentaire maïs grain.



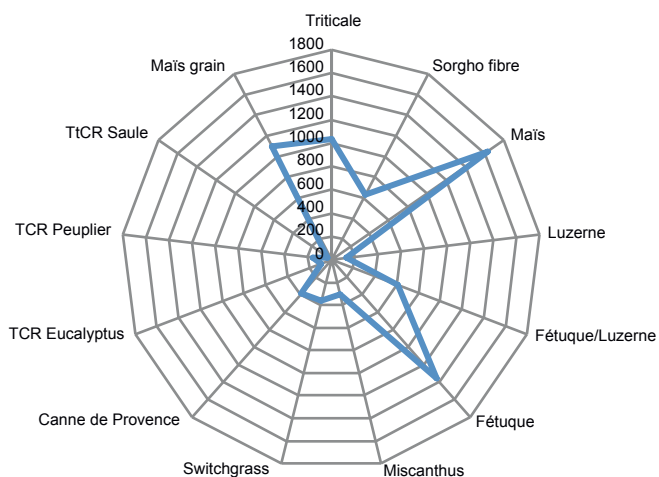


Figure III-6/33 : émissions de GES en zone géographique Sud-Est (kg eq CO<sub>2</sub>/ha).

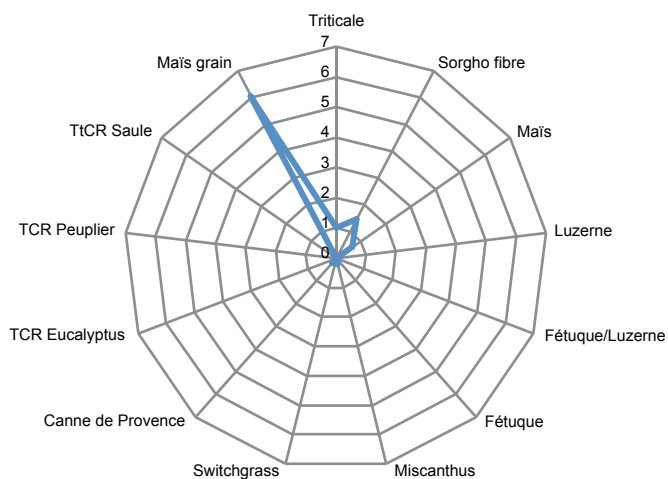


Figure III-6/34 : IFT en zone géographique Sud-Est.

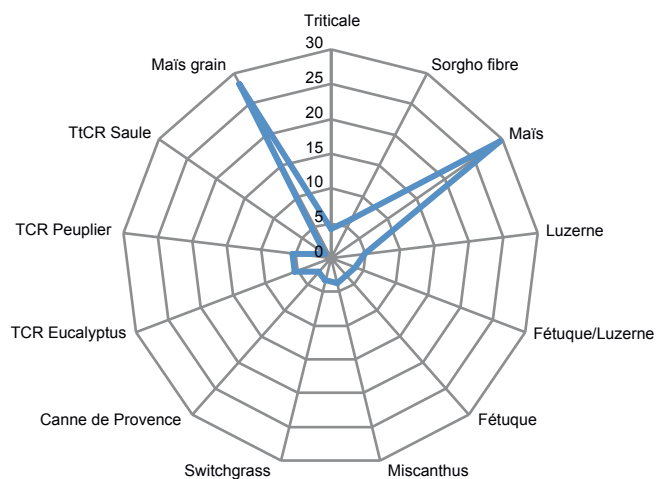


Figure III-6/35 : temps de travail en zone géographique Sud-Est (h/ha).

# PARTIE IV – RÉALISATIONS OPÉRATIONNELLES ET ÉTAT DES LIEUX

Les cultures lignocellulosiques font depuis quelques années l'objet de développements opérationnels en France : surfaces mises en cultures, unités de conditionnement ou de transformation, structures de commercialisation ou de valorisation directe.

Cette partie met en avant le caractère déjà opérationnel de la filière lignocellulosique en présentant quelques éléments concrets relatifs à la culture et aux utilisations de ces espèces.

#### IV.1 – Réalisations opérationnelles

*Rédacteurs : Frédéric LEVRAULT (Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes) et Émilie MÉHÉE (Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes)*

Six exemples concrets de valorisation de cultures lignocellulosiques sont présentés, qui concernent le miscanthus, le sorgho, le TtCR de Saule et le TCR d'eucalyptus. Parmi d'autres éléments, les composantes économiques, techniques et environnementales de chacune de ces réalisations sont détaillées. Par commodité de lecture, chaque présentation suit le même plan type.

#### IV.2 – Surfaces cultivées et sites de valorisation en France

*Rédacteur : Elodie NGUYEN (Chambre régionale d'agriculture de Picardie)*

Sur une base cartographique, un état des lieux est proposé des surfaces occupées par les cultures lignocellulosiques et des sites de valorisation en France en 2012. Non exhaustif, ce recensement vise néanmoins à donner un ordre de grandeur de l'extension spatiale de ces cultures et de leur utilisation.

## IV.1 Réalisations opérationnelles

Fiche réalisée à partir  
d'un entretien avec Romain  
CARPENTIER et Frédéric  
ANDRÉ de la COOPÉDOM  
et d'une visite du site  
le 07/04/11

[www.coopedom.fr](http://www.coopedom.fr)

### IV-1.1 Du miscanthus pour la déshydratation de la luzerne



#### • La Coopédome en quelques mots...

Société Coopérative Agricole d'Ille-et-Vilaine installée à Domagné  
Créée en 1969 par un groupe d'agriculteurs pour l'optimisation de la conservation de leurs fourrages

Activité principale : déshydratation de luzerne, ray grass, fétuque, trèfle et maïs pour l'alimentation animale

Filiale de commercialisation : la C.V.D.A. (Coopérative pour la Vulgarisation Des Fourrages)

38 000 tonnes de déshydratés par an

33 temps plein et 42 équivalents temps plein de mi-mars à novembre, en période de récolte, soit l'équivalent de 25 saisonniers.

#### • La naissance d'une filière « verte »

Intégration en 2005 des déshydrateurs dans le plan national d'affectation des quotas CO<sub>2</sub>  
Pour diminuer les émissions en CO<sub>2</sub> de l'activité de déshydratation, il a été choisi de remplacer par des cultures biomasse une partie du charbon importé d'Afrique du Sud utilisé pour la déshydratation des fourrages.

1 tonne de miscanthus  
produit autant d'énergie  
que 0,66 tonne de charbon.

Choix d'un approvisionnement local en énergie

- Opportunité de mise en place d'une nouvelle culture et d'un nouveau débouché aux adhérents
- Relocaliser au maximum l'activité de la coopérative
- Trouver une indépendance vis-à-vis des énergies, pour moins contribuer aux fluctuations des cours du marché.

Mise en place d'un four biomasse en 2009 alimenté en miscanthus et plaquettes forestières (1 800 t de miscanthus sur un total de 15 000 t de biomasse en 2010). D'ici 2014, la production de miscanthus permettra de remplacer 30 % des énergies fossiles.

Plantation de 400 ha de miscanthus en 2008 et 2009.

#### • Les raisons du choix du miscanthus

Choix d'une culture **pérenne**. Le choix de cultures « pérennes » facilite la contractualisation dans la durée.  
Cultures envisagées : switchgrass, TtCR de saule et miscanthus

Les avantages de ces cultures en tant que substituts aux énergies fossiles :

- Rendement énergétique intéressant
- Peu gourmandes en intrants avec une faible charge de travail à la parcelle

##### › Cultures testées :

- switchgrass (essai plantation), les difficultés de levée rencontrées ont rendu incertain le déploiement de cette culture ;
- TtCR de saule, mais cette culture demande un investissement conséquent dans un nouvel équipement de récolte ;

- miscanthus (essai plantation), est adapté au contexte pédoclimatique local et ne nécessite pas d'investissements supplémentaires pour sa récolte. Permet une valorisation du matériel déjà existant au sein de l'usine. Etalement de la période d'activité de la Coopédome sur l'année.

## • La culture et la valorisation du miscanthus sur le site de la Coopédome

De la parcelle....



### › 1 Les critères d'implantation

- Limons profonds avec une réserve utile importante, type « terres à maïs », sols portants.
- Absence de précédents prairies.
- Parcelle facilement mécanisable.
- Proximité par rapport à l'usine.
- Contractualisation sur 7 ans.



### › 2 La plantation

- Plantation en mars-avril après les fortes gelées.
- Réalisée par une entreprise de travaux agricoles.
- Utilisation d'une planteuse mécanique à 4 rangs.
- Coût de plantation : 3 000 € par hectare.



### › 3 La récolte

- En fin d'hiver à partir de la 2<sup>e</sup> année après implantation.
- Réalisée par la Coopédome à l'aide d'une ensileuse avec bec de récolte adapté.
- Récolte à un pourcentage d'humidité proche de 15 % (condition d'introduction dans la chaudière biomasse) et si possible avant la reprise de végétation pour ne pas entamer le potentiel de production de l'année suivante.

... au lieu de stockage...



### › 4 Le transport

- Réalisé par la Coopédome.
- Miscanthus acheminé en vrac par camions bennes (de la Coopédome) de la parcelle à l'usine.
- Distance d'approvisionnement : 60 km maxi



### › 5 Le stockage

- Aire de 3 000 m<sup>2</sup> en silos couloir à l'extérieur sur le site de la Coopédome.
- À terme, stockage de 6 000 tonnes, ce qui représente environ 10 000 m<sup>2</sup> au sol.
- Pas de risque de dégradation de la matière si elle est stockée avec un taux d'humidité inférieur à 20 %

... à la valorisation



### › 6 La combustion

- La totalité du miscanthus récolté en sec est brûlée dans le four à biomasse.
- 1 800 tonnes de miscanthus brûlées en 2010 sur un approvisionnement total de 15 000 tonnes de biomasse (plaquettes forestières et connexes de scieries).
- Objectif d'ici 2014: production et combustion de 6 000 t de miscanthus

### • En résumé

Les fonctions des différents acteurs sur le terrain

Critères d'implantation et validation des parcelles	Coopédom
Préparation de la parcelle	Agriculteur adhérent à la Coopédom
Plantation	Entreprise de travaux agricoles (prestataire)
Travaux d'entretien hors récolte	Agriculteur adhérent
Récolte	Coopédom
Transport du lieu de récolte à la Coopédom	Coopédom
Stockage	Sur le site de transformation de la Coopédom
Valorisation	Sur le site de la Coopédom, la totalité de la récolte est brûlée dans le four à biomasse
Rémunération à l'adhérent	Sur indexation du prix des céréales et de l'énergie la plus compétitive. Contractualisation sur 7 ans.

#### › Les performances environnementales



© E. MEHÉE/CRA-PC

L'intégration dans le Plan National d'Affectation des Quotas amène à réduire les émissions liées à l'activité de déshydratation des fourrages.

Avant la mise en place de la chaudière biomasse : 0,9 tonnes de CO<sub>2</sub> émis par tonne de produit fini

Après la mise en place de la chaudière biomasse : 0,4 tonnes de CO<sub>2</sub> émis par tonne de produit fini  
60% d'émissions de CO<sub>2</sub> en moins.

Avec l'utilisation du miscanthus : 30% de charbon économisée entre 2007 et 2010

Et 10 000 tonnes de CO<sub>2</sub> évitées par an (source : Coopédom, 2010)

### › Les avantages et inconvénients de l'utilisation du miscanthus

#### // Avantages

- Pas de surcoût pour la Coopédome par rapport à l'utilisation du charbon
- Revenu régulier pour les adhérents : prix d'achat du miscanthus se fait sur indexation du prix des céréales et de l'énergie la plus compétitive.
- Participation à une dynamique sociale. Avec le miscanthus, la période d'activité de la Coopédome s'allonge, permettant ainsi une durée d'embauche des saisonniers plus longue

#### // Inconvénients

- Techniques de culture pouvant être améliorées surtout à la plantation
- Adaptation nécessaire (réglages) du four biomasse en fonction des caractéristiques physico-chimiques de la biomasse (miscanthus et plaquettes forestières)
- Forte variation des rendements d'une parcelle à une autre et d'une année sur l'autre

### › Chiffres clés

#### Surfaces

400 hectares de miscanthus plantés en 2011

#### Rendements

2009, 1<sup>re</sup> année de récolte : 4 à 5 tonnes de ms/ha

2010, 2<sup>e</sup> année de récolte : 9 tonnes de ms/ha

Rendements attendus les années suivantes

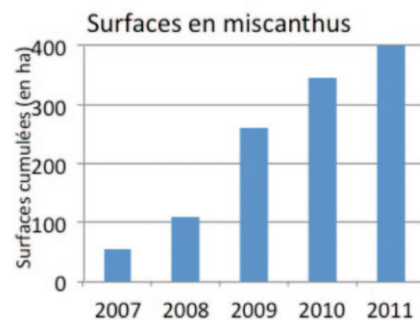
#### Aides

Investissement de la chaudière biomasse : 1,6 millions d'€, subventionné à 10% par l'ADEME, le Conseil régional et l'Union Européenne (FEDER) 50% d'aides à l'implantation octroyés par le Conseil général d'Ille et Vilaine à hauteur de 800 €/ha et la filiale CDVA à hauteur de 700 €/ha

#### Emissions de CO<sub>2</sub> évitées

10 000 tonnes de CO<sub>2</sub> évitées en 2010

La tonne de CO<sub>2</sub> évitée est revendue à 10 € à la caisse des dépôts et consignation



### › Perspectives

Nouveau plan d'allocation des quotas carbone après 2012

Mise en place du 2<sup>e</sup> foyer biomasse. L'approvisionnement se ferait avec les mêmes matières premières actuelles (à terme 30% miscanthus et 70% bois).

### › Opportunités

Etablissement de références agronomiques dans le cadre d'expérimentations.

Dépendance moindre vis-à-vis des énergies fossiles et maîtrise des matières premières.

Phase de développement du miscanthus en production de chaleur et paillage.

### › Vulnérabilités

Développement de la filière peut être limité par le prix des matières premières agricoles et celui des ressources d'origine non renouvelable.

Fiche réalisée à partir  
d'un entretien avec Gilles  
GUILBAUD et d'une visite  
du site le 12/05/2011

[www.body-nature.fr](http://www.body-nature.fr)

## IV-1.2 Body Nature se chauffe au miscanthus et au taillis à très courte rotation

### • Le laboratoire Body Nature



Body Nature a été créé en 1972 par Gilles Guilbault sur la commune de Nueil-les-Aubiers (Deux-Sèvres)  
Activités : fabrication et commercialisation de cosmétiques et produits d'entretien écologiques pour la maison  
91 salariés au siège et 674 conseillères(ers) distributrices(teurs) sur toute la France

### • La démarche de Body Nature

Depuis sa création Body Nature a toujours considéré le volet environnemental dans la conception de ses produits.



Son souhait est d'être autonome énergétiquement en se détachant du nucléaire et des énergies fossiles.

La société dispose d'énergies renouvelables diversifiées :

- 1 éolienne d'une puissance de 12 kW
- 1 500 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques produisant 110 kW crête.
- Une chaudière biomasse mise en place en 2006 alimentée par des plaquettes forestières, miscanthus et prochainement des plaquettes issues des taillis très courte rotation (TtCR).

### • Le choix du miscanthus et du TtCR

En 2007 en collaboration avec l'ADEME et l'INRA, Body Nature plante 5 hectares de miscanthus

#### › Pourquoi avoir fait ce choix ?

Culture pionnière en France, choix d'investir par curiosité et goût pour la nouveauté  
Aides délivrées par l'Europe (FEDER) et la région Poitou-Charentes

En 2011, plantation de 5 ha de Taillis Très Courte Rotation (TtCR)

#### › Les raisons de ce choix

Densité plus élevée que le miscanthus, coût du transport réduit

Volonté de la région de promouvoir les biocombustibles issus des forêts et des taillis

### • La culture et la valorisation du miscanthus

#### › 1 La plantation

- Plantation en mars-avril après les fortes gelées.
- Réalisée par Body Nature
- Planteuse à choux adaptée
- Coût plantation miscanthus et TtCR : 3 300 €/ha.







### › 2 La récolte

- Après les fortes gelées et suite à la chute des feuilles du miscanthus.
- Réalisée par une entreprise de travaux agricoles
- Ensileuse à maïs avec bec de récolte adapté



### › 3 Le transport

- Benne de 20 m<sup>3</sup> adaptée
- 2 km entre le lieu de récolte et le lieu de stockage et de valorisation du miscanthus.
- Volonté de ne pas dépasser les 3 à 5 km pour toutes les cultures biomasse afin de limiter le coût de transport

*L'optimisation de la distance de transport est un élément essentiel au développement des cultures lignocellulosiques.*

### › 4 Le stockage

- En vrac sur le lieu de fabrication et de commercialisation des produits cosmétiques et ménagers.
- Deux ouvrages de stockage :
  - Une fosse couverte de 1 000 m<sup>3</sup> pouvant contenir 250 à 300 tonnes de plaquettes bois
  - Une dalle bétonnée extérieure qui recevra la production future de plaquettes bois des TtCR

### › 5 La combustion

## • L'empreinte environnementale



© E. MÉHÉE/CRA-PC

- Conduite des cultures biomasse en système biologique, nécessitant de faibles besoins en fertilisants. Système non irrigué. Jusqu'en 2011, les cultures n'ont pas été fertilisées.
- Emissions de 490 tonnes de carbone par an, au lieu de 710 tonnes, avec la substitution des énergies fossiles par les énergies renouvelables, soit une économie réalisée de 45 %.

## • Les atouts de la valorisation de la biomasse

La valorisation de la biomasse en biocombustibles s'inscrit dans la démarche de développement durable de la société

- Cultures menées en système biologique et biodynamique
- Ressources d'origine renouvelable, stockant le carbone pendant leur croissance
- Cultures et énergie produites respectivement à proximité et au sein de Body Nature



© E. MÉHÉE/CRA-PC

Tout ceci conforte l'image d'éco responsabilité que souhaite communiquer Body Nature auprès de ses clients et de son personnel.

### › Chiffres clés

#### Les surfaces

5 hectares de miscanthus en 2007 + 10 hectares de miscanthus en 2010

5 hectares d'un mélange TtCR acacia, osier, saule en 2011.

#### Les rendements

6 tonnes de matière sèche par hectare en 2010 sur les 5 hectares de miscanthus plantés en 2007

#### Les besoins en biomasse

En 2014, les 15 hectares de miscanthus et les 5 hectares de TtCR fourniront probablement 140 tonnes par an de biomasse pour un besoin annuel estimé à 672 tonnes.

#### Les investissements

Plantation du miscanthus : 3 300 €/ha avec l'achat des rhizomes

Chaudière biomasse et aire de stockage de 1 000 m<sup>3</sup> : 517 563 €

Total des investissements : 583 600 €

#### Les aides

S'élèvent à 30 % de l'investissement total, octroyées par l'Europe (FEDER) et la région Poitou-Charentes

### › Perspectives

Implantation de 30 ha de TtCR de châtaigner (en réflexion)

L'objectif est d'être autonome énergétiquement, la limite étant le manque de surfaces pour la production de biocombustibles.

### › Vulnérabilités liées aux cultures de miscanthus et des TtCR

Les épisodes de sécheresse à la plantation lors des premières années de culture.

La maîtrise des adventices.

## • Le point de vue de Body Nature face aux cultures ligno cellulosiques

### // Avantages

- Ressources diverses d'origine renouvelable
- Substituts de poids face aux énergies fossiles

### // Inconvénients

- Impression de frilosité de ceux travaillant sur ce sujet, manque d'interlocuteurs.
- Regret d'avoir manqué d'infos concernant le type de parcelle apte à la plantation du miscanthus
- Lors de la 1<sup>re</sup> plantation en 2007, un seul acteur commercial en France, difficultés à cette époque de vérifier si les informations communiquées correspondent à la réalité.

## IV-1.3 Du miscanthus sous les sabots des chevaux

### • L'UCDV (Usines de Déshydratation du Vexin)



Société coopérative agricole du Vexin installée à Saussay-La-Campagne dans l'Eure.

Créée en 1967 par un groupe d'agriculteurs

Activité principale : déshydratation des luzernes et pulpes de betteraves.

46 temps plein et une dizaine de saisonniers.

*Fiche valorisation miscanthus réalisée à partir d'un entretien avec Aurélie Oliviero, responsable cultures et d'une visite du site le 08/04/11*

[contact@ucdv.fr](mailto:contact@ucdv.fr)  
02 32 55 85 34

### • Le développement d'une filière verte

L'UCDV s'inscrit dans une démarche de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> suite à son intégration en 2005 dans le plan national d'affectation des quotas CO<sub>2</sub>. Pour substituer en partie le charbon utilisé comme combustible dans les chaudières, il a été choisi de mettre en œuvre des solutions utilisant la biomasse locale.

Avec le soutien financier et technique de la fédération nationale des coopératives (Coop de France), une activité biomasse est créée en 2007.

L'UCDV dispose d'une chaudière biomasse pleinement opérationnelle depuis 2010. Y ont été brûlés en 2010 des plaquettes forestières et connexes de scieries ainsi qu'une partie du miscanthus récolté. Depuis 2011, seules des plaquettes et connexes de scieries sont apportés. La récolte de miscanthus est entièrement valorisée en granulés pour litière aux chevaux.

### • Les raisons du choix du miscanthus

Le choix de cultures dites « pérennes » facilite la contractualisation dans la durée, 2 cultures pérennes ont donc été testées : le miscanthus et le switchgrass.

- Toutes deux ont un très bon pouvoir calorifique inférieur (18,5 MJ/tonne de matière sèche) ;
- Difficulté de levée pour le switchgrass ;
- Filière amont (fournisseurs plants et planteurs) plus structurée pour le miscanthus.
- Choix de la culture finale : le miscanthus

#### › Les outils mis en place pour inciter à l'introduction de la culture

- Réunions de communication auprès des agriculteurs
- Communication par la presse
- Suivi des parcelles par l'UCDV
- Partenariat avec la Chambre d'agriculture de l'Eure (soutien technique sur les parcelles) jusqu'en 2010

### • La culture du miscanthus



© E. MÉHÉE/CRA-PC

#### › Choix de la parcelle

- Respect des critères fixés par l'UCDV pour le choix de la parcelle : limons profonds avec une réserve utile importante sur des sols portants non hydromorphes.
- Validation de la parcelle par l'UCDV en fonction des potentialités agronomiques, de l'accessibilité des machines et de la distance par rapport à l'usine.
- Les parcelles présentant un risque taupin sont traitées à l'aide de micro-granulés

### Charges annuelles hors plantation

- 160 €/ha hors amortissement les années 1 et 2
- 30 €/ha hors amortissement les années suivantes.



#### › **Plantation**

- Coût : 3 200 €/ha.
- Location d'une planteuse semi-automatique 4 rangs spécialement conçue pour le miscanthus.
- Appel à un prestataire de services.

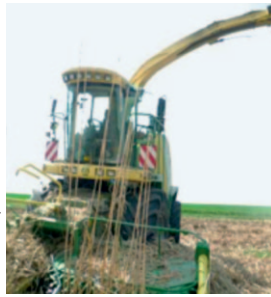
© E. MEHÉE/CRA-PC



#### › **Détermination de la date de récolte**

- Taux d'humidité compris entre 17 et 20%.
- Avant la reprise de végétation si possible.
- (sinon risque de pénaliser le potentiel de production de l'année suivante)

© E. MEHÉE/CRA-PC



#### › **Récolte**

- Organisée par l'UCDV avec ses propres ensileuses avec des becs de récolte loués et des remorques spécifiques.
- En 2010, récolte du miscanthus ensilé et pressé en balles carrés, presse attelée à l'ensileuse (coût de prestation de pressage excessif).
- En 2011, récolte à l'ensileuse et transport en vrac
- Pour 2012, le pressage est de nouveau envisagé. Ce choix de conditionnement sera fonction du coût.

#### › **Difficultés rencontrées**

- A la plantation : sol trop sec, présence de taupins engendrant des dégâts et une moins bonne reprise ; irrégularité de plantation, nécessitant l'acquisition d'un savoir-faire technique ;
- A la récolte : humidité supérieure à 20% et reprise de végétation.

#### › **Transport**



- Réalisé par l'UCDV avec des remorques d'une capacité de 21 tonnes.
- Le miscanthus est transporté en vrac sur un rayon de 25 km en 2010 étendu à 40 km en 2012 suite à l'augmentation des surfaces plantées en 2010.
- Les frais de récolte sont mutualisés mais

les frais de transport sont à la charge de l'adhérent.

#### › **Stockage**

- Choix de travailler en flux tendu ; stockage temporaire en vrac à l'extérieur sur une dalle bétonnée non bâchée.

### • **La valorisation du miscanthus à l'UCDV**



© UCDV

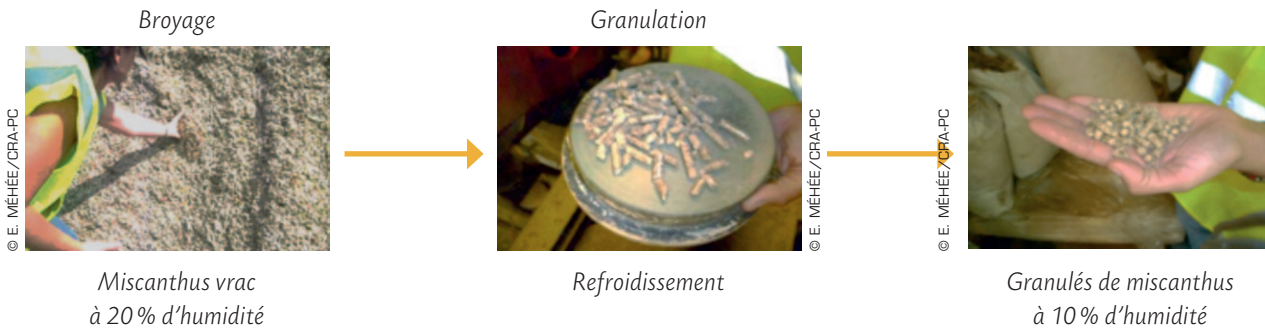
Ligne biomasse opérationnelle en 2010.

Approvisionnement par une partie du miscanthus récolté en 2010 et en plaquettes et connexes de scieries.

Différents tests ont été réalisés en 2009 à l'UCDV pour valoriser au mieux le miscanthus : bio-combustibles, paillage et granulés.

Choix en 2011 de valoriser la totalité du miscanthus en granulés à destination de la litière équine.

La chaudière biomasse est depuis, alimentée uniquement en plaquettes et connexes de scieries.

La fabrication des granulés de miscanthusLa commercialisation des granulés de miscanthus

Conditionnement à l'UCDV



Commercialisation via la SAVN

Principaux clients : les haras nationaux de la région Haute-Normandie

• **Avantages et inconvénients de l'utilisation du miscanthus en granulés pour litière**

// **Avantages**

- Absence de surcoût, outil de production des granulés de miscanthus déjà existant pour la déshydratation et la granulation des fourrages
- Valeur ajoutée supérieure à celle des bio-combustibles
- Une demande en constante évolution

// **Inconvénients**

- Humidité limitée à 20 %
- Une hétérogénéité de la matière entrante peut engendrer un délitement du granulé

## • En résumé

Les fonctions des différents acteurs sur le terrain

Définition des critères d'implantation et validation des parcelles	UCDV
Préparation de la parcelle	Agriculteur adhérent à l'UCDV
Plantation	Prestataire
Travaux d'entretien hors récolte	Agriculteur adhérent
Récolte	UCDV Et prestataire si mise en balles. Frais mutualisés.
Transport du lieu de récolte à l'UCDV	UCDV et à la charge de l'adhérent
Stockage	À l'UCDV
Valorisation	UCDV, vente des granulés à une société de commercialisation (SAVN)
Rémunération	Système coopératif pour l'UCDV et ses adhérents. Distribution de la plus-value obtenue sur le prix de vente des granulés de miscanthus à la SAVN.

### › Chiffres clés

#### Nombre d'adhérents produisant le miscanthus

Une vingtaine entre 2007 et 2011

Contrat sur 15 ans.

#### Surfaces

Un total d'environ 170 hectares de miscanthus en 2010 et 2011.

#### Rendements et production des granulés

2009, 1<sup>er</sup> année de récolte : 4 à 5 tonnes de ms/ha

2010 : 6,5 tonnes de ms/ha

2011 : 8,35 tonnes de ms/ha, toutes années

de plantation confondues

2011 : 486 tonnes de granulés de miscanthus produits

#### Financement de la ligne biomasse et aides

Projet s'élevant à 4,6 millions d'euros avec une enveloppe éligible de 3,495 M€.

Financement de l'enveloppe assuré par l'UCDV à hauteur de 47,81 %, le FEDER pour 37,19 % et la région Haute-Normandie pour 15 %.

40 % du montant de l'investissement de la plantation s'élevant à 3 200 € est délivré par la DDT en 2010 et 2011.

700 000 € ont été délivrés par le FEADER, l'ADEME et la région pour les investissements relatifs à la chaudière biomasse.

#### Principaux investissements

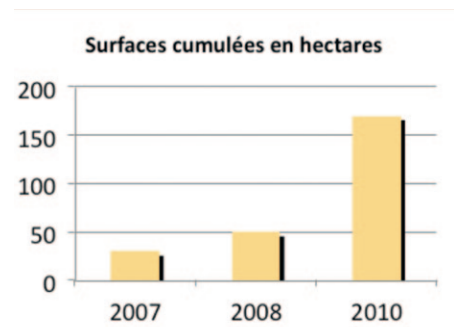
2 000 000 € pour la chaudière biomasse.

11 000 € pour la filière à granuler le miscanthus.

#### Rémunération du miscanthus

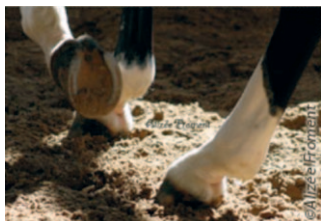
Prix d'achat du miscanthus réajusté tous les ans par le conseil d'administration.

Distribution de la plus-value sur un système coopératif.



**› Les opportunités**

Les multiples débouchés du miscanthus en agro-matériaux

**› Les vulnérabilités**

Peu de références sur la production du miscanthus une fois la culture installée (évolution des rendements, capacité des machines à récolter en fonction de l'âge de la culture).

Manque de recul sur les maladies, les ravageurs, le risque incendie, la destruction de la parcelle.

*Fiche réalisée à partir d'un questionnaire rempli par Laurent LEJARS de la Chambre d'Agriculture du Loiret, le 12/05/11*

## IV-1.4 Du sorgho pour optimiser la production de biogaz

### • Le GAEC Beets et la SARL Agri Energie...



La SARL Agri-Energie a été créée en 2009 par les associés du GAEC Beets de Saint-Germain-des-Prés (Loiret).

Activité principale : méthanisation des effluents d'élevage, ensilages, issues de céréales et déchets de légumes pour la production d'électricité revendue à EDF, de chaleur valorisée pour les bâtiments d'élevage et les maisons d'habitation des associés.

10 000 tonnes de déchets méthanisés par an.

Le GAEC Beets compte 5 associés et 2 salariés.

### • La naissance d'une filière « verte »

Le GAEC Beets souhaitait améliorer la valorisation des effluents d'élevage de l'exploitation (8 000 tonnes de lisier et fumier). D'où l'idée de la méthanisation. C'est suite à une nouvelle tarification préférentielle fixée par l'Etat en 2006 pour la vente de l'électricité produite par méthanisation que le projet a été lancé.

Objectifs :

- Développer les énergies renouvelables
- Valoriser les effluents
- Diversifier les revenus

Démarches pour la mise en place de l'unité de méthanisation.

- 2006 : formations assurées par la Chambre d'agriculture du Loiret et le constructeur de l'unité de méthanisation, visites de nombreux sites de méthanisation.
- 2006-2007 : pré-étude, demandes de subventions auprès de l'ADEME, du Conseil Général du Loiret, étude de faisabilité, rédaction et dépôt du dossier ICPE à la préfecture.
- 2008 : demande du permis de construire à la mairie, demande d'autorisation d'exploiter à la DIDEME, contrat Achat-EDF, travaux.

Actuellement l'unité de méthanisation valorise 10 000 tonnes d'effluents d'élevage, ensilages herbe et sorgho, coproduits de céréales et déchets de légumes pour produire annuellement 1 200 000 kWh d'énergie électrique, 1 100 000 kWh d'énergie thermique brute et 9 500 m<sup>3</sup> de digestat. Les deux derniers produits sont directement utilisés sur le GAEC.

### • Les raisons du choix du sorgho

Dans le but d'optimiser la production de biogaz il est nécessaire de diversifier les intrants d'origine agricole.

Les lisiers et fumiers produisent peu d'énergie car ils contiennent beaucoup d'eau. Ils apportent les bactéries, qui vont produire le biogaz à partir d'autres substrats.

L'introduction de cultures énergétiques dans le digesteur va constituer la « nourriture » des bactéries et donc une production conséquente de biogaz.

#### › Le choix du sorgho comme culture énergétique/culture en dérobé

Suite à des expérimentations en parcelle et en méthaniseur avec la Chambre d'agriculture du Loiret, le sorgho s'est avéré satisfaisant d'un point de vue agronomique (croissance rapide, bons rendements et



bonne résistance à la sécheresse) et doté d'un bon potentiel méthanogène. En outre, il présente l'avantage de pouvoir être cultivé en dérobé derrière des céréales immatures qui servent à nourrir les animaux.

Ainsi les cultures à destination de l'alimentation des animaux sont conservées dans les mêmes proportions.

## • La culture du sorgho et la méthanisation

### › 1 Les critères d'implantation

- Facilité d'insertion dans les rotations. Toutefois les meilleures productions sont obtenues dans des sols profonds et non hydromorphes.
- Exigences thermiques élevées. (Source : RMT biomasse, fiche culture sorgho). Au sein du GAEC Beets, la culture entre dans la rotation. Les sols sont majoritairement des argiles à silex.

### › 2 Le semis

- Réalisé par le GAEC avec un semoir monograine. Sauf pour sorgho fourrager.
- Sur une parcelle propre.
- Période : Avril-Mai

### › 3 La récolte

- Réalisée par le GAEC en Octobre avec une ensileuse à maïs.



© INRA

### › 4 Le transport

- Réalisé par le GAEC.
- La distance de transport maximale correspond à la parcelle la plus éloignée du lieu de stockage-transformation du sorgho.



### › 5 Le stockage

- À proximité de l'unité de méthanisation
- Pour les ensilages (herbe et sorgho) et issues de céréales :
  - 3 silos couloir de 50 m par 5 m chacun, stockage en vrac à l'extérieur
  - 1 hangar de 10 m sur 5 m, stockage vrac à l'intérieur
- Cette surface de 800 m<sup>2</sup> permet le stockage des matières végétales pendant l'année
- La durée du stockage est fonction du pouvoir méthanogène du produit. Il faut veiller à ce que le processus de fermentation ne soit pas entamé avant l'introduction dans le digesteur, pour préserver le potentiel énergétique attendu.

*La culture ne nécessite pas obligatoirement une irrigation sauf si les terres sont séchantes. Sur le GAEC, un apport de digestat est réalisé juste après le semis.*

Besoins de  
fonctionnement

## • La méthanisation et la production d'énergie

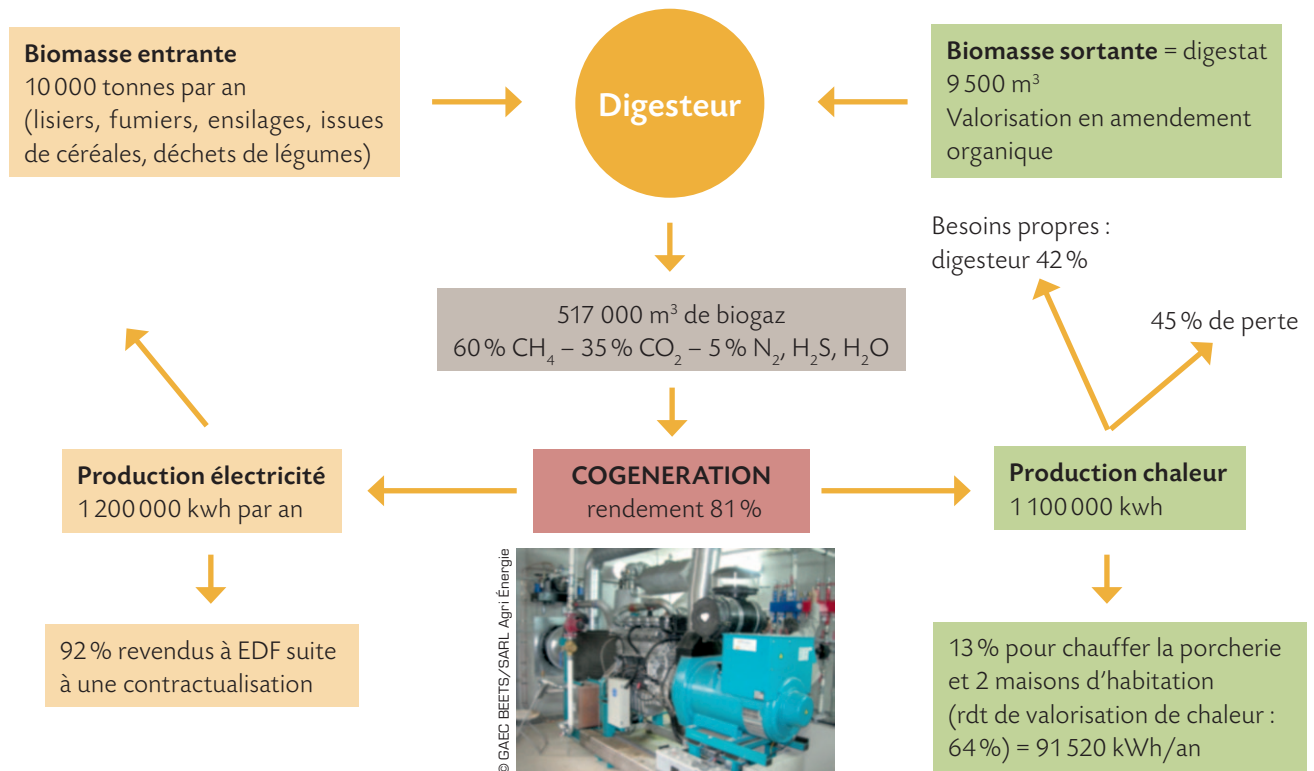
### › Quelques rappels

- La méthanisation correspond à une fermentation de substrats en conditions anaérobies
- La principale caractéristique recherchée dans le sorgho est son pouvoir méthanogène, c'est-à-dire sa facilité à être dégradé par une flore bactérienne typique réalisant la fermentation en l'absence d'oxygène et donc à produire du méthane.

### › Les contraintes particulières pour les substrats

- Produits ligneux (bois) non fermentescibles à proscrire.
- Eviter des cultures nécessitant des apports en produits phytopharmaceutiques car leurs actions risqueraient d'entamer le potentiel de la flore bactérienne
- Privilégier les substrats pauvres en azote et en soufre.

› La production d'énergie par la SARL Agri Energie



• Performances environnementales

- Diminution des rejets de gaz à effet de serre : 3 410 tonnes équivalents CO<sub>2</sub> par an (bilan Planète effectué sur le GAEC Beets)
- 100 % du digestat épandu sur les parcelles permettant une économie d'engrais chimique évaluée à 10 000 € par an.
- L'intérêt environnemental du digestat est sa composition en azote minérale directement assimilable par les cultures, contrairement à l'azote organique qui se décompose dans le temps. L'assimilation rapide de l'azote minéral à l'épandage réduit considérablement le risque de « fuite de nitrates » jusqu'aux nappes phréatiques.
- La cogénération permet le chauffage de la porcherie et de 2 maisons individuelles (environ 91 500 kWh effectifs) et une production d'électricité de 1 200 000 kWh à partir de substrats renouvelables.

## • Les avantages et inconvénients de la mise en place d'une unité de méthanisation et du sorgho

### // Avantages

- Activité qui apporte un revenu complémentaire
- Revente de l'électricité à EDF à un tarif préférentiel
- Digestat utilisé comme amendement organique → baisse du coût du poste engrais chimique
- Valorisation du sorgho en vert dans le digesteur, culture avec un pouvoir méthanogène intéressant
- Culture pouvant être menée en dérobée, n'entamant pas les productions de céréales pour l'alimentation du cheptel.

### // Inconvénients

- Difficulté à obtenir des subventions
- Maîtrise des mélanges de déchets pour permettre une optimisation de la production de biogaz.
- Manutention quotidienne des substrats pour alimenter le digesteur, environ 1 heure par jour.
- Aspect administratif très conséquent, (dossiers et justificatifs sont à fournir aux administrations).

## • En résumé

### › Chiffres clés

#### Surfaces

10 hectares sorgho.

#### Rendements

1<sup>re</sup> année de récolte : 8 à 10 tonnes

Rendement maximum observé : 13 tonnes

Rendement minimum observé : 4 à 5 tonnes

#### Les investissements et les aides

Investissement total de 850 000 € pour l'unité de méthanisation

200 000 € de subventions par l'Europe (FEDER), la région Centre et le Conseil Général du Loiret

Chiffre d'affaire d'environ 156 000 €

Temps de retour sur investissement estimé à 7 ans

#### Production d'énergies (co générateur d'une puissance de 150 kW)

517 000 m<sup>3</sup> de biogaz

1 200 000 kWh d'électricité par an (vendus à EDF ; 0,13 centimes le kWh)

1 100 000 kWh de chaleur par an

#### Emissions de CO<sub>2</sub> évitées

3 410 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par an (Bilan Planète)

### › Perspectives

Il existe une demande pour le séchage du bois à partir de la chaleur produite dans le digesteur. Le séchage de cette autre biomasse se ferait sous forme de prestation. Cependant, ce type de projet – très innovant – manque encore de références sur ce sujet, et les compétences et témoignages sont difficiles à trouver.

Une unité de méthanisation d'une puissance supérieure aurait été plus adaptée pour un tel projet.

### › Opportunités pour le sorgho

L'augmentation du tarif de vente de l'électricité pourrait entraîner une concurrence sur les déchets, ce qui serait une opportunité pour le développement du sorgho faisant partie des cultures énergétiques.

### › Vulnérabilités

La croissance de la filière est sensible à l'évolution des tarifs.

Il faut 2 à 3 ans pour monter un projet de méthanisation.

*Fiche réalisée à partir d'un entretien téléphonique le 8/07/11 avec Jean-Claude Kerdiles, ancien maire de la commune de Pleyber-Christ et ancien membre de la CUMA, porteur du projet de la mise en place de la chaufferie communale du centre bourg, et à partir de données bibliographiques communiquées par AILE.*

## IV-1.5 Le TtCR de saules valorise les boues de station d'épuration

### • Quelques mots sur Pleyber-Christ

La commune de Pleyber-Christ est située dans le département du Finistère et compte environ 2800 habitants.

Depuis 2002, elle épand une partie de ses boues d'épuration sur du Taillis Très Courte Rotation (TtCR) de saules qu'elle valorise ensuite en combustibles dans une chaudière bois collective qui alimente les bâtiments publics du centre-bourg.

### • À la recherche d'un procédé de valorisation des boues

Jusqu'à la fin des années 90, un partenariat entre Pleyber-Christ et la CUMA du village permet l'épandage de la totalité des boues de la station d'épuration sur les terres agricoles. Ainsi, une interdiction d'épandage des boues sur les cultures légumières en 1998 pousse la commune et la CUMA à trouver d'autres surfaces.

En 2001, suite à une visite de l'ancien président de la CUMA sur un site qui valorise les boues d'épuration sur du taillis de saules, la piste de l'épandage sur TtCR de saules prend toute son ampleur.

Au même moment AILE (Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement), cherche un site expérimental de grande envergure pour l'étude de l'épandage des boues de STEP sur le TtCR de saules. Un partenariat est alors créé entre AILE et la commune.

À l'heure actuelle, une chaudière biomasse d'une puissance de 150 kW alimente en chaleur les bâtiments communaux, la gendarmerie, la médiathèque et la perception à partir des plaquettes issues des TtCR de saules plantés sur la commune. Le besoin annuel est d'environ 217 MWh d'énergie utile, soit la production de 110 tonnes de plaquettes à 25 % d'humidité.

### • Les raisons du choix du TtCR de saules

Avant d'expérimenter l'épandage des boues de station d'épuration sur le TtCR de saules, 2 pistes ont été envisagées par la commune :

- l'épandage des boues liquides ;
- ou l'épandage des boues séchées.

Le principal inconvénient de l'épandage des boues liquides est le coût de transport important. Cependant, le coût global d'épandage de boues séchées est plus important que celui des boues liquides même si les parcelles épandables se trouvent à proximité de la station d'épuration (cas de la commune de Pleyber-Christ).

Les 2 principaux intérêts de la culture du saule:

- la croissance rapide du bois permise par l'apport de boues (environ 100 m<sup>3</sup>/ha en 3 ans) ;
- la valorisation du TtCR en combustibles.

La mise en place du TtCR de saules a été confortée par l'appui technique de divers organismes dont la FRCUMA Ouest, la CUMA Breizh Energie et la CUMA de Pleyber-Christ, la Chambre d'agriculture de Bretagne, AILE.

## • La culture et la valorisation du TtCR de saules à Pleyber-Christ



© AILE

### › 1 Les critères d'implantation

- Le type de sol privilégié pour le saule correspond à un limon profond avec une réserve utile importante, il doit être portant pour permettre la récolte en saisons humides.
- À Pleyber-Christ, la plantation se fait sur les parcelles communales. Elles sont profondes et drainantes ce qui convient à la culture du saule.



© AILE

### › 2 La plantation

- Plantation en mars.
- Le taillis est mis en place pour une durée de plus de 20 ans.
- Réalisée par une entreprise de travaux agricoles qui fournit les plants et la planteuse spécifique (planteuse STEP).
- Coût de la plantation : 2 800 € HT par hectare, préparation comprise.

- Vu le coût élevé de la plantation une préparation soignée du sol est conseillée, de manière à mettre les jeunes boutures dans les meilleures conditions (labour, faux semis, désherbage chimique avant la plantation).

*Salissement de la parcelle.  
Investissement de la CUMA de  
Pleyber-Christ dans une tondeuse  
débroussailleuse autoportée  
d'un montant de 10 000 €.*



© AILE

### › 3 L'épandage des boues

Le volume de boues épandues dépend de la teneur en N/P/K de l'effluent et de la quantité annuelle exportée par la biomasse. A Pleyber-Christ 100 m<sup>3</sup> sont épandus par hectare sur 3 ans:

- 60 m<sup>3</sup> la 1<sup>re</sup> année à l'aide d'un épandeur équipé de pendillards ;
- 40 m<sup>3</sup> la 2<sup>e</sup> année à l'aide d'un épandeur équipé de palettes inversées et d'un carénage en dessous

du matériel afin d'éviter d'endommager les saules et les flexibles hydrauliques ;

- aucun épandage n'est possible la 3<sup>e</sup> année compte tenu de la hauteur des saules.

*Préconisation : un excès en phosphore dans les boues limite les apports. Leurs calculs doivent donc porter sur le phosphore, tout en veillant aux équilibres entre éléments.*

### › 4 La récolte



© AILE

- Possible en automne, hiver et début de printemps (quelques semaines après la reprise de végétation).
- À partir de la 3<sup>e</sup> année après implantation, et ensuite tous les 3 ans.
- Réalisée par la CUMA régionale Breizh Energie à l'aide d'une récolteuse tige entière (STEMTER I), puis broyage des tiges en plaquettes en bout de parcelle. Le bois est récolté à environ 50% d'humidité.

- Coût de la récolte (coupe, broyage, transport du bois de la parcelle à la chaudière) : 1 800 € HT par hectare tous les 3 ans.

## • La culture et la valorisation du TtCR de saules à Pleyber-Christ



© AILE

### › 5 Le transport

- Réalisé par la CUMA à l'aide de remorques à ensilage classique de 25 à 35 m<sup>3</sup>.
- Les plaquettes humides sont acheminées à une Société Coopérative d'Intérêt Collectif (SCIC) où elles sont pesées à 50% d'humidité, séchées puis réacheminées par la SCIC directement vers la chaudière communale en fonction de ses besoins.

- Distance d'approvisionnement : environ 2 km.



© AILE

### › 6 Le stockage

- Le silo de stockage de la chaudière a une capacité de 25 m<sup>3</sup>, ce qui correspond à une autonomie d'environ 15 jours.
- La consommation moyenne annuelle en plaquettes de saules est de 80 tonnes.
- Les plaquettes stockées ont un taux d'humidité compris entre 25 et 35%.



© AILE

### › 7 La combustion

- Le bois (mélange TtCR et haies) introduit dans la chaudière doit avoir une humidité comprise entre 25 et 35 % et une granulométrie ni trop grossière ni trop fine.
- La productivité annuelle de la chaudière communale de Pleyber-Christ :

à l'entrée : 80 tonnes de plaquettes de saules à environ 25 % d'humidité, avec un PCI à 25 % d'humidité égal à 3 627 kWh/t.

à la sortie : 290 MWh d'énergie primaire pour un besoin utile de 217 MWh, soit un rendement d'efficacité de la chaudière couplée au réseau de chaleur égal à 75 %.

## • En résumé

Les fonctions des différents acteurs sur le terrain

Préparation de la parcelle	La CUMA de Pleyber-Christ (prestataire)
Plantation	Entreprise de travaux agricoles (prestataire)
Travaux d'entretien hors récolte	La CUMA de Pleyber-Christ
Récolte	La CUMA régionale Breizh Energie (prestataire)
Transport du lieu de récolte à l'UCDV	La CUMA de Pleyber-Christ et la SCIC
Stockage	Totalité de la récolte stockée à la SCIC et approvisionnement du silo de la chaudière communale suivant les besoins.
Valorisation	Au niveau de la chaudière communale du centre bourg de la commune de Pleyber-Christ

### › Les performances environnementales



© AILE

Le TtCR de saules s'avère être une excellente pompe à nitrates, diminuant ainsi le risque de lessivage de l'azote.

Chaque hectare de TtCR de saules brûlé permet d'économiser 3 500 à 4 500 litres de fioul par an.

D'un point de vue énergétique, le TtCR de saules produit 30 fois plus d'énergie qu'il n'en consomme pour sa croissance (source AILE).

Par rapport à un système de chauffage utilisant des énergies fossiles, une tonne de plaquettes brûlée permet d'éviter le rejet de 0,9 tonne de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, d'après J.C. KERDILES.

### › Les avantages et inconvénients de l'utilisation du TtCR de saules à Pleyber-Christ

#### // Avantages

- Création d'une dynamique de territoire en faisant intervenir diverses structures dans un rayon restreint avec des retombées économiques pour les prestataires.
- L'épandage des boues d'épuration sur TtCR est intéressant lorsque la commune souhaite garantir un débouché pour ses boues à des périodes où celles-ci ne peuvent pas être épandues sur des cultures conventionnelles (en été) ou bien lorsqu'il y a beaucoup de cultures maraîchères qui ne peuvent pas recevoir de boues.
- Outil pédagogique puissant : exemple de procédé de valorisation « écologique » des déchets urbains.
- Impact sur le paysage non négligeable, « rideau végétal » pouvant cacher des bâtiments imposants en pleine campagne.

#### // Inconvénients

- Risque de trop grandes teneurs en azote et phosphore dans le sol suite à l'apport des boues.
- Coûts de plantation et de récolte élevés.

### › Chiffres clés

#### Surfaces

4 hectares plantés en avril 2002 ;

5 hectares plantés en 2005.

Soit un total de 9 hectares.

#### Rendements

1<sup>re</sup> récolte en 2005 sur les 4 hectares plantés en 2002 :

47 tonnes à 56 % de matière sèche par hectare en 3 ans, soit environ 165 m<sup>3</sup> par hectare en 3 ans.

Ce qui revient à environ 6,5 tonnes de matière sèche par hectare et par an.

#### Investissements et aides

Projet global pour la mise en place de la chaudière et du réseau de chaleur évalué à 173 734 €, dont un investissement de 40 120 € pour la chaudière bois centre-bourg.

L'enveloppe éligible pour l'ensemble du projet d'installation de la chaudière collective dans le cadre du Plan bois énergie Bretagne s'élève à 50 % de l'investissement total. Les aides ont été délivrées par l'ADEME, le Conseil Régional de Bretagne et le Conseil Général du Finistère.

Les aides à la plantation attribuées à la commune dans le cadre du programme WILWATER sont Life Environnement et le conseil général du Finistère.

#### Economies et émissions de CO<sub>2</sub> évitées

L'utilisation de 80 tonnes de bois brûlées pour la production de 217 MWh utiles permet d'économiser près de 20 000 € en regard de l'emploi du gaz fossile pour la même production de chaleur et permet d'éviter le rejet de 72 tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

### › Perspectives

Etude en cours pour un projet de chaufferie de l'école communale.

### › Opportunités

Le TtCR de saule sur la commune de Pleyber-Christ peut servir de support pour des activités pédagogiques comme il l'a déjà fait avec l'école communale lors de la plantation de TtCR de saules pour protéger un périmètre d'un bassin de captage.

### › Les limites

Pour atteindre l'équilibre en éléments apportés par les boues d'épuration dans le sol, il faudrait réduire les doses apportées sur les taillis, pour cela, la surface devrait être augmentée.

Contact et informations complémentaires :

FIBRE EXCELLENCE  
R&D KRAFT  
rue du Président Saragat -  
31 800 Saint-Gaudens

[didier.lambreca@fibre-excellence.com](mailto:didier.lambreca@fibre-excellence.com)

## IV-1.6 TCR d'eucalyptus : Fibre Excellence

L'eucalyptus est un arbre originaire d'Australie où il compose plus de 90 % des forêts naturelles. C'est une espèce qui possède des capacités de survie et de croissance exceptionnelles. Aujourd'hui près de 20 millions d'hectares sont plantés dans le monde, l'eucalyptus étant considéré comme le feuillu le plus largement planté dans sa catégorie.

Le succès de son utilisation en plantations industrielles s'explique par sa faculté de croissance qui dans des conditions favorables permet d'obtenir des rendements de 20 à 50 tonnes de matière sèche par hectare et par an.

L'eucalyptus présente également l'avantage d'offrir une source diversifiée de débouchés : énergie, bois de construction, production de molécules ou produits extractibles mais surtout comme matière première entrant dans la fabrication de pâtes à papier.

### • Contexte français

L'usine Fibre Excellence Saint Gaudens (31) a un besoin annuel de 1 200 000 tonnes de bois pour ses besoins de production de pâte papetière (bois à usage process entrant dans la fabrication de pâte chimique). L'approvisionnement est principalement réalisé à partir d'espèces locales mais également à partir de bois d'eucalyptus importé d'Espagne et à plus petite échelle à partir des plantations déjà réalisées en France.



L'objectif à terme est d'augmenter la part de cette ressource produite en France afin de diminuer le rayon d'approvisionnement :

- Diminution des émissions de gaz à effet de serre émis lors du transport.
- Diversification des productions permettant de générer de l'activité économique dans les territoires ruraux.
- Développement et mise en place de filières en partenariat avec les acteurs économiques et professionnels régionaux.

### • Taillis à Courtes Rotations d'Eucalyptus

Le genre eucalyptus présente une très grande diversité génétique avec plus de 600 espèces. Si les espèces les plus productives sont réservées aux pays de l'hémisphère sud il existe une frange d'espèces dites montagnardes originaires d'Australie qui sont capables de s'acclimater aux conditions françaises.

Les efforts de recherche, portés essentiellement par l'institut technologique FCBA en lien étroit avec Fibre Excellence ont permis de sélectionner des espèces les plus résistantes au froid et de mettre au point l'itinéraire technique. L'eucalyptus Gundal est un hybride naturel entre deux espèces dont les aires d'origine correspondent à des zones montagnardes australiennes et au plateau central de Tasmanie. C'est cette espèce déclinée en plusieurs clones qui est actuellement proposée au développement. Elle allie une excellente capacité de croissance à une bonne tolérance au froid.



L'eucalyptus traité en Taillis à Courtes Rotations est une culture d'arbres simplifiée mais exigeante en termes de maîtrise des interventions :

- L'eucalyptus possède un lignotuber qui est un organe souterrain de réserves énergétiques complété par des bourgeons végétatifs. Ainsi, après chaque exploitation, des rejets de souche assurent le développement de la rotation suivante. Une plantation permet plusieurs récoltes sur le même ensouchement.
- On compte en moyenne 3 à 4 exploitations soit un cycle complet de production compris entre 25 et 30 ans.
- Production rapide et importante de biomasse sur des stations à faible valeur agronomique nécessitant peu d'investissement matériel et avec une exigence de main d'œuvre limitée dans le temps.

	Eucalyptus GUNDAL	
	1 <sup>re</sup> rotation	Rotations suivantes
Densité de tiges/ha	1 000	3 000/4 000
Durée de la rotation	10 ans	8-10 ans
Nombre de rotations	3 au minimum	
Mortalité des souches entre rotation	5 à 10%	
Croissance annuelle en hauteur	2 à 2.5 mètres	
Production en biomasse marchande	200 T/ha	250 à 300 T/ha
Production annuelle en T/ha/an	20	25
Gestion sylvicole	Bonne capacité des souches à rejeter individualisation des brins ne nécessitant pas de dépressage	

#### › Les critères techniques d'implantation :



##### Année-1

Préparation de sol :

- Maîtrise anticipée des futures adventices.
- Travail profond du sol favorisant l'installation et l'ancrage des arbres.



##### Plantation

- Plantation manuelle ou mécanisée de plants forestiers à la densité de 1 000 plants/ha.
- Plants élevés en conteneurs produits à partir de boutures dans des pépinières spécialisées.



##### Entretiens de 0 à 2 ans = la clef de la réussite de l'implantation

- Fertilisation indispensable surtout sur station très pauvre (par ex sol sableux).
- Intervention précoce et si possible anticipée sur la maîtrise de la flore concurrente.



##### Exploitations

- Exploitations par coupe rase tous les 8 à 10 ans.
- Chantier réalisé avec des matériels forestiers classiques.
- Très peu d'entretiens sont à prévoir après chaque coupe. De vigoureux rejets de souche apparaissent dès les premières semaines suivant l'exploitation qui recolonisent ainsi dès la première année l'espace de la parcelle.

*Sauf contrainte technique, l'écorçage est intégré aux techniques d'exploitation, il est directement réalisé sur la parcelle afin de limiter les exportations minérales.*

## • Projets de plantation et solutions de financement

### › **Implantation :**

- Les plantations ont pour finalité la production de biomasse pour l'approvisionnement de Fibre Excellence Saint Gaudens (31).
- Les régions concernées sont Midi-Pyrénées, Aquitaine et Languedoc Roussillon.
- La surface minimale du projet de plantation est fixée à 4 ha minimum en une ou plusieurs parcelles rapprochées.
- Terrain situé en plaine sur sol acide et avec des parcelles accessibles et facilement mécanisables.

### Fiscalité forestière spécifique :

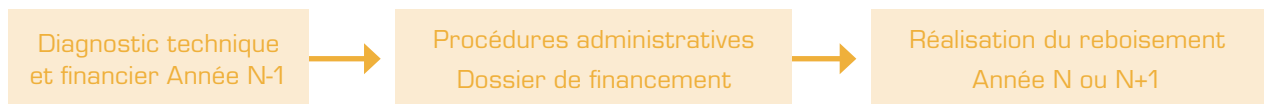
- Exonération de l'impôt foncier
- Réduction de l'impôt sur le revenu
- Réduction des droits de mutation
- Dispositif d'exonération fiscale sur les travaux forestiers

### › **Dans quel cadre s'inscrit la plantation ?**

- Boisement de terres agricoles : transfert du régime agricole vers le régime forestier
- Reboisement de peuplements forestiers dégradés : maintien du régime forestier
- Implantation de cultures ligneuses dans le cadre de l'exploitation agricole : maintien du régime agricole

### › **Les financements :**

Selon l'implantation géographique des plantations et les différents cas de figure les sources de financement peuvent varier : financement national et/ou régional et/ou de l'Union Européenne



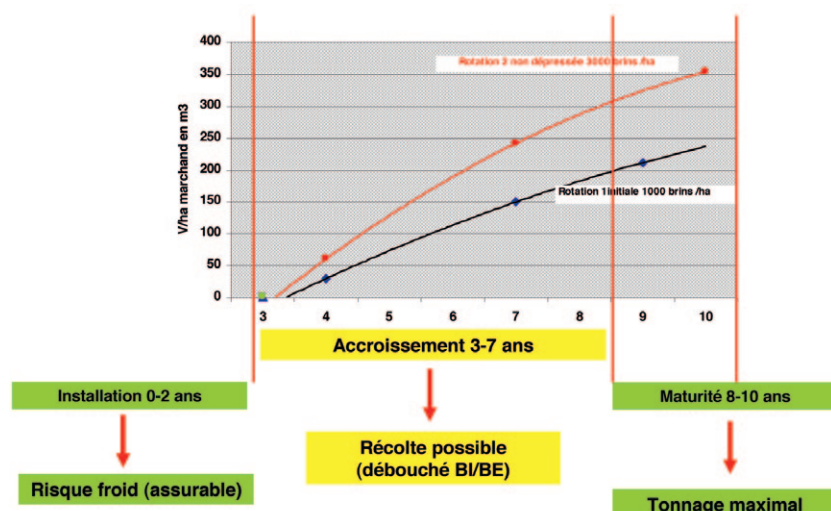
## • Les spécificités d'une essence exotique

L'eucalyptus, présente l'avantage d'avoir une croissance quasi continue tout au long de l'année mais en contre partie il est sensible aux froids intenses.

Indépendamment du changement climatique à venir, nous pouvons rencontrer des épisodes de froids exceptionnels de durée et d'intensité variable, aussi ce facteur limitant est pris en compte :

- En limitant le développement à une partie des plaines du sud ouest définie comme a priori les plus favorables.

### › **Les retours d'expérience liés au froid :**



- Les variétés employées supportent des températures hivernales de l'ordre de - 12° C mais cette sensibilité est fonction de l'âge des arbres : plus forte dans le jeune âge et inversement elle diminue dans le cas de plantation plus âgée.
- En cas d'aléa climatique (gel, tempête) avant le terme de récolte théorique la quantité de biomasse produite à l'hectare permet d'envisager une exploitation anticipée des tiges en produisant de la matière bois dont le débouché peut être l'énergie.

- **La commercialisation du bois**



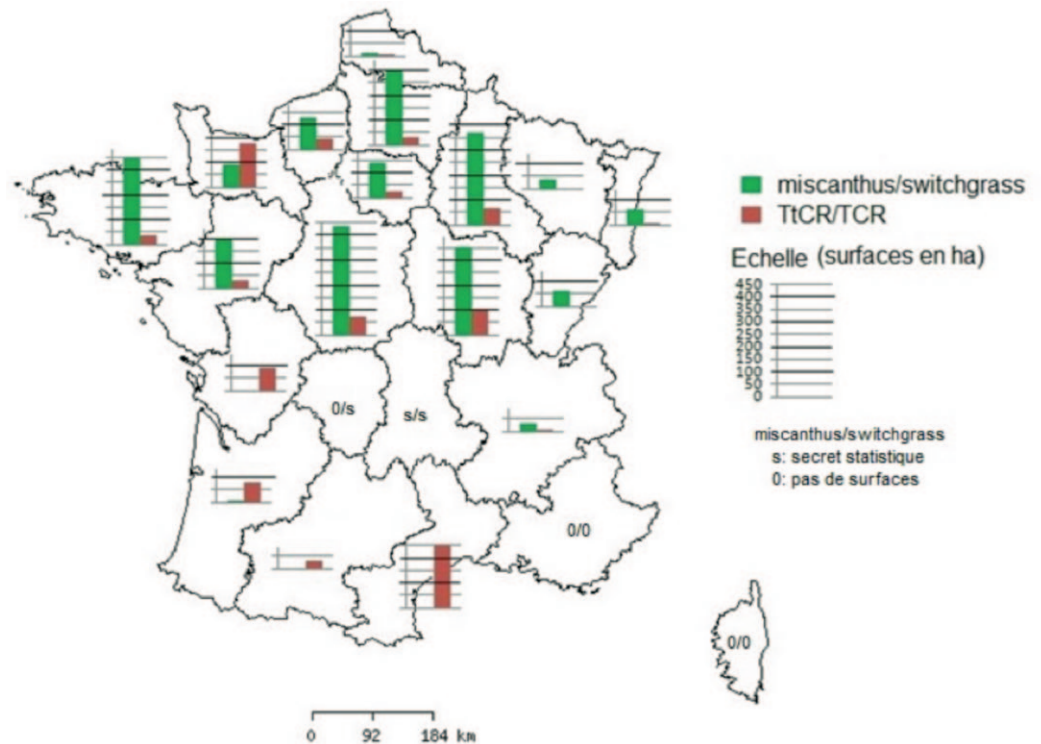
Un contrat signé dès la plantation assure à un prix garanti le débouché de la matière récoltée. Il définit notamment à l'avance les règles de commercialité de la part du producteur et de l'industriel acheteur de la biomasse.

*Actuellement les efforts consentis dans la recherche (FCBA) ont pour objectif de proposer des nouvelles variétés alliant les meilleures performances sur la croissance et sur la tolérance au froid.*

*Le recours aux techniques issues des biotechnologies permet de venir en appui aux travaux de sélection et de création variétale.*

## IV.2 – Etat des lieux des surfaces cultivées et des sites de valorisation en France

### IV-2.1 Surfaces cultivées en France

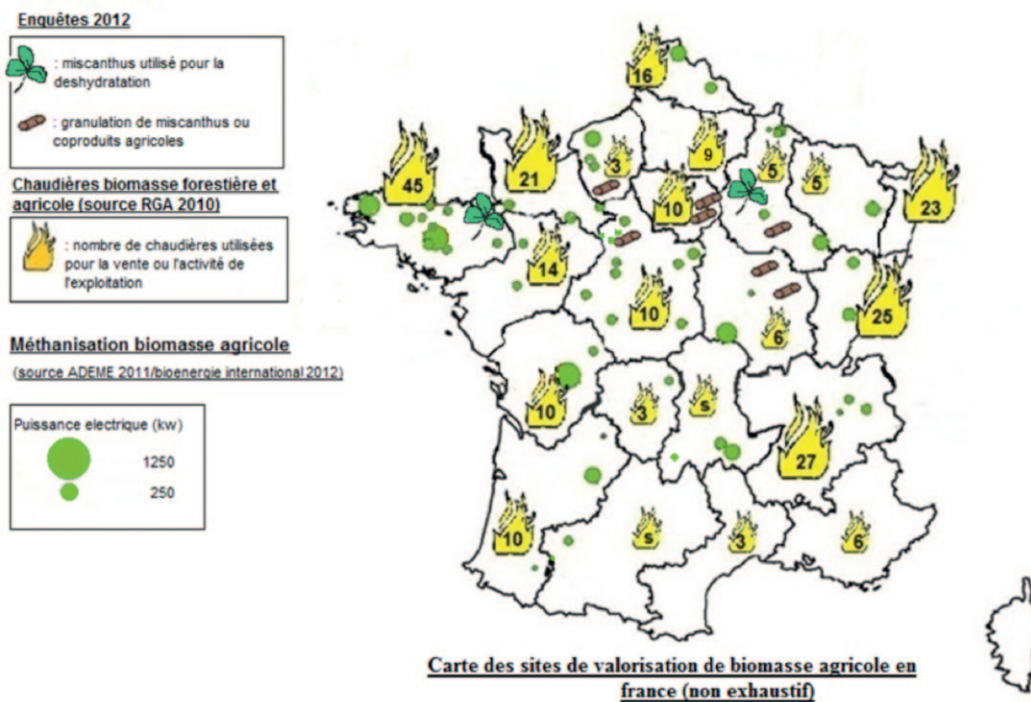


**Surfaces implantées en miscanthus/switchgrass  
et TCR/TtCR en France (données RGA 2010)  
implantations répertoriées au sein des exploitations**

Sur cette carte les données RGA 2010 sont représentées. La colonne verte représente le nombre d'hectares implantés en miscanthus et switchgrass par région. La colonne rouge représente le nombre d'hectares de TtCR et TCR en cultures en 2010. Certaines régions ne possèdent ni miscanthus/switchgrass, ni taillis, elles sont alors renseignées par 0/0. L'Auvergne possédant quelques hectares, les données sont donc soumis au secret statistique. Elle est représentée par s/s. Le Limousin ne possède pas d'hectares en miscanthus/switchgrass mais quelques hectares sont en cultures en taillis soumis au secret statistique. Le Limousin est donc renseigné par 0/s.

Des régions ont des surfaces de miscanthus/switchgrass en cultures et pas (ou très peu, secret statistique) d'hectares de taillis : la Lorraine et la Franche-Comté. D'autres régions possèdent des taillis et pas(ou peu) de miscanthus/switchgrass : le Poitou-Charentes, le Midi-Pyrénées et le Languedoc-Roussillon.

## IV-2.2 Nombre de sites de valorisation de cultures lignocellulosiques en France



Cette carte à été réalisée avec plusieurs sources :

Le nombre de chaudières (251) est issu du recensement agricole 2010. Celui-ci représente les chaudières biomasses en fonctionnement dans les exploitations agricoles, en 2009-2010. On peut supposer que les chaudières consomment pour la plupart, du bois. Selon Bioénergie international, on compte en 2012, 1 827 chaufferies collectives et industrielles en France métropolitaine (à plaquettes, broyats, granulés, paille, voire huiles végétales).

Les sites de méthanisation (54) sont ceux recensés par l'ADEME en novembre 2011.

Les sites de déshydratation et de granulation sont issus d'une enquête réalisée en 2012, dans le cadre d'un stage de 3 mois. Cette enquête s'est effectuée par prise de contact téléphonique auprès des partenaires du RMT Biomasse, des coopératives et conseillers en relation avec les cultures de miscanthus, switchgrass et taillis.

On observe une cohérence avec les surfaces de ces cultures, plutôt implantées dans la moitié nord de la France, et la présence des débouchés de granulation et déshydratation.

# PARTIE V – STRUCTURES IMPLIQUÉES ET PROJETS DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Bien que relativement nombreux, distribués dans les territoires et souvent organisés en réseaux, les acteurs de la filière ligno-cellulosique ne sont pas toujours connus à l'extérieur de leur périmètre professionnel d'action.

Cette partie présente de la façon la plus exhaustive possible, et en les distribuant dans les 6 zones géographiques définies dans la partie II, les structures publiques, parapubliques et privées intervenant dans la filière ligno-cellulosique en France. Elle recense également quelques projets de recherche et développement aboutis ou en cours sur le thème de la biomasse agricole.

Ces listes de structures et projets sont à jour en date de restitution du projet Lignoguide (printemps 2013). Le lecteur comprendra que, les années passant, ce ne sera plus nécessairement le cas.

**V.1 Structures impliquées  
dans la promotion, la production  
ou l'utilisation de cultures  
ligno-cellulosiques**

*Rédacteur : Elodie NGUYEN (Chambre régionale d'agriculture de Picardie)*

**V.2 Projets de recherche  
et développement**

*Rédacteur : Elodie NGUYEN (Chambre régionale d'agriculture de Picardie)*

# V.1 - Structures impliquées dans la promotion, la production ou l'utilisation de cultures ligno-cellulosiques

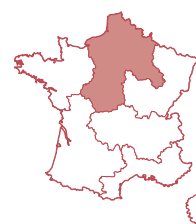


## V-1.1 Interlocuteurs au niveau national

Organisme	Adresse	Téléphone
<b>Association</b>		
Comité de Liaison Energies Renouvelables CLER	2B rue Jules Ferry - 93 100 MONTREUIL	01 55 86 80 00
<b>Chambre d'agriculture</b>		
APCA	9 avenue George V - 75 008 PARIS	01 53 57 10 10
<b>Coopérative</b>		
COOP de France	43 Rue Sedaine - CS 91 115 - 75 538 PARIS	01 44 17 57 00
UCFF	9, rue Buffault - 75 009 PARIS	01 73 54 88 00
<b>Développement</b>		
CNPF	47 rue de Chaillot - 75 116 PARIS	01 47 20 68 15
<b>Institut technique</b>		
ITB	45 rue de Naples - 75 008 PARIS	01 42 93 13 38
ARVALIS-Institut du Végétal	3, rue Joseph et Marie Hackin - 75 116 PARIS	01 44 31 10 00
FCBA	10 Avenue de Saint-Mandé - 75 012 PARIS	03 80 36 36 20
ACTA	149, rue de Bercy - 75 595 Paris cedex 12	01 40 04 50 00
CETIOM	Avenue Lucien Brétignières - 78 850 THIVERVAL-GRIGNON	01 30 79 95 00
<b>Recherche</b>		
UMR INRA/AgroParisTech Agronomie, Grignon	UMR 211 Agronomie - INRA Agro Paris Tech - 78 850 THIVERVAL-GRIGNON	01 30 81 54 20
UMR INRA/AgroParisTech EGC, Grignon	AgroParisTech - Unité Mixte de Recherche Environnement et Grandes Cultures - 78 850 THIVERVAL-GRIGNON	01 30 81 55 55
UMR INRA/AgroParisTech Economie Publique, Grignon	Avenue Lucien Brétignières - 78 850 THIVERVAL-GRIGNON	01 30 81 53 30
<b>Service de l'état et assimilé</b>		
ADEME	6-8 rue Jean Jaurès - 92 807 PUTEAUX Cedex	01 49 01 45 47



## V-1.2 Interlocuteurs de la zone « Centre-Nord »

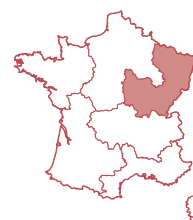


Organisme	Adresse	Téléphone
<b>Association</b>		
Agro Transfert Ressources et Territoires	2 chaussée Brunehaut - F - 80200 ESTRÉES-MONS	03 22 97 89 28
FDGEDA Cher	2701 Route d'Orléans - 18230 SAINT-DOULCHARD	02 48 23 46 00
VALBIOM Centre	5 bis avenue Marcel Proust - 28000 CHARTRES	02 37 84 20 00
<b>Chambre d'agriculture</b>		
CDA Indre et Loire	38 rue Augustin Fresnel - BP 50 139 - 37 171 CHAMBRAY-LÈS-TOURS Cedex	02 47 48 37 37
CDA Loiret	13 avenue des droits de l'Homme - 45 921 ORLÉANS Cedex 9	02 38 71 90 10
CDA Cher	2701 route d'Orléans - Maison de l'agriculture - 18230 SAINT-DOULCHARD	02 48 23 04 00
CDA Seine-Maritime	Chemin de la Bretèque - Cité de l'agriculture - BP 59 - 76232 BOIS-GUILLAUME Cedex	02 35 59 47 47
CDA Eure	5 rue de la petite cité - BP 882 - 27 008 ÉVREUX Cedex	02 32 78 80 00
CRA Picardie	19 bis rue Alexandre Dumas - 80096 AMIENS cedex 3	03 22 33 69 00
CDA Somme(80)	19 bis rue Alexandre Dumas - 80096 AMIENS cedex 3	03 22 33 69 00
CDA Aisne (02)	1 rue René Blondelle - 02007 LAON Cedex	03 23 22 50 50
CDA Oise (60)	Rue Frère Gagne - BP 40463 - 60021 BEAUVAIS Cedex	03 44 11 44 11
CRA Champagne-Ardenne	Complexe agricole du Mont-Bernard - Route de Suippes - 51000 CHALONS-EN-CHAMPAGNE	03 26 65 18 52
CDA Marne (51)	Route de Suippes - Complexe agricole du Mont Bernard - BP 525 - 51009 CHALONS-EN-CHAMPAGNE Cedex	03 26 64 08 13
CDA Haute-Marne (52)	26 avenue du 109° RI - Maison de l'agriculture - 52011 CHAUMONT Cedex	03 25 35 00 60
CRA NPDC (59) et (62)	140 boulevard de la liberté - BP 1 177 - 59013 LILLE Cedex	03 28 54 00 59
	56 ave de Salengro - BP 80039 - 62051 SAINT LAURENT DE BLANGY Cedex	03 28 54 00 62
CDA Aube (10)	2 bis rue Jeanne d'Arc - BP 4080 - 10014 TROYES Cedex	03 25 43 72 72
<b>Coopérative</b>		
COOP de France Nord Bassin Parisien	6 place des droits de l'Homme - 02005 LAON	Picardie : 03 23 79 22 38
	44 rue du Louvres - 75001 PARIS *140 Boulevard de la liberté - BP 1 177 - 59013 LILLE Cedex	Nord pas de Calais : 03 20 88 67 00
Axérial	65 67 Avenue De Lattre De Tassigny - 18000 BOURGES	02 48 21 82 00
Coopénergie Picardie	6 Place des Droits de l'Homme - BP 126- 02005 LAON Cedex	03 23 80 06 96
Vivescia	2, rue Clément Ader - BP 1017 - 51685 REIMS Cedex	03 26 78 62 00
EuroLuz Ardennes	route Rethel - 08310 PAUVRES	03 24 30 73 00

InVivo	83-85 avenue de la Grande Armée - 75782 PARIS Cedex 16	01 40 66 22 22
<b>Développement</b>		
CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE	Maison de la Forêt et du Bois - Complexe Agricole du Mont Bernard - Route de Suippes - 51 000 CHALONS-EN-CHAMPAGNE	03 26 65 18 25
CRPF ÎLE-DE-FRANCE - CENTRE	43 rue du Bœuf Saint-Paterne - 45 000 ORLÉANS	02 38 53 07 91
CRPF NORD/PAS-DE-CALAIS/ PICARDIE	96 rue Jean Moulin - 80 000 AMIENS	03 22 33 52 00
CRPF NORMANDIE	1 rue Georges Clémenceau - CS 20 600 - 76 235 BOIS-GUILLAUME Cedex	02 35 12 25 80
<b>Enseignement</b>		
EPLEFPA Oise LEGTA Airion	Lycée Agricole d'Airion - 60 600 AIRION	03 44 50 84 40
EPLEFPA Loiret LEGTA Chesnoy Loiret (45)	2 190 Avenue d'Antibes - 45 200 AMILLLY	02 38 89 80 00
EPLEFPA Tilloy-lès-Mofflaines Pas-de-Calais	1 Route de Cambrai - 62 217 TILLOY-LES-MOFFLAINES	03 21 60 73 00
EPLEFPA Rethel Ardennes	Route de Novion 08 300 RETHEL	03 24 39 60 00
Institut de Genech	Rue de la Libération 59 242 GENECH	03 20 84 57 08
ISA Lille	48 boulevard Vauban - 59 046 LILLE Cedex	03 28 38 48 48
ESITPA	3 rue du Tronquet - CS 40 118 - 76 134 MONT-SAINT-AIGNAN Cedex	02 32 82 92 00
<b>Institut technique</b>		
ITB Somme (80)	19 bis rue Alexandre Duma - 80 096 AMIENS cedex 3	03.22.93.42.01
ITB Oise	2 avenue du Maréchal Foch - 60 190 ESTRÉES-SAINT-DENIS	03 44 23 19 67
ITB Aisne	Pôle du Griffon - 180 rue Pierre Gilles de Gennes - 02 000 BARENTON BUGNY	03 23 24 23 85
Pôle IAR	50 – 52 Boulevard Brossolette - BP 05 - 02 930 LAON Cedex	03 23 23 25 25
ITB Champagne - Yonne	2 rue Léon Patoux - 51 100 REIMS	03 26 61 85 61 03 25 73 77 37
<b>Recherche</b>		
US INRA Agro-Impact Laon (02)	Rue Fernand Christ - 02 007 LAON Cedex	03 23 24 07 77
UMR INRA/USTL SADV, Estrées-Mons	2, chaussée Brunehaut - Estrées-Mons BP 50 136 - 80 203 PERONNE Cedex	03 22 85 75 00
UMR INRA/URCA FARE, Reims	CREA - 2, esplanade Roland Garros - BP 224 - 51 686 REIMS Cedex 2	03 26 77 35 92
Fibres Recherche Développement (10)	Technopole de l'Aube en Champagne - Hôtel de Bureaux 2 - B.P. 601 - 10 901 TROYES cedex 9	03 25 83 41 90
<b>Service de l'Etat et assimilé</b>		
ADEME DR Centre	22 rue d'Alsace-Lorraine - 45 058 ORLÉANS Cedex 1	02 38 24 00 00
ADEME DR Champagne-Ardenne	116 avenue de Paris - 51 038 CHALONS-EN-CHAMPAGNE	03 26 69 20 96
ADEME DR Haute-Normandie	« Les Galées du Roi » - 30 rue Gadeau de Kerville - 76 100 ROUEN	02 35 62 24 42
ADEME DR Île-de-France	6-8 rue Jean Jaurès - 92 807 PUTEAUX Cedex	01 49 01 45 47

Ademe DR Nord-Pas-de-Calais	Centre tertiaire de l'Arsenal - 20 rue du Prieuré - 59 500 DOUAI	03 27 95 89 70
ADEME DR Picardie	67 avenue d'Italie - immeuble APOTIKA - 80094 AMIENS Cedex 03	03 22 45 18 90
SNA Réseau performance énergétique des exploitations (MAAF/DGER)	1 ter avenue de Lowendal - 75 700 PARIS 07 SP	01 61 08 68 94
<b>Société</b>		
Sofiproteol	11, rue de Monceau - CS 60003 - 75 378 PARIS Cedex 08	01 40 69 48 00
UCDV (27)	Rue de la déshydratation - 27 150 SAUSSAY-LA-CAMPAGNE	02 32 55 85 34
TRAME	6, rue de la Rochefoucauld - 75 009 PARIS	01 44 95 08 00
Novabiom (28)	Ferme de Vauventriers - 28 300 CHAMPHOL	02 37 21 47 00
BES 77	Ferme de Mazagran - 77 250 EPISY	01 64 24 93 50
Bionis environnement	242, rue du Faubourg d'Arras - 59 000 LILLE	03 20 53 29 16

### V-1.3 Interlocuteurs de la zone « Nord-Est »



Organisme	Adresse	Téléphone
<b>Chambre d'agriculture</b>		
CDA Vosges (88)	La Colombière -Rue André Vitu - 88 026 EPINAL Cedex	03 29 29 23 23
CRA Lorraine	9 rue de La Vologne - Bâtiment i - 54 520 LAXOU	03 83 96 80 60
CDA Bas-Rhin (67)	2 rue de Rome -Espace européen de l'entreprise - Schiltigheim - BP 30022 - 67 013 STRASBOURG Cedex	03 88 19 17 17
CDA Haut-Rhin (68)	11 rue Jean Mermoz - BP 38 - 68 127 SAINTE-CROIX-EN-PLAINE	03 89 20 97 00
CDA Haute-Saône (70)	17 quai Yves Barbier - Maison des agriculteurs - BP 189 - 70 004 VESOUL Cedex	03 84 77 14 00
CRA Bourgogne (21)	3 rue du golf - 21 800 QUETIGNY	03 80 48 43 00
CDA Meurthe-et-Moselle (54)	5 rue de la Vologne - 54 520 LAXOU	03 83 93 34 10
<b>Coopérative</b>		
Forêts et bois de l'Est	17 rue André Vitu - 88 000 EPINAL	03 29 29 11 20
<b>Développement</b>		
CRPF BOURGOGNE	18 boulevard Eugène Spuller - 21 000 DIJON	03 80 53 10 00
CRPF FRANCHE-COMTE	20 rue François Villon - 25 041 BESANCON Cedex	03 81 51 98 00
CRPF LORRAINE-ALSACE	41 avenue du Général de Gaulle - 57 050 LE BAN-SAINT-MARTIN	03 84 31 18 42
<b>Institut technique</b>		
ITB Champagne - Yonne	2 rue Léon Patoux - 51 100 REIMS	03 26 61 85 61 03 25 73 77 37
FCBA Délégation territoriale nord-est	60 route de Bonnencontre - 21 170 CHARREY-SUR-SAÔNE	03 80 36 36 20

Recherche		
UR INRA ASTER, Mirecourt	Station S.A.D. - Domaine du Joly - 662 avenue Louis Buffet - 88 500 MIRECOURT	03 29 38 55 00
UMR INRA/Université de Lorraine EEF, Nancy	INRA - Nancy - Allée de l'Arboretum - 54 280 CHAMOENOUX	03 83 39 40 41
Service de l'état et assimilé		
ADEME DR Alsace	8 rue Adolphe Seyboth - 67 000 STRASBOURG	03 88 15 46 46
ADEME DR Bourgogne	1C, boulevard de Champagne - Tour Elithis - BP 51 562 - 21 015 DIJON Cedex	03 80 76 89 76
ADEME DR Franche Comté	25 rue Gambetta - BP 26 367 - 25 018 BESANCON Cedex 6	03 81 25 50 00
ADEME DR Lorraine	34 avenue André Malraux - 57 000 METZ	03 87 20 02 90
Société		
Bourgogne pellets 21	La Sucrierie - 21 110 AISEREY	03 80 63 01 56
VDM énergie verte 54	14 route de Fraimbois - 54 830 GERBEVILLER	03 83 73 53 24



## V-1.4 Interlocuteurs de la zone « Ouest »

Organisme	Adresse	Téléphone
Association		
AILE Bretagne	73 rue de Saint-Brieuc - CS 56 520 - 35 065 RENNES Cedex	02 99 54 63 23
Chambre d'agriculture		
CRA Bretagne	Rond-point Maurice Le Lannou - ZAC Atalante-Champeaux - CS 74 223 - 35 042 RENNES Cedex	02 23 48 23 23
CDA Orne	52 boulevard du 1 <sup>er</sup> chasseur - BP 36 - 61 001 ALENCON Cedex	02 33 31 48 00
CDA Calvados	4 promenade Madame de Sévigné - 14 050 CAEN Cedex 4	02 31 70 25 25
CDA Manche	Avenue de Paris - Maison de l'agriculture - 50 009 SAINT-LO Cedex	02 33 06 48 48
Coopérative		
Coopédodom CVDA Ile-et-Vilaine	11 rue Louis Raison - 35 113 DOMAGNE	02 99 00 05 59
Développement		
CRPF BRETAGNE	8 place du Colombier - 35 000 RENNES	02.99.30.00.30
CRPF PAYS-DE-LA-LOIRE	8 Avenue de la Bouvardière - 44 800 SAINT-HERBLAIN	02.40.76.84.35
CRPF NORMANDIE	1 rue Georges Clémenceau - BP 20 600 - 76 235 BOIS-GUILLAUME Cedex	02.31.53.90.00
Recherche		
UR INRA AGPF, Orléans	2 163 avenue de la Pomme de Pin - CS 40 001 - Ardon - 45 075 ORLÉANS Cedex 2	02 38 41 78 00

Recherche et Développement		
Station expérimentale de la Jaillière	BP 32 - 44 370 LA CHAPELLE-SAINT-SAUVEUR	02 40 98 65 00
Service de l'état et Assimilé		
ADEME DR Basse-Normandie	CITIS - Le Pentacle - 5 avenue de Tsukuba - BP 10210 - 14209 HEROUVILLE-SAINT-CLAIR Cedex	02 31 46 81 00
ADEME DR Bretagne	33 boulevard Solférino - CS41 217 - 35012 RENNES Cedex	02 99 85 87 00
ADEME DR Pays-de-Loire	BP 90302 - 44203 NANTES Cedex 2	02 40 35 68 00
Société		
Sidesup (45)	12 rue du Moulin - 45300 ENGEVILLE	02 38 32 80 00

## V-1.5 Interlocuteurs de la zone « Centre-Est »



Organisme	Adresse	Téléphone
Chambre d'agriculture		
CRA Rhône-Alpes	23 rue Jean Baldassini - 69364 LYON Cedex 07	04 72 72 49 10
Coopérative		
COOP de France Centre Atlantique Limousin	Maison Régionale de l'Agriculture - Boulevard des Arcades - 87060 LIMOGES Cedex 2	05 55 79 6 73
Coforêt	Route de Lyon - 69870 LAMURE-SUR-AZERGUES	04 74 03 14 38
Développement		
CRPF AUVERGNE	lieu-dit Marmilhat - 63370 LEMPDES	04 73 98 71 20
CRPF LIMOUSIN	SAFRAN - 2 avenue Georges GUINGOUIN - CS 80912 PANAZOL - 87017 LIMOGES Cedex 1	05 87 50 42 00
CRPF RHONE-ALPES	Parc de Crécy - 18 avenue du Général de Gaulle - 69771 SAINT-DIDIER-AU-MONT-D'OR Cedex	04 72 53 60 90
CDA Cantal (15)	26 rue du 139 <sup>e</sup> Régiment d'Infanterie - BP 239 - 15002 AURILLAC Cedex	04 71 45 55 00
Institut technique		
FCBA Délégation territoriale centre-ouest	Domaine des Vaseix - 87430 VERNEUIL-SUR-VIENNE	05 55 48 48 10
Service de l'état et assimilé		
ADEME DR Auvergne	63 boulevard Berthelot - 63000 CLERMONT-FERRAND	04 73 31 52 80
ADEME DR Limousin	38 ter avenue de la Libération - BP 20259 - 87007 LIMOGES Cedex 1	05 55 79 39 34
ADEME DR Rhône-Alpes	10 rue des Emeraudes - 69006 LYON	04 72 83 46 00



## V-1.6 Interlocuteurs de la zone « Sud-Est »

Organisme	Adresse	Téléphone
<b>Chambre d'agriculture</b>		
CDA Aude (11)	Trèbes - Zone d'activités de Sautès - 11 878 CARCASSONNE Cedex 09	04 68 11 79 79
CRA PACA	Avenue Henri Pontier - Maison des agriculteurs - 13 626 AIX-EN-PROVENCE Cedex	04 42 17 15 00
CRA Languedoc-Roussillon (34)	Mas de Saporta - Maison des Agriculteurs - CS 30 012 - 34 875 LATTES Cedex	04 67 20 88 63
<b>Coopérative</b>		
Arterris PACA	Loudes 11 451 CASTELNAUDARY Cedex	04 68 94 44 22
<b>Développement</b>		
CRPF LANGUEDOC- ROUSSILLON	78 rue de la Galéra - Parc Euromédecine I - BP 4 228 - 34 097 MONTPELLIER Cedex 5	04.67.41.68.10
CRPF PROVENCE (ALPES/COTE D'AZUR)	7 impasse Ricard Digne - 13 004 MARSEILLE	04.95.04.59.04
<b>Enseignement</b>		
EPLEFPA Bouches du Rhone LEGTA Aix Valabre	Chemin du Moulin du Fort - 13 120 GARDANNE	04 42 65 43 20
<b>Institut technique</b>		
FCBA Délégation territoriale sud-est	Domaine Universitaire - BP 251 - 38 044 GRENOBLE Cedex	04.76.15.40.70
<b>Service de l'état et assimilé</b>		
ADEME DR Languedoc Roussillon	Résidence Antalya - 119 avenue Jacques Cartier - 34 965 MONTPELLIER Cedex 2	04 67 99 89 79
ADEME DR Provence-Alpes-Côte d'Azur	2 boulevard de Gabès - BP 139 - 13 267 MARSEILLE Cedex 08	04 91 32 84 44

## V-1.7 Interlocuteurs de la zone « Sud-Ouest »



Organisme	Adresse	Téléphone
<b>Chambre d'agriculture</b>		
ATIPA Vienne	Agropole - Route de Chauvigny - BP 50 002 - 86 550 MIGNALOUX-BEAUVOIR	05 49 44 74 74
<b>Chambre d'agriculture</b>		
CRA Poitou-Charentes	Agropole - Route de Chauvigny - BP 50 002 - 86 550 MIGNALOUX-BEAUVOIR	05 49 44 74 74
CDA Charente Maritime (17)	2 avenue de Fétilly - 17 074 LA ROCHELLE Cedex 9	05 46 50 45 00
<b>Coopérative</b>		
COOP de France Aquitaine	Europarc - 3 avenue Léonard de Vinci - 33 608 PESSAC Cedex	05 56 00 78 60
EURALIS Pyrénées-Atlantiques	Avenue Gaston Phoebus - 64 231 LESCAR Cedex	05 59 92 38 38
CAFSA	63, rue Ernest Renan - 33 082 BORDEAUX Cedex	05 40 120 100
Cofogar	125 ch. de Tournefeuille - BP 13 112 - 31 500 TOULOUSE	05 40 12 05 40
<b>Développement</b>		
CRPF MIDI-PYRÉNÉES	Maison de la Forêt - 7 chemin de la Lacade - 31 320 AUZEVILLE-TOLOSANE	05 61 75 42 00
CRPF POITOU-CHARENTES	15, rue de la Cadoue, BP10 - 86 240 SMARVES	05 49 52 23 08
CRPF AQUITAINE	6 parvis des Chartrons - 33 075 BORDEAUX Cedex	05 56 01 54 70
Station Inter-Instituts Baziège(31)	6 Chemin de la Côte Vieille - 31 450 BAZIEGE	05 62 71 79 58
<b>Institut technique</b>		
FCBA Délégation territoriale sud-ouest	Allées de Boutaut - BP 227 - 33 028 BORDEAUX Cedex	05 56 79 95 00
<b>Service de l'état et assimilé</b>		
ADEME DR Aquitaine	6 quai de Paludate - 33 080 BORDEAUX Cedex	05 56 33 80 00
ADEME DR Midi Pyrénées	Technoparc Bât.9 - 1 202 rue l'Occitane - 31 670 LABEGE	05 62 24 35 36
ADEME DR Poitou Charentes	60 rue Jean Jaurès - CS 90 452 - 86 011 POITIERS Cedex	05 49 50 12 12
<b>société</b>		
RAGT energie (81)	Route de Fauch - 81 000 Albi	05 63 36 91 46
Smurfit Kappa Cellulose du pin(33)	Allée des fougères - 33 380 BIGANOS	05 56 03 88 00
Gascoigne Paper (40)	B.P. n°8 - 40 201 MIMIZAN Cedex	05 58 09 90 00

## V-2 Projets de recherche et développement sur les cultures ligno-cellulosiques

Projet (intitulé)	Sujet	Financeur et période de réalisation	Echelle étudiée	Partenaires
<b>ANABIO/BIOMAP</b>	(ANABIO pour ANALyse environnementale et socio-technico-économique des filières de production d'énergie à partir de BIOMasse) : Evaluation multicritère des filières bioénergies Analyse environnementale, socio technico économique et évaluation des risques des filières bioénergies : applications pratiques à différentes problématiques (BIOMAP)	PNRB 2005/ ANR 2007 puis ANR 2008/2010	Nationale	<u>Pilote</u> : IFP Energies nouvelles <u>Partenaires</u> : INRA, FCBA, Total, CEA, Renault et Air Liquide, puis Peugeot Citroen, INERIS, GIE ARVALIS/ONIDOL, EDF
<b>BIOMAGRI</b>	Evaluation des conditions nécessaires à l'insertion de cultures dédiées à vocation énergétique au sein d'une exploitation agricole	Fondation Tuck/ Enerbio/fin 2007 début 2011	Nationale	<u>Pilote</u> : FCBA <u>Partenaires</u> : In Vivo
<b>BioTfuel</b>	Développement d'une chaîne de production de biocarburants de 2 <sup>e</sup> génération de type gazole et kérosène	ADEME/Conseil Régional de Picardie 2009	Régionale : Picardie	Axens, CEA, IFP, Sofiproteol, Total, Uhde GmbH (ThyssenKrupp)
<b>CIBIOM</b>	Optimisation de la ressource en biomasse issue de cultures intermédiaires intégrées dans des systèmes alimentaires : concevoir et évaluer les conditions d'intégration de ces cultures dédiées dans les systèmes de production et de cultures actuels	Fondation Tuck/Enerbio, 2010/13	Suprarégionale : Nord (Picardie), Sud (Midi-Pyrénées)	<u>Pilote</u> : ARVALIS-Institut du végétal <u>Partenaires</u> : CETIOM, SOLAGRO, avec la participation de Arterris et Coopenergie®
<b>CLIMAQ</b>	Adaptation des forêts au changement climatique et expérimentation concernant les plantations forestières à but énergétiques	CR Aquitaine/ Octobre 2008 à décembre 2012.	Régionale : Aquitaine	<u>Pilote</u> : CRPF Aquitaine <u>Partenaires</u> : FCBA, CAFSA, DRAAF A, INRA, ETFA



Champ d'étude	objectif	Cultures étudiées	Résultats disponibles (au 31 décembre 2012)
Agronomique, économique et environnemental	Mettre en place un outil méthodologique d'évaluation multicritère des filières bioénergies pour permettre la comparaison sur une même base des différentes filières bioénergies.	Les cultures ligno-cellulosiques en général	<a href="http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/publications/etudes-disponibles/anabio-biomap-un-guide-pour-l-evaluation-multicriteres-de-filieres-bioenergies">http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/publications/etudes-disponibles/anabio-biomap-un-guide-pour-l-evaluation-multicriteres-de-filieres-bioenergies</a> : Recommandations méthodologiques et études de cas sur l'évaluation multicritères des filières bioénergies.
Agronomique, technique, environnemental et économique	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Installer 4 sites expérimentaux avec des cultures énergétiques pérennes, en comparaison avec des cultures agricoles annuelles</li> <li>2) Collecter des données de production ainsi que des données environnementales</li> <li>3) Evaluer la faisabilité économique pour un agriculteur de produire de la biomasse à vocation énergétique à partir de cultures pérennes dédiées TCR/TTCR/miscanthus</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TCR/TTCR peuplier et eucalyptus</li> <li>- Miscanthus</li> </ul>	<a href="http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2007/pop-up-2007-P01.html">http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2007/pop-up-2007-P01.html</a>
Agronomique, technique, et économique	BioTfuel a pour objectif le développement d'une chaîne complète de procédés industriels permettant l'utilisation d'une très large variété de biomasse.	Paille, résidus forestiers, cultures dédiées	Diffusion des résultats à venir. <a href="http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/actualites/dossiers/biogazole-et-biokerosene-de-2e-generation-ifpen-partenaire-du-projet-biotfuel">http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/actualites/dossiers/biogazole-et-biokerosene-de-2e-generation-ifpen-partenaire-du-projet-biotfuel</a>
Agronomique, technique, environnemental et économique	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Comparer les rotations avec introduction de CIVE dans les assolements.</li> <li>2) Evaluer la composition physico chimique et adéquation du procédé</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CIVE Hiver/ immatures : Triticale ou association triticales légumineuse, féverole, colza</li> <li>- CIVE Eté : Sorgho biomasse, céréale de printemps</li> </ul>	Diffusion des résultats à venir : Analyse et évaluation économiques et environnementales. <a href="http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2010/pop-up-2010-P02.html">http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2010/pop-up-2010-P02.html</a>
Agronomique, technique et économique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification d'espèces adaptées aux conditions pédoclimatiques actuelles et futures d'Aquitaine,</li> <li>- Identification et expérimentations sur de nouveaux concepts de culture (TCR et semi-dédiés),</li> <li>- Evaluation économique de différents scénarios "biomasse",</li> <li>- Mettre au point le RT d'admission et inscription de nouvelles variétés d'eucalyptus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TCR/TTCR eucalyptus, peuplier, robinier,</li> <li>- P. maritime et P. taeda</li> <li>- Diverses espèces résineuses à fort potentiel</li> </ul>	Diffusion des résultats à venir. <a href="http://www.crpfaquitaine.fr/docs/files/climaqpresentation.pdf">http://www.crpfaquitaine.fr/docs/files/climaqpresentation.pdf</a>

Projet (intitulé)	Sujet	Financeur et période de réalisation	Echelle étudiée	Partenaires
CULIEXA	Analyse des déterminants techniques et socio-économiques au développement des cultures de biomasse ligneuse dans les exploitations agricoles	Fondation Tuck/ Enerbio mai 2007-mai 2008 (CULIEXA I) janvier 2009-décembre 2009 (CULIEXA II)	Nationale, territoire pilote sur Poitou-Charentes et Languedoc-Roussillon	<u>Pilote</u> : FCBA <u>Partenaires</u> : INRA (UMR Economie publique, UMR environnement des grandes cultures) Chambre régionale d'agriculture du Languedoc-Roussillon Chambre d'agriculture de la Charente
ECOBIO	Une approche socio-économique et environnementale de l'offre de biomasse lignocellulosique	PNRB 2005 (2006-2009)	Nationale/paramétrage régional	<u>Pilote</u> : FCBA <u>Partenaires</u> : GATE-CNRS, INRA, GIE ARVALIS/ONIDOL, ONF et UCFF
ECOTEC 21	Etudier, tester et évaluer le développement de la cogénération à base de ressources renouvelables pour équiper des habitations et des locaux publics	INTERREG IV A France (Manche)-Angleterre 2010-2015	Européen	<u>Pilote</u> : Medway County Council <u>Partenaires</u> : Medway County Council, Hampshire County Council, University of Greenwich, Remade South East, Agence de Développement et d'Urbanisme du Grand Amiénois (Aduga), Agro-Transfert Ressources et Territoires, Amiens Métropole, Chambre d'agriculture de la Somme, Habitat du Littoral Boulogne-sur-Mer, Université de Picardie Jules Verne, Université de Caen Basse Normandie
EMERGE	Des évaluations compatibles de volumes, biomasses et minéralomasses en forêt : vers une gestion comptable et durable du bois énergie	ANR - Décembre 2008 à Décembre 2012	Nationale	<u>Pilote</u> : ONF <u>Partenaires</u> : FCBA, INRA Lerfob, INRA BEF, Irstea, CNPF, IFN, Cirad
ENERBIOM	Etude de la faisabilité agronomique des cultures dédiées (potentialités)	Interreg IV A-Grande région 2008-2011	Echelle suprarégionale: Lorraine, Luxembourg, Belgique	<u>Pilote</u> : Province de Liège <u>Partenaires</u> : DLR Eifel, CRP-GL Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann, Chambre régionale d'agriculture de Lorraine, Agria Lorraine, TRAME, CRA-W Centre Wallon de Recherches Agronomiques, AGRA-OST Centre de recherche et de vulgarisation agricole pour l'Est de la Belgique, IZES gGmbH
FUTUROL	Développement et commercialisation d'un procédé complet de production de bioéthanol de 2 <sup>e</sup> génération à partir de plantes entières ou de biomasse lignocellulosique	OSEO (2008-2015)	Nationale	<u>Pilote</u> : Procéthol 2G <u>Partenaires</u> : ARD, IFP Energies nouvelles, INRA, Lesaffre, Champagne Céréales, ONF, Tereos, Total, Crédit Agricole Nord Est, CGB, Unigrains

Champ d'étude	objectif	Cultures étudiées	Résultats disponibles (au 31 décembre 2012)
Agronomique et économique	<p>1) Choix des espèces et des sylvicultures en TCR/TTTCR à partir du réseau d'essais FCBA</p> <p>2) Intégration de ces cultures dans les territoires dans 2 zones pilotes (LR et PC)</p>	TCR/TTTCR peuplier, saule, sequoia sempervirens et eucalyptus	<a href="http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/pop-up-2008-P05.html">http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/pop-up-2008-P05.html</a>
Agronomique et économique	Ce projet vise à mettre en place les outils nécessaires pour définir les conditions d'approvisionnement économiquement pérennes et adéquates aux besoins des unités de production de bioénergies, notamment de biocarburants.	Les cultures ligno-cellulosiques en général	<a href="http://www.fcba.fr/ecobiom/index.html">http://www.fcba.fr/ecobiom/index.html</a> : Typologie, Publication, Cartographie de potentiel en biomasse, Cartographie de consommation de biomasse.»
Technique, environnemental	Dans le domaine des énergies renouvelables, le projet vise à étudier et tester les applications de la cogénération et suivre les implications de l'usage de cette technologie en installant des moteurs dans différentes infrastructures existantes pour étudier le bénéfice énergétique en résultant. Il prévoit aussi de faciliter ces installations par le recensement des procédures afférentes et l'établissement de modèles (autorisation d'installation, contrat d'approvisionnement, gestion de l'énergie...) destinés aux autorités locales, universités et gestionnaires d'immeubles. Il prévoit enfin de sensibiliser les usagers, habitants et décideurs.	Produits forestiers et agricoles	Diffusion des résultats à venir. Présentation du projet sur : <a href="http://www.chbg.unicaen.fr/ecotec21/">http://www.chbg.unicaen.fr/ecotec21/</a>
Agronomique et environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compiler l'ensemble des données acquises en matière de tarifs biomasse pour les essences forestières,</li> <li>- Mettre au point des tarifs de biomasse totale et de minéralomasse pour l'ensemble des essences forestières</li> </ul>	Toutes essences et toutes sylviculture	<a href="http://docs.gip-ecofor.org/libre/7_Projet_EMERGE_FNingre.pdf">http://docs.gip-ecofor.org/libre/7_Projet_EMERGE_FNingre.pdf</a>
Agronomique et technique	Définir et diffuser les itinéraires techniques culturaux des sources de biomasse agricole en zones à fortes contraintes environnementales (bassins versants, zone Natura 2000...) ainsi que leurs valorisations énergétiques optimales	Miscanthus, switchgrass, fétuque élevée, chanvre, maïs, sorgho, seigle et épeautre	<a href="http://www.enerbiom.eu/fr/node/124">http://www.enerbiom.eu/fr/node/124</a> : Phytotechnie, énergie (agro-combustion, biométhanisation, bioéthanol 2 <sup>nd</sup> e génération), Outil d'aide à la décision (ENVINECO, SIGENERBIOM).
Agronomique, économique et environnemental	Le projet FUTUROL vise à mettre au point et valider un procédé de production d'éthanol par voie biologique, dit de seconde génération, à partir de la lignocellulose, issue de coproduits agricoles, forestiers, de résidus ou de biomasse dédiée. Le projet intègre un volet de recherche sur la « ressource » visant à fournir des connaissances et des méthodes ou modèles nécessaires à la constitution de bassins d'approvisionnement durables.	Les cultures ligno-cellulosiques en général	Diffusion des résultats à venir. <a href="http://projet-futurol.com/">http://projet-futurol.com/</a>

Projet (intitulé)	Sujet	Financeur et période de réalisation	Echelle étudiée	Partenaires
Gaya	Production de « méthane vert »	ADEME juin 2010 (7 ans)	Nationale	CEA, CIRAD, CTP, FCBA, ENSTIMAC-RAPSODEE, LRGP, ENSIACET-LGC, UCCS, UCFF et REPOTEC.
LIDEA	Faciliter l'introduction des cultures lignocellulosiques dans les exploitations agricoles des régions Champagne-Ardenne et Picardie	CasDAR 2006	Suprarégionale: Picardie/ Champagne-Ardenne	<u>Pilote</u> : CRA Picardie <u>Partenaires</u> : 7 CDA Champagne-Ardenne-Picardie, organismes stockeurs, lycées agricoles, INRA, CIMV, ARD
LIGNOGUIDE	Aider au développement et au positionnement des cultures énergétiques de façon judicieuse et complémentaire sur le territoire, en limitant la concurrence sur l'usage des terres et en optimisant les bilans environnementaux.	CasDAR 2009	Nationale	<u>Pilote</u> : CRA Picardie <u>Partenaire</u> : Arvalis – Institut du végétal, FCBA, INRA, AgroTransfert Ressources et Territoires, Chambres d'Agriculture de Poitou-Charentes, Chambres Départementales d'Agriculture 02, 27, 45, 60, 68, EPIS-CENTRE et Arterris, Exploitations agricoles des lycées agricoles d'Aix-Valabre et du Chesnoy
MECABIOFOR	Mécanisation et optimisation des techniques de production et d'exploitation de biomasse forestière issue de cultures dédiées ou semi-dédiées	ANR/Janvier 2011 (36 mois)	Nationale	<u>Pilote</u> : FCBA <u>Partenaires</u> : IRSTEPA, UCFF, Fibre excellence R&D, Smurfit Kappa CDP
Miscanthus - Centre	Impact écologique de l'insertion de Miscanthus et Panicum en région Centre à travers les populations de carabes	France AgriMer/ CPER Centre 2008-2014	Région Centre	<u>Pilote</u> : CA37 <u>Partenaire</u> : ETL
Miscanthus - Centre	Impact Paysager de l'insertion de parcelles de miscanthus gigantes et panicum virgatum dans les espaces de la région Centre.	France AgriMer/ CPER Centre 2008-2015	Région Centre	<u>Pilote</u> : CA37 <u>Partenaire</u> : Champs Energies

Champ d'étude	objectif	Cultures étudiées	Résultats disponibles (au 31 décembre 2012)
Technique et économique	Développer une industrie innovante de production de bio méthane Valider la pertinence technique de ce procédé pour son industrialisation	Cultures dédiées	Diffusion des résultats à venir. <a href="http://www2.ademe.fr/servlet/doc?id=82654&amp;view=standard">http://www2.ademe.fr/servlet/doc?id=82654&amp;view=standard</a>
Agronomique, technique, économique et environnemental	1) Mettre au point et diffuser des itinéraires techniques 2) Déterminer les modalités d'introduction technico-économiques des cultures dans les exploitations	Miscanthus, switchgrass, sorgho, TCR et TTCR	<a href="http://www.inra.fr/ciag/content/download/4358/.../Vol17-9-Hopquin.pdf">www.inra.fr/ciag/content/download/4358/.../Vol17-9-Hopquin.pdf</a> ; <a href="http://www.champagricra.fr/IMG/pdf/7._G_Heyman_E_Defossez_CRA_lidea_29_avril_2010_reims.pdf">http://www.champagricra.fr/IMG/pdf/7._G_Heyman_E_Defossez_CRA_lidea_29_avril_2010_reims.pdf</a> ; <a href="http://www.champagricra.fr/IMG/pdf/4._O_Sene_cda02_bilan_lidea_29_avril_2010_reims.pdf">http://www.champagricra.fr/IMG/pdf/4._O_Sene_cda02_bilan_lidea_29_avril_2010_reims.pdf</a> ; Scénarii d'introduction des cultures biomasse dans les systèmes d'exploitation et impact technico économique et environnemental.
Agronomique, technique, environnemental et économique	1) Définir les aires de production pour les nouvelles cultures comparer les cultures lignocellulosiques 2) Construire un guide multi-entrées permettant d'optimiser le choix des cultures énergétiques à mettre en place en fonction des exigences locales 3) Elaborer une méthode de diagnostic agronomique pour les nouvelles culture	Les cultures lignocellulosiques, avec un zoom sur miscanthus, switchgrass et sorgho	<a href="http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/lignoguide.html">http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/lignoguide.html</a> : Guide d'aide aux choix des cultures lignocellulosiques, Fiches exemplaires de valorisation de la biomasse, Articles scientifiques ou publications, Actes du colloque.
Agronomique, technique, et économique	Améliorer la mécanisation des opérations pour la plantation, les entretiens et la récolte des cultures ligneuses dédiées (TCR et TTCR) et semi-dédiées	- TCR/TTCR peuplier, saule, robinier, eucalyptus - Peuplements semi-dédiés pin maritime	Diffusion des résultats à venir. <a href="http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?tx_lmwsuivibilan_pi2[CODE]=ANR-10-BIOE-0006">http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?tx_lmwsuivibilan_pi2[CODE]=ANR-10-BIOE-0006</a>
Agronomie et environnement	Evolution des populations de carabes suite à l'introduction de miscanthus et de switchgrass dans deux lieux d'origines différents, une jachère longue durée et une parcelle d'orge. Recommandations.	Switchgrass, miscanthus	<a href="http://www.champs-energies.com/documents/etudes/etude_entomologique.pdf">http://www.champs-energies.com/documents/etudes/etude_entomologique.pdf</a> <a href="http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/fileadmin/documents/publications/energie_biomasse/RMT_biomasse/OE_3.2_oral_bioviversite_CDA_37_CB.pdf">http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/fileadmin/documents/publications/energie_biomasse/RMT_biomasse/OE_3.2_oral_bioviversite_CDA_37_CB.pdf</a> <a href="http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=5710">http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=5710</a>
Agronomie et environnement	Diagnostic et propositions pour l'intégration paysagère des cultures de miscanthus et switchgrass en région centre.	Switchgrass, miscanthus	<a href="http://www.chambre-agriculture-28.com/fichiers/documents/sedla_energie/cult_energie/Brochure%20diagnostic%20et%20recommandations.pdf">http://www.chambre-agriculture-28.com/fichiers/documents/sedla_energie/cult_energie/Brochure%20diagnostic%20et%20recommandations.pdf</a> Rapport complet sur demande à : <a href="mailto:christophe.bersonnet@cda37.fr">christophe.bersonnet@cda37.fr</a>

Projet (intitulé)	Sujet	Financeur et période de réalisation	Echelle étudiée	Partenaires
OPTABIOM	Optimiser l'approvisionnement des projets de valorisation non alimentaire de la biomasse végétale d'origine agricole en Picardie, en tenant compte de la spécificité des territoires	France AgriMer/ CPER Picardie 2008-2013	Echelle régionale : Picardie	<u>Pilote</u> : Agro-Transfert Ressources et Territoires <u>Partenaires</u> : AGT-RT, CA02, CA60, CA80, CRAP, FRCA Picardie, Institut Polytechnique Lasalle Beauvais, INRA
OPTIMAL	Optimisation de la culture des ligneux à courte rotation vis-à-vis de la ressource en eau et de la fertilité des sols	Fondation Tuck/ Enerbio 2008 à 2011	Nationale	<u>Pilote</u> : FCBA <u>Partenaires</u> : INRA Ephyse, Tembec R&D Kraft
PIVERT	Institut d'excellence énergies décarbonnées : un projet stratégique pour le développement des bioraffineries du futur...	PIVERT : Picardie Innovations Végétales Enseignements et Recherches Technologiques (2012-22)	Nationale et Régionale : Picardie/ Champagne-Ardenne	<u>Pilote</u> : SAS PIVERT <u>Partenaires</u> : Université de Picardie Jules Verne, UTC (Université de technologie de Compiègne), UTT (Université Technologique de Troyes), ESCOM (Ecole supérieure de chimie organique et minérale), IPLB (Institut polytechnique Lasalle Beauvais), CVG (Centre de valorisation des glucides et produits naturels), INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), CETIM (Centre technique des industries mécaniques), INRA US Agro-Impact, UMR INRA AgroParisTech Environnement et Grandes cultures, UMR Agronomie INRA/AgroParisTech, PME, Agro-Transfert Ressources et Territoires, CETIOM, ITERG, FRD
REGIX	Référentiel unifié, méthodes et expérimentations en vue d'une évaluation du gisement potentiel en ressources lignocellulosiques agricoles et forestières pour la bioénergie en France : Comparaison d'un panel de cultures et observation de leurs potentialités sur un réseau français multi-local	PNRB 2005 (2006-2009)	Nationale	<u>Pilote</u> : GIE ARVALIS/ONIDOL <u>Partenaires</u> : INRA, FCBA, UCFF, ONF, EDF, Chambre Régionale d'Agriculture du Centre, Fédération Régionale des Coopératives Agricoles de Picardie, APESA
RESACOR	Reconversion des Sols Agricoles Contaminés : impact des cultures à vocation énergétique sur la biodisponibilité des éléments en trace et la relation avec la réponse des Organismes du sol	ANR 2008 (2008-2012) Contaminants, Ecosystèmes, Santé	Nationale	<u>Pilote</u> : UR INRA PESSAC <u>Partenaires</u> : INRA Versailles-Grignon, INRA Dijon, INRA Mons, AgroParistech BioEmco, CNRS Paris 6, CNRS Lyon, Université Rouen

Champ d'étude	objectif	Cultures étudiées	Résultats disponibles (au 31 décembre 2012)
Agronomique, technique et économique	<p>1) Favoriser le développement de sites de valorisation de biomasse qui répondent au cahier des charges des nouvelles filières et qui tiennent compte des spécificités des territoires</p> <p>2) Mettre au point une méthode générique destinée aux conseillers et acteurs des projets biomasse, pour concevoir et mettre en place des plans d'approvisionnement en biomasse agricole durables</p>	<p>Coproduits agricoles : pailles de lin oléagineux, anas de lin pailles de céréales, pailles de colza, plaquettes bocagères...</p> <p>Cultures dédiées : triticale plante entière, miscanthus, switchgrass, cultures produites en dérobé...</p>	<p><a href="http://www.agro-transfert-rt.org/index.php/fr/nos-projets/mobilisation-des-agro-ressources/-optabiom-">http://www.agro-transfert-rt.org/index.php/fr/nos-projets/mobilisation-des-agro-ressources/-optabiom-</a> :</p> <p>Plaquettes de communication :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Cultures biomasse et organisation du travail » - mars 2011</li> <li>- « La chaudière de la coopérative LIN 2000, un exemple à suivre pour la valorisation énergétique de la biomasse » - juin 2011</li> <li>- « Bien choisir sa culture dérobée » - juin 2011</li> <li>- « La Thiérache : un territoire structuré pour l'approvisionnement en plaquettes bocagères » - mars 2012</li> </ul>
Agronomique et environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etablir le bilan hydrique sur des peuplements installés de pin maritime et d'eucalyptus,</li> <li>- Modéliser les exportations en minéraux en fonction de l'âge et du mode de conduite (TCR, TTCR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TCR eucalyptus,</li> <li>- Pin maritime</li> </ul>	<p><a href="http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/pop-up-2008-P02.html">http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/pop-up-2008-P02.html</a></p>
Agronomique, économique et environnemental	<p>Travailler sur les énergies décarbonées, c'est-à-dire qui n'utilisent pas le pétrole comme matière première, et qui ne génèrent pas de carbone fossile dans l'atmosphère</p> <p>Il s'agit aussi de pérenniser l'agriculture française, et, notamment l'agriculture picarde, particulièrement riche en matières premières végétales. Autre objectif : ré-industrialiser les territoires.</p>	<p>biomasse oléagineuse (colza, tournesol, etc...)</p>	<p>Diffusion des résultats à venir.</p> <p><a href="http://www.utc.fr/recherche-innovation/ieed-pivert.php">http://www.utc.fr/recherche-innovation/ieed-pivert.php</a></p>
Agronomique, technique et économique	<p>Doter les acteurs des filières d'approvisionnement en biomasse lignocellulosique d'outils, de méthodes et de données de référence</p>	<p>Miscanthus, switchgrass, canne de Provence, luzerne, fétuque, sorgho, triticale plante entière, TCR et TTCR de peuplier et d'eucalyptus, plaquettes forestières</p>	<p><a href="http://www.biomasse-info-energie.fr/">http://www.biomasse-info-energie.fr/</a> :</p> <p>Rapport d'analyses technico-économique, Recommandation Itinéraires Techniques, Cartographie zones potentielles d'implantation, Actes du colloque de restitution Lyon 2010.</p>
Agronomique et environnemental	<p>Dans un contexte de sols agricoles contaminés, qualifier et quantifier les changements de propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol après l'implantation de cultures énergétiques pérennes, et modéliser les évolutions pour évaluer le risque écotoxicologique associé à ces changements.</p>	<p>Miscanthus</p>	<p>Diffusion des résultats à venir.</p> <p><a href="http://www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol/projets/index.php?cat=anr">http://www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol/projets/index.php?cat=anr</a></p>

Projet (intitulé)	Sujet	Financeur et période de réalisation	Echelle étudiée	Partenaires
Réseau Rural Français - Groupe Biomasse -énergie	Les acteurs du réseau rural capitalisent, échangent et diffusent toutes les solutions et expériences réussies, pour faciliter le décollage des projets de biomasse-énergie dans les territoires.	Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (2010-2012)	Nationale	<u>Pilote</u> : Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie <u>Partenaires</u> : Agro-Transfert Ressources et Territoires (transfert), Comité de liaison aux énergies renouvelables, Centre National de la Propriété Forestière, Coop de France, Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, Cabinet Forêt Energies Ressources, Fédération Nationale des Communes forestières, Union de la coopération forestière Française, Groupe Monde Rural Egalement associés aux travaux : Pole Industries et Agro ressources, CRPF, Cellule d'animation national RCT, APCA, ADEME, pôles d'excellence ruraux.
RMT Biomasse, énergie, environnement et territoire	Le RMT traite de la production biomasse végétale à destination des projets bioénergies et de sa mobilisation au sein des territoires.	CasDAR (2008-12)	Nationale	<u>Pilote</u> : Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie <u>Partenaires</u> : Chambres d'Agriculture : Bretagne, Centre, Lorraine, Marne, Normandie, Picardie, Poitou-Charentes, ARVALIS – Institut du Végétal, Agro-Transfert, Ressources et Territoires, INRA, Coop de France, Système National d'Appui à l'enseignement agricole, Institut Technique de la Betterave, EPL du Loiret, de Rethel et de Tilloy les Mofflaines, Airion, Institut Supérieur d'Agriculture (Lille), CETIOM, Agrinovatech, Pôle de compétitivité Industries et Agroressources



Champ d'étude	objectif	Cultures étudiées	Résultats disponibles (au 31 décembre 2012)
Economique, logistique, social, environnemental	L'objectif central se base sur l'appropriation des résultats des travaux du groupe biomasse énergie du réseau rural national par les Réseau Ruraux Régionaux et acteurs locaux pour insuffler une dynamique portée par les acteurs du territoire.	Biomasse agricole et forestière	<p><a href="http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/reseau-rural-francais.html">http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/reseau-rural-francais.html</a></p> <p>Moteur de recherche des 113 études de gisement et méthodes inventoriées.</p> <p>Plaquette sur les modalités de cohabitation entre des projets de tailles variées sur un même territoire.</p> <p>Vademecum porteur de projet (étude approfondie des démarches au sein de 5 territoires avec identification des défis à relever, les clés de réussite et perspectives pour les territoires).</p> <p>kit de formation à destination des animateurs de groupe porteur de projet.</p> <p>Aide méthodologique pour l'approvisionnement de biomasse en circuit court.</p> <p><a href="http://www.biomasse-territoire.info">http://www.biomasse-territoire.info</a> : Construction d'une plateforme Web – thématique biomasse-énergie</p>
Agronomique, économique et environnemental	Mutualiser des moyens, des résultats, acquérir de nouvelles connaissances et les diffuser établir des stratégies pour être force de proposition pour la recherche et développement (organismes agricoles, coopératives, institutions...) source d'information et de références pour les décideurs... le tout en vue de faciliter et optimiser le déploiement des filières bioénergies durables.	Cultures lignocellulosiques, CIVES, taillis TCR et TtCR	<p><a href="http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/rmt-biomasse.html">http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/rmt-biomasse.html</a></p> <p><b>Kit pédagogique</b></p> <p>Axe « insertion de la biomasse dans les filières » : fiche « méthode d'analyse du territoire » qualification des surfaces pour implantation de cultures biomasse, liste questions réglementaires, fiches structuration des acteurs.</p> <p>Axe « Agonomie » : 6 fiches cultures biomasse, 1 fiche implantation du miscanthus et du switchgrass, 1 fiche désherbage</p> <p>Protocoles d'expérimentation : rendement et destruction des cultures biomasse, Synthèse cultures dérobé, haies et remise en culture des parcelles.</p> <p>Axe « Economie, logistique » : Fiches procédés : combustion – Pyrolyse – Gazéification – Méthanisation - Biocarburants 1<sup>re</sup> génération - Biocarburants 2<sup>e</sup> génération, Schémas de synthèse de filière de valorisation (betterave, colza, blé) – principe de bio-raffinerie, Tableau de synthèse sur les caractéristiques physico-chimiques de la biomasse Vidéo de démonstration Biobaler.</p> <p>Méthodologie calcul des coûts de production, kit pédagogique analyse de risque. article densification de la Biomasse (granulés/bûches/cubes)</p> <p>Axe « Évaluation multicritère et impacts territoriaux » : Synthèse sur les outils d'évaluations des impacts environnementaux et sociaux existants, recueil sur les idées reçues sur le thème de la biomasse.</p>

Projet (intitulé)	Sujet	Financeur et période de réalisation	Echelle étudiée	Partenaires
Switchgrass - Centre	Réussir l'implantation du switchgrass	France AgriMer/ CPER Centre 2008-2013	Région Centre	<u>Pilote</u> : CA37 <u>Partenaire</u> : Champs Energies
SYLVABIOM	Nouveaux concepts de cultures ligneuses durables pour la production de biomasse à des fins énergétiques	ANR bioénergies 2008/12	Nationale	<u>Pilote</u> : INRA Orléans <u>Partenaires</u> : INRA Nancy, FCBA, IDF, LBLGC, Pépinière de Guémené-Penfao
WILWATER	Couplage de l'épuration et de la valorisation du TTCR en combustibles	LIFE + 2004-2007	Régionale : Bretagne	<u>Pilote</u> : Aile <u>Partenaires</u> : CA Bretagne, CUMA Ouest, CNPF-IDF, INRA, UCL

Champ d'étude	objectif	Cultures étudiées	Résultats disponibles (au 31 décembre 2012)
Agronomie	Déterminer l'effet respectif de la densité de semis, du traitement de semence et de l'application d'un prétraitement afin de déterminer les voies agronomiques, chimiques et biologiques de la réussite de l'implantation du switchgrass.	Switchgrass	En cours, sur demande <a href="mailto:christophe.bersonnet@cda37.fr">christophe.bersonnet@cda37.fr</a>
Agronomique, technique, environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecophysiologie des TCR en fonction des espèces et des conditions pédoclimatiques,</li> <li>- Possibilités de production de biomasse avec des espèces résineuses en futaie à courte rotation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TCR/TTTCR peuplier, saule, robinier</li> <li>- Tarifs de biomasse et minéralomasse sur diverses espèces résineuses à fort potentiel</li> </ul>	<a href="http://www.agence-nationale-recherche.fr/Colloques/BioEnergies2012/presentations/sylvabiom.pdf">http://www.agence-nationale-recherche.fr/Colloques/BioEnergies2012/presentations/sylvabiom.pdf</a>
Agronomique, technique, environnemental et économique	Démontrer l'intérêt épuratoire du TTCR de saules ainsi que l'intérêt économique et environnemental de cette filière épuratoire	TTCR de saules	<a href="http://www.aile.asso.fr/cultures-energetiques/wilwater/ttcr-diffusion-des-resultats">http://www.aile.asso.fr/cultures-energetiques/wilwater/ttcr-diffusion-des-resultats</a> Itinéraire technique, impact environnemental, étude économique et potentiel de développement.

## Liste des acronymes utilisés

ACTA	Association de Coordination Technique Agricole
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AILE	Association d'Initiatives Locales pour l'énergie et l'Environnement
APCA	Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture
BES 77	Biomasse Environnement Systèmes
BCMA	Bureau de Coordination du Machinisme Agricole
CDA	Chambre Départementale d'Agriculture
CETIOM	Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains
CGAAER	Conseil Général pour l'Alimentation, l'Agriculture et les Espaces Ruraux
CGB	Confédération Générale des planteurs de Betteraves
CLER	Comité de Liaison Énergies Renouvelables
CLIP	CLub d'Ingénierie Prospective énergie et environnement
CRA	Chambre Régionale d'Agriculture
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière
EnR	Energies d'origine Renouvelable
EPLEFPA	Établissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricoles
ESITPA	École Supérieure d'Ingénieurs et de Techniciens pour l'Agriculture
FCBA	Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement
FDGEDA	Fédération Départementale des Groupes d'Etude et de Développement Agricole
FRCA	Fédération Régionale des Coopératives Agricoles (aujourd'hui Coop de France)
GES	Gaz à Effet de Serre
IAA	Industries Agro Alimentaires
IAR	Industries et Agro-Ressources
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IFT	Indicateur de Fréquence de Traitement
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISA	Institut Supérieur d'Agriculture de Lille
ITB	Institut Technique français de la Betterave industrielle
LEGTA	Lycée d'Enseignement Général et Technologique Agricole
MO	Main d'œuvre
MS	Matière sèche
MSA	Mutualité Sociale Agricole
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
RU	Réserve Utile
SAU	Surface Agricole Utile
SNA	Système National d'Appui
TRAME	Tête de Réseaux pour l'Appui Méthodologique aux Entreprises
T(t)CR	Taillis à (très) Courte Rotation
UMR	Unité Mixte de Recherche
URCA	Université de Reims Champagne-Ardenne
US	Unité de Service
UCDV	Usines Coopératives de Déshydratation du Vexin

## Glossaire

**Adsorption** Fixation des produits phytosanitaires aux particules du sol. Le taux d'adsorption d'un produit phytosanitaire sur le sol varie en fonction du type de produit phytosanitaire, du sol, de son humidité, de son pH, et de sa texture. L'adsorption des produits phytosanitaires sur le sol est importante lorsque les sols présentent un taux élevé d'argile ou de matière organique. L'adsorption est moindre lorsqu'il s'agit de sols sableux.

**Assolement** Proportion de chacune des cultures dans la surface agricole utilisée par une exploitation agricole.

**Balance globale azotée** Bilan entre les entrées et les sorties d'azote au niveau d'une parcelle cultivée et au pas de temps annuel.

**Centile** Descripteur statistique d'un échantillon ou d'une population. Dans un ensemble de valeurs, le centile 1 sépare deux sous-ensembles, l'un comportant 1 % du nombre de valeurs toutes inférieures ou égales au centile 1, l'autre comportant 99 % du nombre de valeurs toutes supérieures ou égales au centile 1. Pour les centiles 2, 3, 4..., les seuils deviennent respectivement 2 % et 98 %, 3 % et 97 %, 4 % et 96 %... Le centile 50 correspond à la médiane.

**Charges de mécanisation** Toutes charges relatives à l'utilisation d'un matériel de culture ou de récolte et manutention. Elles intègrent les frais d'utilisation (carburant) et d'entretien, l'assurance et les frais financiers et d'amortissements de ces matériels. Pour des comparaisons entre cultures et entre régions, des bases de données, hypothèses d'amortissement et d'utilisation communes sont mobilisées.

**Charges opérationnelles (ou intrants)** Coûts des produits apportés sur une culture (semences, fertilisants, phytosanitaires) et assurances spécifiques d'une culture (grêle...).

**Charges fixes** Toutes charges autres qu'opérationnelles relatives au fonctionnement général d'une exploitation : frais de gestion, assurances, électricité, eau, impôts...

**Charges de main d'œuvre** Coût de la main d'œuvre salariée (salaires et charges). Dans des évaluations de coûts complets, sont incluses des charges de main d'œuvre familiale (rémunération et charges MSA).

**Contrainte hydrique** Ralentissement de la consommation d'eau d'une culture en raison d'une disponibilité insuffisante d'eau dans le sol (réserve facilement utilisable épuisée). Ce ralentissement se traduit par une baisse de l'évapotranspiration de la culture, qui devient inférieure à l'évapotranspiration maximale (ETM). L'apparition d'une contrainte hydrique se répercute sur la production à un degré qui dépend de la période d'application de la contrainte, de sa durée et de son intensité.

**Coût de production complet** Somme des charges de tous les facteurs de production d'une culture (intrants, mécanisation, main d'œuvre, autres charges fixes, foncier) rapportée au rendement de cette culture.

**Coût de production cash** Somme des charges générant un décaissement de trésorerie (intrants, carburant, main d'œuvre salariée, fermage, part de charges fixes) rapportée au rendement de la culture.

**Culture annuelle** Production végétale dont le cycle de croissance (accroissement de masse) est inférieur ou égal à l'année. Le triticale, le sorgho fibre, le maïs sont des cultures lignocellulosiques annuelles.

**Culture pérenne** Production végétale dont le cycle de croissance (accroissement de masse) est supérieur à l'année. Le miscanthus et les TtCR sont des cultures lignocellulosiques pérennes.

**Culture lignocellulosique (ou dédiée à la production de biomasse)** Production végétale agricole destinée à un ou des usages autres que l'alimentation humaine ou animale. Ces usages sont habituellement classés en trois catégories : production d'énergie (par combustion, par méthanisation...), production de matériaux (isolants, panneaux, litères...) et chimie verte (lubrifiants, cosmétique, ...).

**Culture intermédiaire** Production végétale implantée entre deux cultures principales, en période dite « d'interculture », et non nécessairement destinée à être récoltée. Les cultures intermédiaires peuvent présenter plusieurs finalités : protection des sols ou du gibier, piégeage du nitrate, fourniture d'éléments minéraux à la culture suivante, enrichissement du sol en matières organiques...

**Décile** Descripteur statistique d'un échantillon ou d'une population. Dans un ensemble de valeurs, le décile 1 sépare deux sous-ensembles, l'un comportant 10 % du nombre de valeurs toutes inférieures ou égales au décile 1, l'autre comportant 90 % du nombre de valeurs toutes supérieures ou égales au décile 1. Pour les déciles 2, 3, 4..., les seuils deviennent respectivement 20 % et 80 %, 30 % et 70 %, 40 % et 60 %... Le décile 5 correspond à la médiane.

**Déficit hydrique climatique (DHC)** Différence, sur une période donnée, entre le cumul de précipitations et le cumul d'évapotranspiration potentielle (ET0). Le DHC mesure l'équilibre entre l'offre climatique en eau (les pluies) et la demande évaporative de l'atmosphère. En période de végétation, l'évapotranspiration potentielle (ET0) étant supérieure à l'évapotranspiration réelle (ETR) des cultures, le DHC ne correspond pas exactement au niveau de contrainte hydrique subi par les plantes.

**Désorption** Réaction inverse de l'adsorption (Cf. ci-dessus), correspondant à la libération des molécules phytosanitaires des particules de sol.

**Emissions de GES** Rejet dans l'atmosphère de gaz absorbant le rayonnement infrarouge terrestre. Ces rejets peuvent être d'origine naturelle (volcanisme, surface inondées naturelles, animaux sauvage) ou anthropique (utilisation de combustibles fossiles, déforestation, utilisation des CFC, rejets par ruminants domestiques, surfaces inondées cultivées, utilisation de fertilisants).

**Energie brute (production)** Pouvoir énergétique de la biomasse. Il est issu d'une analyse du pouvoir calorifique (combustion dans des conditions normées) de la biomasse humide ou sèche. Les valeurs utilisées sont le contenu énergétique de la biomasse sèche (0 % d'humidité)

**Energie primaire totale (consommation)** Quantité d'énergie nécessaire à la production de la biomasse. L'énergie contenue dans toute opération culturale (carburants...) et l'énergie nécessaire à la fabrication de produits mobilisés (fertilisants, semences, phytosanitaires) sont comptabilisées dans cette énergie primaire. Des bases de données de référence par type de produit sont utilisées. Pour les matériels, les coûts énergétiques sont amortis sur la durée d'utilisation du matériel.

**Espèce ligneuse** Espèce fabriquant des lignines, macromolécules organiques donnant à la plante sa solidité. Les lignines sont le deuxième constituant du bois après la cellulose. Les TtCR sont des cultures lignocellulosiques ligneuses.

**Espèce herbacée** Espèce possédant au moins une des quatre caractéristiques suivantes :

- fleurs, feuilles, rameaux ou écailles verticillées ;
- feuilles réduites à des collerettes et placées les unes au-dessus des autres ;
- sporanges groupés au sommet de la tige ;
- tige feuillée d'au moins 10 cm.

Le miscanthus est une culture lignocellulosique herbacée.

**Evapotranspiration potentielle (ETO)** Evapotranspiration (somme de l'évaporation par le sol et de la transpiration par les plantes) de référence correspondant à un gazon ras bien alimenté en eau. Elle est aujourd'hui estimée de façon standard par les services météorologiques au moyen de la formule de Penman-Monteith.

**Fixation – Fixation symbiotique** Transformation de l'azote moléculaire gazeux présent dans l'atmosphère en azote ammoniacal, qui est ensuite incorporé dans des composés organiques. La fixation symbiotique résulte de l'association entre les espèces légumineuses et les bactéries du genre *Rhizobium*.

**Gaz à effet de serre (GES)** Gaz qui absorbent en partie le rayonnement de grande longueur d'onde (infra-rouge) émis par la surface de la Terre et par les nuages, et qui échauffent les basses couches de l'atmosphère. Les principaux GES sont : la vapeur d'eau ( $H_2O$ ), le gaz carbonique ou dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux ( $N_2O$ ) et le méthane ( $CH_4$ ).

**Indice de Gustafson (GUS)** Potentiel de mobilité, permettant de raisonner le choix des molécules phytosanitaires en fonction de leur mobilité potentielle. Dans les cas les plus courants de pollution des nappes, les pesticides présentant un indice GUS supérieur à 2,8 sont en cause, tandis que ceux qui ont un indice GUS inférieur à 1,8 sont rarement retrouvés dans l'eau.

**Indicateur de fréquence de traitement (IFT)** Indicateur (origine : Danemark) permettant d'évaluer la pression phytosanitaire exercée sur une surface cultivée. L'IFT est exprimé en nombre de doses homologuées par hectare appliquées pendant une campagne culturale. Il peut être calculé pour une parcelle, un ensemble de parcelles, une exploitation agricole ou un territoire.

**Itinéraire technique** Combinaison logique et ordonnée des techniques mises en œuvre sur une parcelle agricole en vue d'obtenir une production.

**Lame drainante** Hauteur d'eau (quantité rapportée à une surface) qui percole à travers le sol sur une période donnée. Elle résulte des précipitations, de la capacité de stockage du sol, et de l'évapotranspiration. Généralement calculée sur un an, elle est exprimée en mm/an. On parle également dans ce cas de drainage annuel.

**Lixiviation** Migration en profondeur de composés solubles (dont le nitrate) avec les eaux de drainage. Souvent appelée lessivage par abus de langage.

**Lysimètre** Dispositif expérimental permettant de récolter les eaux qui percolent à travers le sol, pour étudier la quantité d'eau drainée et la composition de cette eau.

**Médiane** Descripteur statistique d'un échantillon ou d'une population. Dans un ensemble de valeurs, la médiane sépare deux sous-ensembles de même nombre de valeurs, l'un dont les valeurs sont supérieures ou égales à la médiane, l'autre dont les valeurs sont inférieures ou égales à la médiane.

**Minéralisation de la matière organique** Décomposition de la matière organique par les organismes du sol qui aboutit à la libération de substances minérales (ammonium, dioxyde de carbone...).

**Percolation** Mouvement vertical descendant de l'eau à travers le sol, sous l'effet de la pesanteur.

**Pression phytosanitaire** Pression polluante exercée sur le milieu par les produits phytosanitaires issus des activités agricoles.

**Prix d'intérêt (d'une culture)** Niveau de prix permettant de couvrir les coûts de production après prise en compte des soutiens (aides PAC). Il s'agit du coût de production auquel les aides (DPU) ramenées à la tonne produite sont enlevées

**Prix équivalent (d'une culture)** Prix de vente d'une culture qui permet d'atteindre un niveau de marge brute égal à celui d'une culture de référence (pour une hypothèse donnée de prix de vente de cette dernière)

**Reliquat d'azote** Quantité d'azote minéral disponible dans le sol sous forme d'ions nitrate et ammonium.

**Rendement (d'une culture)** Quantité de biomasse produite sur une surface cultivée par cycle de production et par unité de surface. Pour les cultures ligno-cellulosiques, la quantité correspond à la plante entière (parties aériennes). Elle est généralement ramenée à 100 % de matière sèche et exprimée en tonnes par hectares.

**Rendement économiquement viable** Niveau de production d'une culture permettant de dégager une marge positive pour une hypothèse de prix donnée

**Rendement énergétique** Dans le cas des cultures lignocellulosiques, rapport entre la quantité d'énergie (directe et indirecte = énergie primaire totale) mise en œuvre pour la production de biomasse (implantation, conduite, récolte, remise en état), et la quantité d'énergie contenue dans la biomasse récoltée (énergie brute), ceci pour une même unité de surface. Le rendement énergétique est adimensionnel.

**Rendement moyen départemental** Rendement annuel d'une culture établi par un traitement statistique d'un observatoire du ministère de l'agriculture (données fournies par Agreste la statistique Agricole).

**Réserve Utile d'un sol (RU)** Hauteur maximale d'eau utilisable par les plantes que peut contenir un sol. Cette quantité d'eau par unité de surface, exprimée en millimètres, dépend de la profondeur maximale d'enracinement de l'espèce considérée et de la nature des horizons de sol traversés (texture, structure, pierrosité).

**Stockage de carbone** Immobilisation de durée plus ou moins longue de carbone dans les sols, sous forme de matière organique.

**Système de culture** Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues.

**Taillis à courte rotation (TCR) – Taillis à très courte rotation (TtCR)** Plantation de ligneux sur terres agricoles, destinées à la production de biomasse et conservant à ces terres leur vocation agricole. Les taillis à courte rotation (TCR) correspondent à des densités de plantation de 1 000 à 2 000 tiges par hectare. Ils sont récoltés tous les 7 à 8 ans. Les taillis à très courte rotation (TtCR) correspondent à des densités de plantation de 10 000 à 12 000 tiges par hectare. Ils sont récoltés tous les 2 à 3 ans.

**Temps de travail** Temps nécessaire à la réalisation des opérations culturales et de récolte d'une culture.



# Annexes

## Annexe 1 : Références bibliographiques

### Impacts des cultures lignocellulosiques sur la quantité d'eau

AMIGUES J.P., DEBAEKE P., ITIER B., LEMAIRE G., SEGUIN B., TARDIEU F., THOMAS A., 2006. *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p.

BEAUDOIN N., DENYS D., MULLER J.C., MONBRUN M.D., LEDAIN C., 1992. Influence d'une culture de luzerne sur le lessivage du nitrate dans les sols de Champagne crayeuse. *Fourrages* 129, 45-57.

HICKMAN G.C., VANLOOCKE A., DOHLEMAN F.G., BERNACCHI C.J., 2010. A comparison of canopy evapotranspiration for maize and two perennial grasses identified as potential bioenergy crops. *GCB Bioenergy* 2, 157-168.

MARY B., BEAUDOIN N., BENOIT M., 1996. Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau. In : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, G. LEMAIRE, B. NICOLARDOT (Eds.), INRA Editions, Paris, p. 289-312

MCISAAC G.F., DAVID M.B., MITCHELL C.A., 2010. Miscanthus and switchgrass production in Central Illinois: impacts on hydrology and inorganic nitrogen leaching. *Journal of Environmental Quality* 39, 1790-1799.

Rowe R.L., Street N.R., Taylor G., 2009. Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 13, 260-279.

VANLOOCKE A., TWINE T.E., ZERI M., BERNACCHI C.J., 2012. A regional comparison of water use efficiency for miscanthus, switchgrass and maize. *Agricultural and Forest Meteorology* 164, 82-95.

### Impacts sur la qualité de l'eau via le transfert de nitrate

ARONSSON P.G., BERGSTROM L.F., 2001. Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass & Bioenergy* 21, 155-164.

BEAUDOIN N., DENYS D., MULLER J.C., MONBRUN M.D., LEDAIN C., 1992. Influence d'une culture de luzerne sur le lessivage du nitrate dans les sols de Champagne crayeuse. *Fourrages* 129, 45-57.

BEAUDOIN N., SAAD J.K., VAN LAETHEM C., MACHET J.M., MAUCORPS J., MARY B., 2005. Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: Effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture Ecosystems & Environment* 111, 292-310.

CHRISTIAN D.G., RICHE A.B., 1998. Nitrate leaching losses under Miscanthus grass planted on a silty clay loam soil. *Soil Use and Management* 14, 131-135.

GOODLASS G., GREEN M., HILTON B., MCDONOUGH S., 2007. Nitrate leaching from short-rotation coppice. *Soil Use and Management* 23, 178-184.

MARY B., BEAUDOIN N., BENOIT M., 1996. Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau. In : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, G. LEMAIRE, B. NICOLARDOT (Eds.), INRA Editions, Paris, p. 289-312

MCISAAC G.F., DAVID M.B., MITCHELL C.A., 2010. Miscanthus and switchgrass production in Central Illinois: impacts on hydrology and inorganic nitrogen leaching. *Journal of Environmental Quality* 39, 1790-1799.

MORTENSEN J., NIELSEN K.H., JORGENSEN U., 1998. Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass & Bioenergy* 15, 457-466.

SCHMIDT-WALTER P., LAMERSDORF N., 2012. Biomass Production with Willow and Poplar Short Rotation Coppices on Sensitive Areas—the Impact on Nitrate Leaching and Groundwater Recharge in a Drinking Water Catchment near Hanover, Germany. *BioEnergy Research* 5, 546-562.

SIMON J.C., 1999. La pollution nitrique des eaux. In : *L'eau, usage et polluants*, G. GROSCLAUDE (Cord.), INRA Editions, p. 95-115

## Impacts sur la qualité de l'eau via le transfert de molécules phytosanitaires

Agro-Transfert Ressources et Territoires, 2011. *Méthode de calcul des indicateurs DAE-G*. 178 pages

AMALRIC L., BARAN N., JEANNOT R., MARTIN JC., MOUVET C., 2003. *Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse de sproduits phytosanitaires vers les eaux*. Rapport final. BRGM/RP-51590-FR, juin 2003, 116 pages.

BARRIUSO E., CALVET R., SCHIAVON M., SOULAS G., 1996. *Les pesticides et les polluants organiques des sols. Transformations et dissipation*. Etud. Gest. Sols 3/4, 279-295 (Numéro spécial).

CZERNICHOWSKI-LAURIOL I., CAUDRON M., 1999. « Pollution des eaux souterraines et superficielles par des produits phytosanitaires dans un même bassin hydrogéologique. Application dans le bassin de la Serre, département de l'Aisne ». Rapport BRGM R 40615, 71 pages.

DEBOMY S. Le Diagnostic Agri-Environnemental Géographique : DAEG. Site internet d'Agro-Transfert Ressources et Territoires [en ligne]. <http://www.agro-transfert-rt.org/index.php/fr/nos-outils-impacts-environnementaux/projet-1> (page consultée le 6 novembre 2012).

LE MANACH L., 2012. *Analyse critique des indicateurs d'un outil d'évaluation environnementale : le DAEG. Cas de réductions de l'usage de pesticides dans des fermes engagées en production intégrée*. Mémoire de fin d'études de l'ESA Angers réalisé chez Agro-Transfert Ressources et Territoires.

Les Cahiers du Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement (CLIP), 2009. *Eau et biocarburants : impacts sur l'eau du développement des biocarburants en France à l'horizon 2030*. Cahier n° 19, septembre 2009, 98 pages.

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2012. Les produits phytosanitaires. Site du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt [en ligne]. <http://agriculture.gouv.fr/les-produits-phytosanitaires,10583> (page consultée le 6 novembre 2012).

## Impacts sur les émissions de gaz à effet de serre (GES)

ADLER P.R., DEL GROSSO S.J., PARTON W.J., 2007. Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecological Applications* 17, 675-691.

ANDERSON-TEIXEIRA K.J., DAVIS S.C., MASTERS M.D., DELUCIA E.H., 2009. Changes in soil organic carbon under biofuel crops. *Global Change Biology Bioenergy* 1, 75-96.

BEHNKE G., DAVID M., VOIGT T., 2012. Greenhouse Gas Emissions, Nitrate Leaching, and Biomass Yields from Production of *Miscanthus × giganteus* in Illinois, USA. *BioEnergy Research*, 1-13.

DON A., OSBORNE B., HASTINGS A., SKIBA U., CARTER M.S., DREW J., FLESSA H., FREIBAUER A., HYVONEN N., JONES M.B., LANIGAN G.J., MANDER U., MONTI A., DJOMO S.N., VALENTINE J., WALTER K., ZEGADA-LIZARAZU W., ZENONE T., 2011. Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *Global Change Biology Bioenergy* 4, 372-391.

GAC A., DELTOUR L., CARIOLLE M., DOLLÉ J.B., ESPAGNOL S., FLÉNET F., GUINGAND N., LAGADEC S., LE GALL A., LELLAHI A., MALAVAL C., PONCHANT P., TAILLEUR A. GES'TIM. *Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre*. Juin 2010, 156 p.

GERMON J.C., HÉNAULT C., CELLIER P., CHÈNEBY D., DUVAL O., GABRIELLE B., LAVILLE P., NICOUILLAUD B., PHILIPPOT L., 2003. Les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) d'origine agricole. Evaluation au niveau du territoire français. *Etude et Gestion des Sols*, 10 : 4, 315-328

IFEN, 2007. Le stock de carbone dans les sols agricoles diminue. *La lettre thématique mensuelle de l'Institut français de l'environnement*. n° 121, novembre 2007, 4 p.

IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, EGGLESTON H.S., BUENDIA L., MIWA K., NGARA T. and TANABE K. (eds). Published: IGES, Japan.

MARY B., SAFFIH-HDADI K., DUPARQUE A., TOMIS V., 2009. Préserver le stock de carbone du sol. *Perspectives Agricoles* 354, 6-9.

SCHMER M.R., LIEBIG M.A., HENDRICKSON J.R., TANAKA D.L., PHILLIPS R.L., 2012. Growing season greenhouse gas flux from switchgrass in the northern great plains. *Biomass and Bioenergy*. 45, 315-319.

## Annexe 2 : itinéraires techniques pris en compte pour le calcul des différents indicateurs techniques, économiques et environnementaux. Les fertilisations, irrigations et rendements ont été adaptées à chacun des contextes pédoclimatiques

	Miscanthus	Switchgrass
Année 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail du sol</li> <li>Plantation</li> <li>Désherbage Pré-levée</li> <li>Désherbage Post-levée</li> <li>Binage x 2</li> <li>Irrigation selon contexte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail du sol</li> <li>Semis</li> <li>Désherbage Post-levée</li> <li>Broyage</li> </ul>
Année 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Broyage</li> <li>Désherbage total avant reprise</li> <li>Récolte en balles si bonnes conditions d'implantation (fin hiver)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Désherbage total avant reprise</li> <li>Récolte en balles (fin hiver)</li> </ul>
Année 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Désherbage total</li> <li>Fertilisation : N : 50 kg N/ha</li> <li>Récoltes balles (fin hiver)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fertilisation : N : 60 P : 5 (apport triennal) K : 20 à 35</li> <li>Récoltes balles (fin hiver)</li> </ul>
Année N	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fertilisation : N : 50 Kg N/ha + 30 P : 5 kg/ha/an (apport triennal) K : 15 à 30 kg/ha/an selon contexte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récolte en balles (fin hiver)</li> </ul>
Année 15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récolte en balles (fin hiver)</li> <li>Broyage</li> <li>Destruction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récolte (fin hiver)</li> <li>Broyage</li> <li>Destruction</li> </ul>

Triticale	Sorgho	Maïs
<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail du sol</li> <li>Semis (faible densité)</li> <li>Désherbage (x1)</li> <li>Fongicide (x1 selon conditions climatiques)</li> <li>Fertilisation : kg/ha - selon potentiels et précédents N : 120 à 180 P : 0 K : 30 à 60</li> <li>Récolte plante entière mature ou immature (balles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail du sol</li> <li>Semis (225 000 gr/ha)</li> <li>Désherbage (Post-levée précoce)</li> <li>Fertilisation : kg/ha - selon potentiels et précédents N : 60 à 100 P : 25 K : 60 à 130</li> <li>Irrigation selon contexte 0 à 90 mm</li> <li>Récolte au stade immature (floraison) =&gt; ensilage plante entière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail du sol</li> <li>Semis</li> <li>Désherbage (x1)</li> <li>Fertilisation : kg/ha - selon potentiels et précédents N : 180 à 120 P : 30 K : 80</li> <li>Irrigation selon contexte</li> <li>(Se conformer aux pratiques de maïs ensilage)</li> </ul>

	Fétuque	Association fétuque/luzerne	Luzerne
Année 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail du sol</li> <li>• Semis automne (20 kg/ha)</li> <li>• Roulage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail du sol</li> <li>• Semis automne (20 kg/ha)</li> <li>• Roulage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail du sol</li> <li>• Semis automne (20 kg/ha)</li> <li>• Roulage</li> </ul>
Année 2 et N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilisation : kg/ha  <b>N</b> : 120 à 150  <b>P</b> : 0  <b>K</b> : 100 à 130</li> <li>• 2 récoltes en balles</li> <li>• Fertilisation après coupe (50 kg N/ha)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilisation : kg/ha  <b>N</b> : 120 à 150  <b>P</b> : 0  <b>K</b> : 50 à 80</li> <li>• 2 récoltes en balles</li> <li>• Fertilisation après coupe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilisation : kg/ha  <b>N</b> : 0  <b>P</b> : 19  <b>K</b> : 154</li> <li>• 3 à 4 récoltes en balles</li> </ul>
Année 5		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchaumage</li> <li>• Travail du sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchaumage</li> <li>• Travail du sol</li> </ul>
Année 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchaumage</li> <li>• Travail du sol</li> </ul>		



### **Comité de pilotage du projet LIGNOGUIDE**

Ago Transfert Ressources et Territoires  
AILE  
Arvalis-Institut du végétal  
Chambre départementale d'Agriculture de l'Eure  
Chambre régionale d'agriculture de Picardie  
Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes  
Coop énergie  
FCBA  
France Miscanthus  
INRA  
MAAF/DGER Réseau performance énergétique des exploitations  
MAAF/DGPAT Bureau biomasse énergie  
SOFIPROTEOL

### **Partenaires techniques :**

#### **mise en place et suivi du réseau de parcelles expérimentales**

Chambre départementale d'agriculture de l'Aisne  
Chambre départementale d'agriculture de l'Eure  
Chambre départementale d'agriculture du Loiret  
Chambre départementale d'agriculture de l'Oise  
Chambre départementale d'agriculture du Haut-Rhin  
Coopérative ARTERRIS  
Coopérative AXEREAL  
LEGTA Le Chesnoy  
LEGTA EPL Aix-Valabre-Marseille

### **Partenaires techniques :**

#### **expertise technique sur les TCR et TtCR**

AILE  
FCBA

### **Comité de relecture du LIGNOGUIDE**

BERNARD Jacques (*AILE*)  
BERSONNET Christophe (*CDA Indre et Loire*)  
CHOPPLET Marc (*Agro transfert Ressources et territoires*)  
HOPQUIN Jean-Pascal (*CRA Picardie*)  
LEPLUS Aurélie (*AILE*)  
LESIEUR Sandrine (*CRA Picardie*)  
LORNE Daphné (*IFPEN*)  
PAINVIN François (*EPL Rethel*)  
PEDOUSSAUT Laure (*COOP de France Déshydratation*)  
VALTER Francis (*SOFIPROTEOL*)

# Le LIGNOGUIDE en quelques mots

On dénombre à ce jour plus d'une douzaine d'espèces cultivées dédiées à la production de biomasse (dites cultures lignocellulosiques) pouvant être implantées en France. Cette diversité, souvent méconnue, offre pourtant un choix intéressant, permettant d'optimiser les projets d'utilisation de cette biomasse. En effet, cette palette d'espèces lignocellulosiques permet d'intégrer au mieux :

- I - les contraintes locales de sol et de climat,
- II - les exigences des process de valorisation (ex : ligneuses vs herbacées) ou encore ;
- III - l'insertion de ces cultures dans les assolements (ex : annuelles vs pérennes).

Bien connaître les atouts mais aussi limites de chacune des cultures ligno-cellulosiques disponibles, c'est donc donner davantage de chances de réussite aux projets de valorisation de biomasse agricole. Faire mieux connaître ces espèces, telle est la première ambition du LIGNOGUIDE.

Si le choix d'une culture lignocellulosique incombe souvent à l'agriculteur pour des questions techniques de conduite culturale, il n'empêche que les autres partenaires des projets biomasse (financeurs, équipementiers, maîtres d'ouvrage...) ont également des exigences spécifiques : émissions de GES, rendement énergétique, impacts sur la ressource en eau, etc. Il convient donc de fournir à tous les partenaires de projets impliquant la biomasse agricole, des éléments – si ce n'est de choix, du moins d'appréciation et de comparaison – leur permettant d'orienter la mise en place de ces cultures. Fédérer les partenaires des projets « biomasse agricole », autour de choix judicieux de cultures, telle est la seconde ambition du LIGNOGUIDE.

Les publics, visés par cet ouvrage sont par conséquent variés, des plus spécialisés (conseillers agricoles ou agriculteurs) aux plus généralistes (élus, gestionnaires de ressources et de territoires, enseignants), chacun ayant ses propres centres d'intérêt. Pour répondre à cette diversité, cet ouvrage propose une lecture à la carte qui permettra à chacun :

- d'acquérir une connaissance d'ensemble sur une espèce donnée (ex : fiches cultures) ;
- de comparer entre elles deux espèces pour un critère donné (ex : émissions de GES entre un Switchgrass et un TCR de Saule) ;
- d'avoir une vision des potentialités dans une région donnée (ex : indicateurs par zone géographique).

Le sommaire aidera le lecteur dans cette recherche sélective d'information. En complément, une présentation des contenus est faite en tête de chaque partie. Que chaque lecteur, connaisseur ou néophyte, féru de la production végétale ou non, trouve les réponses qu'il cherche, telle est la troisième ambition du LIGNOGUIDE.

## Les partenaires du projet LIGNOGUIDE



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »



Aisne, Eure, Haut-Rhin, Loiret, Oise, Picardie, Poitou-Charentes

