



**ENERBIOM**

Sommaire

<b>ENERBIOM</b> : contexte et enjeux du projet ENERGIE-BIOMasse	II
<b>PLANTES LIGNOCELLULOSIQUES</b> : 3 voies de valorisation énergétique	IV
<b>CONDUITE DES CULTURES ÉNERGÉTIQUES</b> : enseignements à retenir	IX
<b>SIGENERBIOM</b> : évaluation du potentiel des cultures énergétiques	XIV
<b>ENVINECO</b> : bilan économique, énergétique et environnemental	XVII
Construire un projet biomasse énergie	XXI



**Production agricole durable  
de biomasse énergie :  
quelles alternatives  
pour quelles filières ?**

Coordination de la rédaction  
Lucie Pavard, Trame



**Trame**  
Le label d'un groupe



## Enerbiom

# Contexte et enjeux du projet ENERgie-BIOMasse

*Parallèlement à l'augmentation des coûts énergétiques et suite à la raréfaction des ressources non renouvelables, se sont développées les énergies dites « vertes » dont font partie les agro-carburants, le biogaz et les biocombustibles. Se pose aujourd'hui la question du potentiel réel de ces nouvelles sources d'énergie qui contribueront à l'atteinte des objectifs fixés par l'Europe, à savoir couvrir 20 % de ses besoins énergétiques par des sources renouvelables d'ici 2020.*

Le potentiel offert par les nouvelles sources d'énergie que sont les agro-carburants, le biogaz et les biocombustibles, doit s'évaluer sous l'angle quantitatif mais également qualitatif. Une attention particulière doit être portée pour le développement de schémas de production durables ayant une faible pression environnementale : balances Carbone et énergétiques positives, préservation de la biodiversité...

Dans un territoire donné, la filière de production à favoriser dépendra, entre autres, des conditions pédoclimatiques et de l'influence de ces dernières sur l'efficacité énergétique, économique et les capacités d'alimentation de ces filières qui en découlent.

**Le projet Enerbiom (2008-2012)**  
Enerbiom, c'est ENERgie-BIOMasse, mais c'est avant tout une recherche de production durable. Et qui dit durable, dit rentable, d'un point de vue écono-

mique, mais également respectueuse de son environnement. C'est afin d'explorer cette problématique et d'orienter la décision des acteurs de terrain et des politiques au sein de la Grande Région qu'un consortium de 9 partenaires a mis en œuvre le projet INTERREG IV-A (1), Enerbiom.

Ainsi, le projet Enerbiom vise à aider les agriculteurs, les politiques et tous les acteurs du secteur de la biomasse énergie, à comprendre les enjeux environnementaux et économiques de ce secteur, mais également à observer les potentiels et contraintes de la Grande Région dans ce domaine.

Pour répondre à ces enjeux, des itinéraires de productions présentant de faibles besoins en intrants, tant en termes de fertilisation azotée que d'utilisation de produits phytosanitaires, ont été évalués.

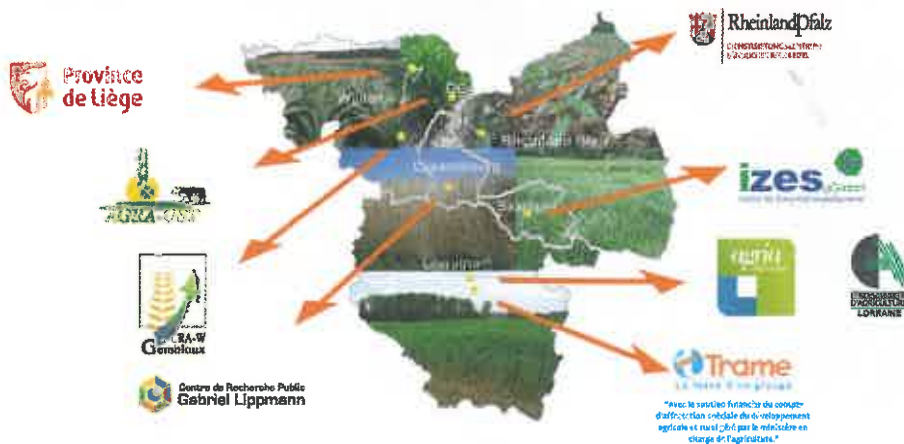
Notons qu'Enerbiom se concentre sur les productions réalisables en parcelles agricoles uniquement et ne prend pas en compte les productions forestières.

Une première étape a été d'obtenir des références sur les potentialités offertes par des cultures bien connues (épeautre, maïs, fétuque élevée ou seigle) ou potentiellement intéressantes, telles que le miscanthus, le switchgrass, le chanvre ou le sorgho, sous les différentes conditions de sol et de climat de la Grande Région. Plus de 10 essais ont été implantés avec une comparaison d'itinéraires phytotechniques intensifs (forts apports d'azote

(1) INTERREG est un programme de coopération territoriale européenne financé par le Fonds européen de développement régional (FEDER).

“ Enerbiom : comprendre les enjeux environnementaux et économiques du secteur de la biomasse énergie. ”

## Les partenaires d'Enerbiom



## De la biomasse à l'énergie

Les filières de production d'énergie abordées comportent :

- la production de la matière première : la biomasse récoltée à partir de plantes annuelles ou pérennes telles que le chanvre, le miscanthus...
- leur transformation en énergie à travers trois processus différents que sont la combustion, la fabrication de biogaz et celle de bioéthanol.

Ces filières peuvent produire différentes formes d'énergie : électricité, chaleur, carburant, éthanol...



Enerbiom

Dix essais différents ont été mis en place dans Enerbiom.

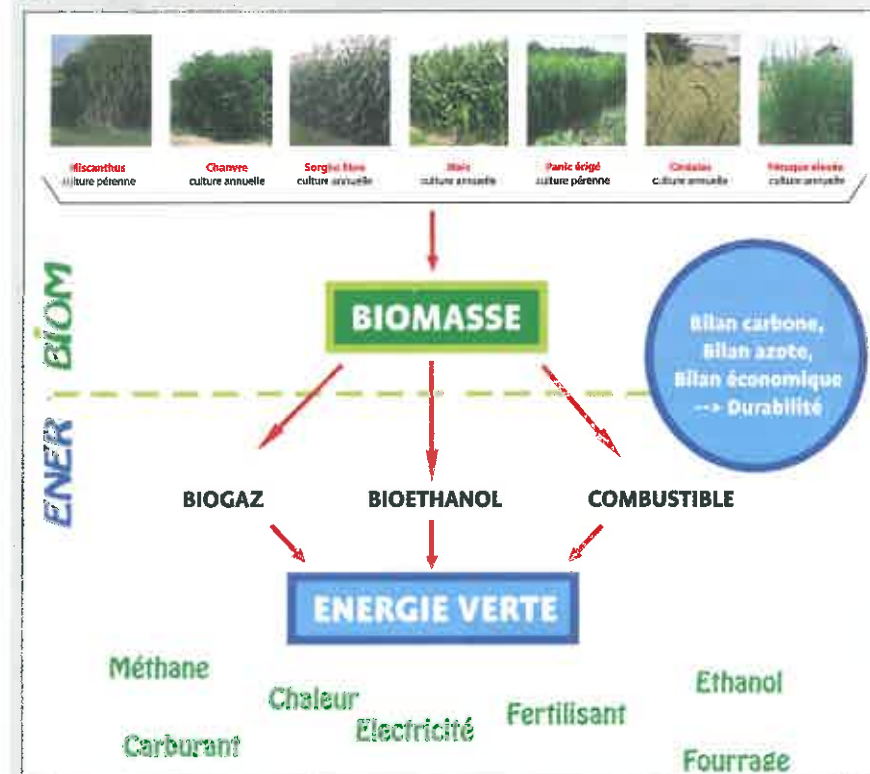
minéral et désherbage chimique) à très extensifs (engrais organique et désherbage mécanique). Ensuite, l'impact de ces conduites sur la valeur des biomasses produites au sein des 3 filières de production de bioénergie que sont la combustion, le biogaz et le bioéthanol, a été analysé.

### Des outils d'aide à la décision

Sur la base des rendements phytotechniques et énergétiques ainsi obtenus, deux outils permettant d'orienter la décision des acteurs de terrains et des politiques ont été développés.

Le premier outil (SigEnerbiom) permet d'identifier les zones de production les plus propices pour les différentes espèces envisagées en tenant compte des contraintes territoriales :

- occupation du territoire par les zones



urbaines, forêts, zones de haute valeur biologique...

- conditions pédoclimatiques : pente, type de sol, température, pluviométrie...

Cet outil d'aide à la décision s'adresse tant aux filières de transformation de la biomasse qu'aux producteurs.

Ensuite, si une espèce est adaptée à un territoire, comment la conduire afin d'optimiser ses performances et pour quelle filière de valorisation ? C'est l'objet du second outil d'aide à la décision, ENVINECO, qui établit les performances environnementales (émissions de gaz à effet de serre), énergétiques et économiques des différents itinéraires phytotechniques testés dans le cadre du projet. ●

**Annick Samyn**

Coordination générale du projet Enerbiom  
1ère attachée bio-ingénieur à la Province de Liège

et **Didier Stilmant**

Coordination scientifique du projet Enerbiom,  
Responsable des approches sur les systèmes agraires au Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W)

Contact : annick.samyn@provincedeliege.be –  
stilmant@cra.wallonie.be - www.enerbiom.eu

## Un territoire à fortes contraintes environnementales

La « Grande Région » sur laquelle s'appuie le projet Enerbiom compte :

- des zones de moyenne montagne, caractérisées par un sol souvent superficiel, une accessibilité moindre et un climat plus rigoureux (zone ardennaise),
- des zones reconnues pour leur richesse biologique comme le témoigne leur intégration dans le réseau Natura 2000,
- des points de captages des ressources hydriques qui représentent une des richesses à préserver dans la région.



## Plantes lignocellulosiques

# 3 voies de valorisation énergétique

*La biomasse issue des plantes lignocellulosiques peut être valorisée en énergie à travers différentes voies dont la combustion, le bioéthanol de seconde génération et la biométhanisation. L'intérêt de ces différentes valorisations pour les plantes retenues a été étudiée dans le cadre du projet Enerbiom.*

Un des axes de travail du projet Enerbiom a consisté à évaluer le pouvoir méthanogène et le pouvoir calorifique des plantes d'une part ; et via une caractérisation des fibres, à identifier un potentiel d'utilisation dans le cadre de la filière de production de bioéthanol de deuxième génération.

### La combustion

L'intérêt pour l'utilisation d'une plante en combustion dépend à la fois de la quantité d'énergie qu'elle peut fournir

(le pouvoir calorifique) et de la production de composés nocifs (évaluée selon la composition chimique élémentaire).

En prenant en compte la teneur en matière sèche, le rendement à l'hectare et la composition élémentaire, le miscanthus est le meilleur candidat pour être valorisé en combustion.

Des essais complémentaires sur son potentiel agronomique sont cependant nécessaires pour confirmer son rendement énergétique à l'hectare.

Les résultats des autres plantes sont plus mitigés : si le switchgrass et le

maïs récoltés en sec sont intéressants d'un point de vue composition et teneur en matière sèche, leurs rendements à l'hectare nuancent ces qualités... Inversement le sorgho présente de bons rendements agronomiques qui compensent des performances énergétiques mitigées et une composition potentiellement propice à la formation de mâchefers et fumés acides.

La fétuque ainsi que l'épeautre grain ont eux des résultats faibles à la fois

en terme de rendement énergétique à l'hectare et en terme de composition ce qui en fait de mauvais candidats pour une valorisation en combustion.

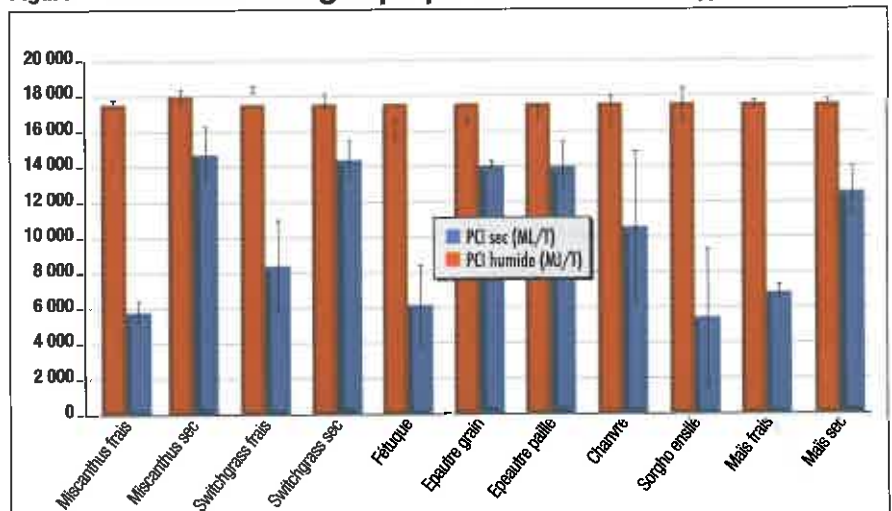
#### • Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique représente la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse de combustible et est exprimé en kJ/kg ou kWh/kg. On le mesure ici par le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI).

On distingue le PCI sec qui ne prend pas en compte l'humidité du combustible et permet ainsi une comparaison entre échantillons différents, et le PCI humide qui prend en compte l'humidité du combustible et permet de connaître l'énergie réellement récupérée.

“ La combustion est à favoriser pour des cultures pouvant être récoltées avec de fort taux de matière sèche en sortie d'hiver. ”

Figure 1. Rendement énergétique par combustion en MJ/T



Le PCI sec est quasiment identique pour chaque plante avec une moyenne globale de 17 003 MJ/tMS.

Le taux d'humidité des plantes influence fortement leur potentiel énergétique en entraînant d'importantes variations du PCI humide en MJ/tMF.

Miscanthus sec, switchgrass sec, épeautre paille et grain ainsi que maïs sec ont des taux de matière sèche élevés qui leur confèrent des PCI humides intéressants (12 000 à 15 000 MJ/tMF environ) (1).

(1) Pour tous les graphiques : est positionné l'intervalle entre le maxi et le mini observés.



**Le maïs, le miscanthus, le panic récolté en février-mars sont à privilégier pour la combustion.**

◦ **La composition chimique élémentaire (1) et (2)**

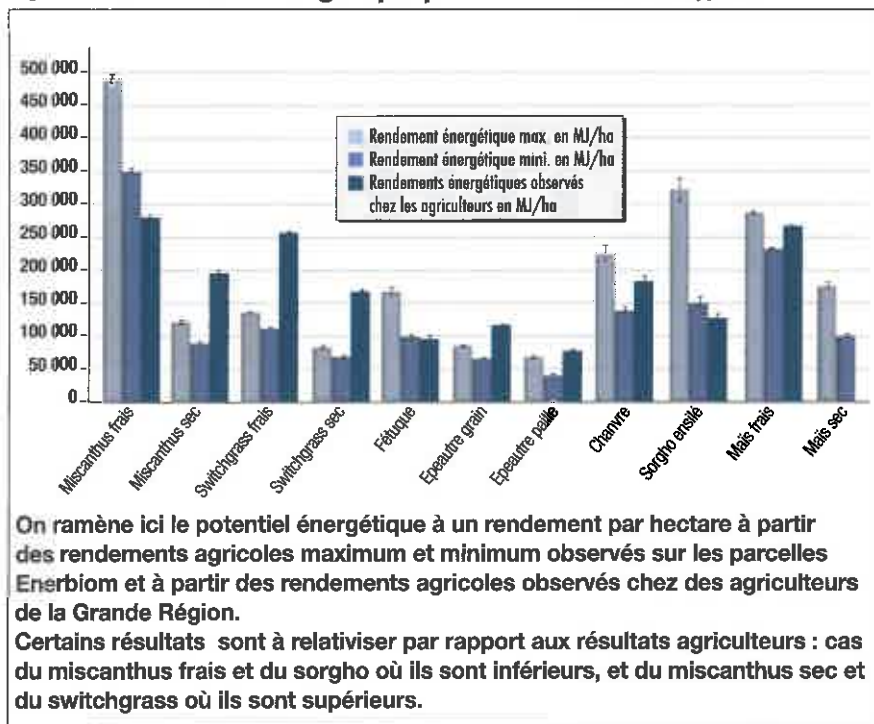
Outre la production d'énergie, qui est son but premier, la combustion peut produire mâchefers, fumées acides et composés toxiques qui vont entraîner des dangers sanitaires et des dysfonctionnements techniques au niveau de la chaudière. Les teneurs en éléments chimiques suivants sont des indicateurs de ces risques d'émissions :

- **NOx** : azote (N),
- **dioxydes-furanes** : chlore (Cl),
- **mâchefers** : potassium (K) et silice (Si). Dans une moindre mesure phosphore, calcium (Ca), soufre (S), sodium (Na) et chlore vont également favoriser leur formation,
- **cendres volantes** : potassium et chlore,
- **fumées acides** : soufre et chlore.

**Le bioéthanol de deuxième génération**

Les biocarburants de deuxième génération peuvent être produits à partir de substrats carbonés comme les cultures lignocellulosiques dédiées. Ces bio-

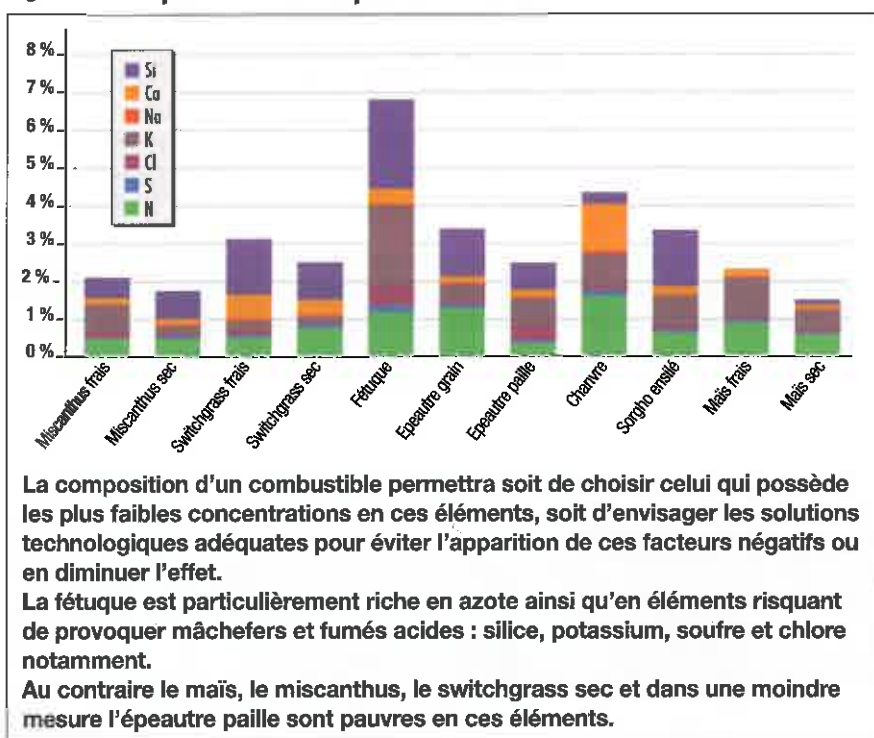
**Figure 2. Rendement énergétique par combustion en MJ/ha**



On ramène ici le potentiel énergétique à un rendement par hectare à partir des rendements agricoles maximum et minimum observés sur les parcelles Enerbiom et à partir des rendements agricoles observés chez des agriculteurs de la Grande Région.

Certains résultats sont à relativiser par rapport aux résultats agriculteurs : cas du miscanthus frais et du sorgho où ils sont inférieurs, et du miscanthus sec et du switchgrass où ils sont supérieurs.

**Figure 3. Composition chimique élémentaire**



La composition d'un combustible permettra soit de choisir celui qui possède les plus faibles concentrations en ces éléments, soit d'envisager les solutions technologiques adéquates pour éviter l'apparition de ces facteurs négatifs ou en diminuer l'effet.

La fétuque est particulièrement riche en azote ainsi qu'en éléments risquant de provoquer mâchefers et fumées acides : silice, potassium, soufre et chlore notamment.

Au contraire le maïs, le miscanthus, le switchgrass sec et dans une moindre mesure l'épeautre paille sont pauvres en ces éléments.

carburants tentent d'augmenter l'efficacité énergétique et économique en utilisant l'ensemble de la plante (cellulose, hémicelluloses et la lignine). Deux voies sont à identifier : la voie

(1) Bardeau G. (2009) « Etude de la faisabilité de produire des combustibles à partir de mélanges de co-produits agricoles » - rapport de master - ENSTIB.  
 (2) Hector G. (2009) « Validation du fonctionnement d'un prototype de brûleur de petite puissance pour biomasses » - ENSTIB.

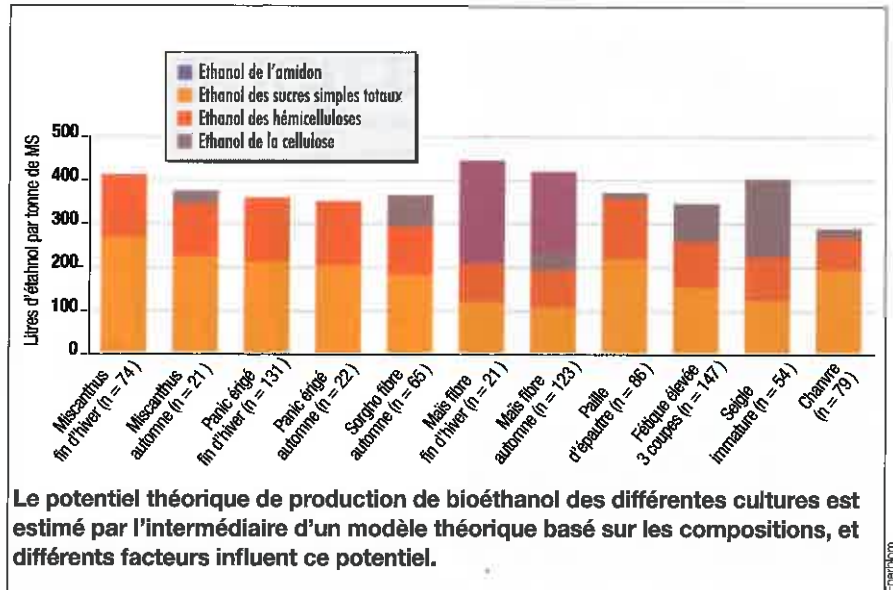
thermochimique qui produit du gazole et du kérosène de synthèse, et la voie biologique qui produit de l'éthanol et qui sera analysée ici.

Deux types de biomasses lignocellulosiques sont observés au niveau du projet Enerbiom :

- les biomasses (miscanthus, panic érigé, paille d'épeautre) plus riches en cellulose et en hémicelluloses mais moins riches en hydrates de carbone non structuraux, en protéines et en composés minéraux. Ce profil engendre une production importante en bioéthanol de deuxième génération,

- les biomasses (grain d'épeautre, fétuque élevée, seigle immature, sorgho fibre, maïs fibre et chanvre) moins riches en cellulose et en hémicellulose mais plus riches en hydrates de carbone non structuraux (comme les sucres solubles totaux et l'amidon qui peuvent être convertis en bioéthanol de première génération), en protéines et en composés minéraux. Ce profil engendre une production moins importante en bioéthanol de deuxième génération mais elle permet également la production de bioéthanol de première génération.

Figure 4. Le potentiel en bioéthanol des cultures lignocellulosiques



Le potentiel théorique de production de bioéthanol des différentes cultures est estimé par l'intermédiaire d'un modèle théorique basé sur les compositions, et différents facteurs influent ce potentiel.

• **Le potentiel en bioéthanol des cultures lignocellulosiques**

La figure 4 montre que le potentiel de production en litres de bioéthanol par tonne de matière sèche est assez homogène, c'est donc le rendement qui aura un rôle prépondérant sur la production d'énergie par hectare. Les cultures les plus propices à la production de bioéthanol de deuxième génération (de 2 000 à 10 000 litres d'éthanol par

hectare) sont celles riches en cellulose, en hémicelluloses et ayant un rendement de production de biomasse élevé comme le miscanthus, le panic érigé, la fétuque élevée, le sorgho fibre, le maïs fibre automne et le chanvre. Lorsque le potentiel de production de bioéthanol de première génération (de 500 à 3 000 litres d'éthanol par hectare) est également pris en compte alors la fétuque élevée, le sorgho fibre, le maïs fibre automne et le grain d'épeautre possède un potentiel de production amélioré.

**Biométhanisation : les substrats introduits dans les digesteurs sont transformés en biogaz qui produit énergie calorifique et électrique.**



**La biométhanisation**

Toute la matière organique originaire des tissus végétaux ou animaux peut être potentiellement convertie en biogaz. La seule fraction réellement indigestible par la flore bactérienne anaérobie est la lignine (que l'on trouve en quantité dans le bois et des plantes lignifiées).

La détermination du potentiel méthanogène des substrats produits dans le cadre du projet Enerbiom est réalisée sur des productions agricoles conservées sous forme d'ensilage sauf pour des rares cas de grains et paille d'épeautre, et de maïs et mis-



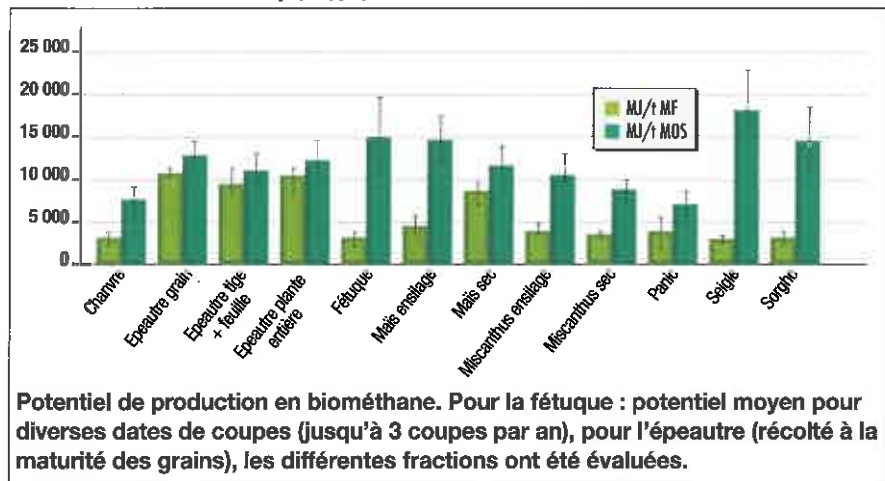
canthus récoltés secs à la sortie de l'hiver.

Le potentiel en biométhane des plantes lignocellulosiques

Le potentiel méthanogène spécifique (en terme de matière organique sèche – MOS) des diverses cultures évaluées dans le cadre du projet varie de 7 111 (panic érigé) à 18 16 MJ/t MOS (seigle). En terme de produit brut (matière fraîche – MF), le potentiel varie entre 2 982 MJ/t MF pour le seigle à 10 805 MJ/t MF pour les grains d'épeautre. En d'autres termes, l'ensilage de seigle est donc une matière fortement digestible et par conséquent il montre un potentiel très élevé par tonne de matière organique sèche, mais cet ensilage est aussi très riche en eau ce qui affecte fortement son potentiel exprimé par rapport à la matière brute. A l'opposé, les grains d'épeautre ont un potentiel de production spécifique plus faible que l'ensilage de seigle mais leur forte teneur en matière organique sèche leur permet d'atteindre la plus forte production en terme de matière brute. La fétuque montre une variation importante de son potentiel méthanogène spécifique au cours des diverses coupes réalisées sur une saison culturale (11 912 à 18 880 MJ/t MOS).

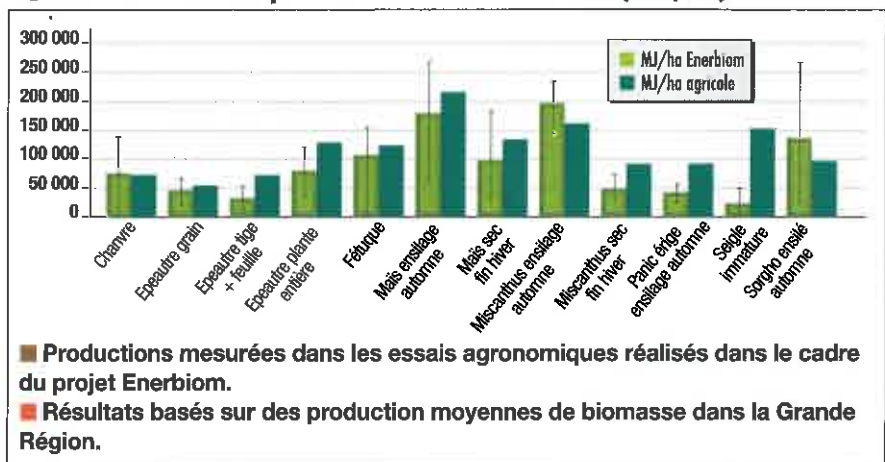
Le potentiel méthanogène par hectare de culture mesuré dans le cadre du projet est le plus bas pour le seigle (23 143 MJ/ha, suivi de près par la paille d'épeautre récolté à maturité (32 894 MJ/ha). Le potentiel le plus élevé est observé pour le miscanthus récolté en vert fin octobre et ensilé (197 016 MJ/ha). Cela peut s'expliquer par les pertes importantes de matière organique pendant l'hiver (migration des éléments nutritifs vers les rhizomes, perte de feuilles, etc.) et par une forte chute de la digestibilité du produit (enrichissement en lignocellulose et perte en éléments solubles digestibles). Les potentiels de production en biomasse

Figure 5. Potentiel CH4 (MJ/t)



Potentiel de production en biométhane. Pour la fétuque : potentiel moyen pour diverses dates de coupes (jusqu'à 3 coupes par an), pour l'épeautre (récolté à la maturité des grains), les différentes fractions ont été évaluées.

Figure 6. Potentiel de production en biométhane (MS/ha)

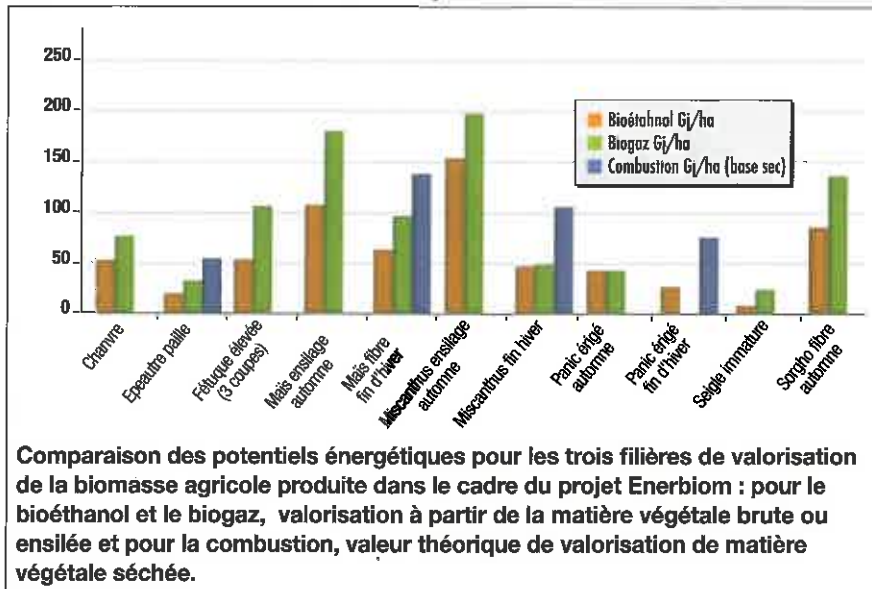


Productions mesurées dans les essais agronomiques réalisés dans le cadre du projet Enerbiom. Résultats basés sur des production moyennes de biomasse dans la Grande Région.

Potentiellement moins productif en bio-méthanisation, le chanvre peut trouver sa place pour son intérêt dans l'assolement ou dans des stratégies sans herbicides.



**Figure 7. Potentiel énergétique moyen (GJ/ha)**



mesurés dans le cadre du projet peuvent être affectés par la taille des parcelles expérimentales et l'effet de bordure (ensoleillement plus important qu'en plein champ). Pour cette raison des potentiels en biométhane exprimés en MJ/ha sont aussi fournis à titre indicatif dans la figure 2.

### Synthèse

Le potentiel énergétique le plus faible est obtenu pour le seigle immature par la voie de la fermentation alcoolique (8 GJ/ha), et le plus élevé pour le miscanthus récolté vert en automne et valorisé en biogaz (197 GJ/ha). Quelle filière privilégier pour quelle culture ? La combustion est à favoriser pour des cultures qui peuvent être récoltées avec de fort taux de matière sèche en sortie d'hiver, par exemple le miscanthus, le maïs, et le panic récolté en février-mars. La production de bioéthanol de deuxième génération est intéressante pour toutes cultures riches en hydrates de carbone (sucres et fibres) et montrant de haut rendements par ha. Dans ce cas, comme dans celui du biogaz, la teneur en matière sèche n'a que peu ou pas d'importance sur la conversion en énergie. Le potentiel

énergétique par la voie de la biométhanisation est le plus haut pour le miscanthus récolté vert et ensilé en automne. Cependant l'impact d'une récolte en vert sur la reprise des rhizomes au printemps n'a pas encore été étudié. Il faut noter que seul les voies du bioéthanol et du biogaz préservent le

potentiel de retour de la matière organique (alimentation du bétail) et des nutriments (digestat) vers les productions agricoles. Les cendres de la combustion peuvent aussi être utilisées en fertilisation mais leur disponibilité biologique est plus faible. Au-delà du potentiel énergétique en GJ/ha, le choix sera déterminé par le rendement du process ou l'énergie mobilisée pour l'approvisionnement.

**Philippe Delfosse**

*Chef de projet, docteur en Sciences agronomiques*

*Département Environnement et Agrobiotechnologies – Centre de Recherche Public-Gabriel Lippmann*

**Marie Barthelemy**

*Chargée de mission VANAP – AGRIA Lorraine*

**Bruno Godin**

*Unité Biomasse - Bioproduits et Energies – Centre wallon de Recherches agronomiques*

### Sources :

- Bardeau G. (2009) - « Etude de la faisabilité de produire des combustibles à partir de mélanges de coproduits agricoles » - rapport de master - ENSTIB
- HECTOR G. (2009) - « Validation du fonctionnement d'un prototype de brûleur de petite puissance pour biomasses » - ENSTIB

**Le maïs, le miscanthus, le panic récolté en frais, sont bien valorisés en biométhanisation (ici un essai de miscanthus, à Tinlot en Belgique).**





## Conduite des cultures énergétiques

# Enseignements à retenir

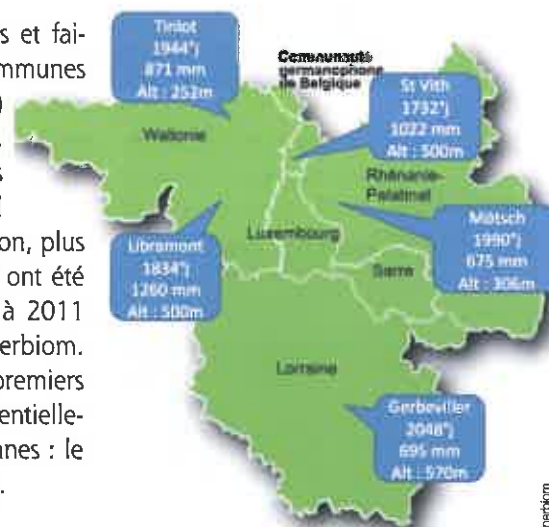
*Les expérimentations phytotechniques du projet Enerbiom permettent de disposer pour la Grande Région de références pour le choix et la conduite de cultures énergétiques. Elles mettent notamment en évidence les difficultés d'implantation du miscanthus, le besoin de solutions pour le désherbage du switchgrass, l'intérêt bas intrants du chanvre ou du sorgho... Décryptage de quatre années de travaux au champ.*

**A**fin d'identifier les forces et faiblesses de cultures communes (maïs, fétuque élevée...) ou plus exotiques (miscanthus, switchgrass, sorgho...) sous les différentes conditions de sol et de climat de la Grande Région, plus de 10 essais et 150 modalités ont été suivis annuellement de 2008 à 2011 par les partenaires du projet Enerbiom. Sont présentés ci-dessous, les premiers enseignements obtenus essentiellement pour deux cultures pérennes : le miscanthus et le switchgrass (1).

### L'implantation des cultures pérennes : une phase critique

Alors que les itinéraires permettant une mise en place réussie des cultures annuelles sont bien maîtrisés, il en va tout autrement pour la gestion de la phase d'implantation du miscanthus et du switchgrass. Or, de cette phase critique, caractérisée par un taux d'échec non négligeable, vont dépendre les performances de ces cultures durant de nombreuses années. La figure 2 illustre clairement le lien existant, pour le miscanthus, entre les performances de la culture

(1) Ces cultures pérennes sont toujours dans leur phase d'implantation : il faut un minimum de 3 années avant d'atteindre un niveau de production de « croisière ».



**Figure 1. Les sites d'essais et leurs conditions climatiques (somme de température en base 0 sur le cycle du sorgho du 20 mai au 15 septembre - pluviométrie annuelle).**

et sa densité, et ce tant en première qu'en deuxième année.

### Un développement et une couverture du sol laborieux

Les densités de population préconisées tant pour le miscanthus (1 à 1,5 plant/m<sup>2</sup>) que pour le switchgrass (10 plants/m<sup>2</sup>) laissent une grande partie de sol nu en première année. Dès lors, la part belle est faite aux adventices, avant que leurs rhizomes et les rejets qui en seront issus n'occupent le terrain.

Le premier objectif consiste à atteindre cette densité de population tout en limitant le développement des adventices.

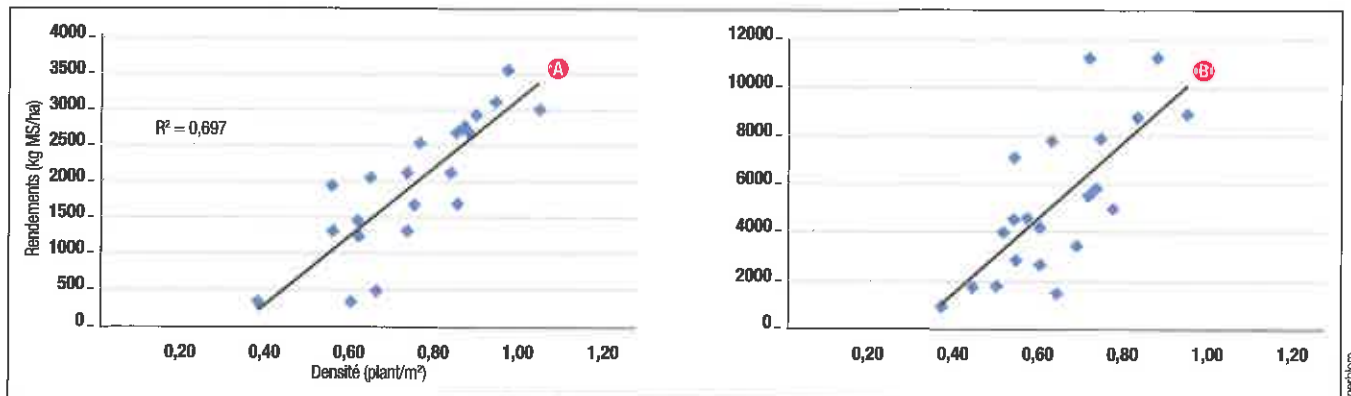
**Pour la culture de miscanthus**, dont la mise en place est réalisée à partir de fragments de rhizomes, le taux de levée dépend fortement de la qualité de ces derniers : des rhizomes trop petits (moins de trois yeux) et stockés à l'air libre se dessèchent et perdent en viabilité. Dans un test au champ réalisé par le CRA-W, les taux de levée de rhizomes laissés à l'air libre pendant 2 et 6 jours avant plantation ont été réduits, respectivement, de 15 et 50 % par rapport au témoin pour lequel les rhizomes avaient été plantés à la réception

La profondeur de plantation ne semble pas influencer le taux de reprise. Néanmoins une plantation à une profondeur de 15 cm limite les dégâts que pourrait occasionner le gel les premières années, avant que le rhizome n'occupe une couche de sol plus importante et que le paillage ne soit opérationnel. De même, afin d'éviter les écueils liés à la présence de taupins, il est préconisé d'éviter l'implantation derrière une prairie de longue durée. A Libramont, dans cette situation, les pertes liées à ce seul ravageur identifié étaient supérieures à 50 %.

**Le switchgrass** est lui une graminée prairiale, mais qui ne pousse pas dans

“ Plus de 10 essais et 150 modalités ont été suivis annuellement de 2008 à 2011 par les partenaires du projet Enerbiom. ”

Figure 2.



Lien entre densité du peuplement de miscanthus et rendements observés à Gerbéviller (France) en première (A) et deuxième (B) année de pleine végétation.

nos prairies d'Europe. Il est originaire des Etats-Unis. Pour son implantation, il convient d'être attentif à la variété choisie (cf. figure 3), la qualité des semences et la préparation du lit de semis. Le semis s'apparente dès lors à un semis de prairie à effectuer sur un sol réchauffé, qui présente une température proche des 12°C. Pour les zones les plus froides de la Grande Région ces conditions sont atteintes à la fin du printemps ce qui peut coïncider avec des périodes également plus sèches et rendre la levée difficile et/ou irrégulière. La forte dormance des semences de switchgrass peut être à l'origine de levées hétérogènes. Les données fournies par le semencier (Pourcentage de Semences Viabiles ou PLS – Pure Live Seeds et taux de matières inertes) permettent de calculer les quantités à semer pour atteindre 10 kg de semences viables par hectare.

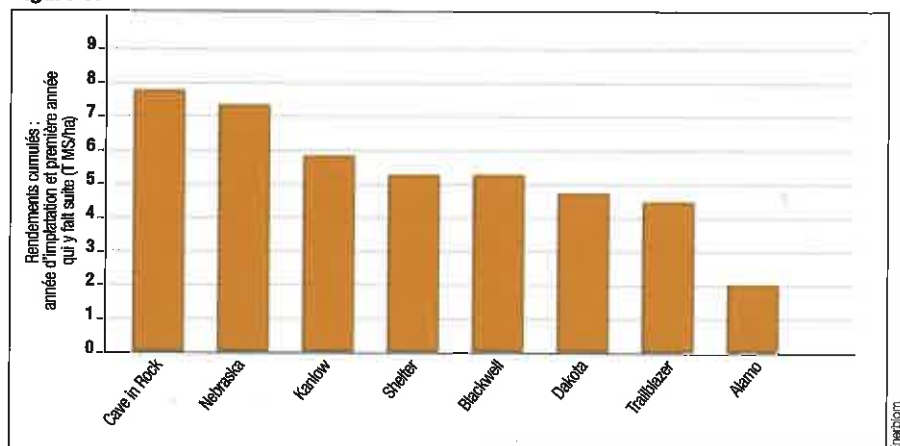
### Les adventices : une pression non négligeable

Bien que les solutions de désherbage chimique soient encore peu connues, voire inexistantes pour le switchgrass en Belgique suite à l'absence de produit agréé pour cette culture, les essais des plateformes ont démontré l'impact de l'enherbement sur le développement de ces cultures. Que la concurrence soit exercée par une espèce adventice sauvage ou, dans le cadre du

Une parcelle de miscanthus, l'une des cultures pérennes étudiées dans le projet Enerbiom.



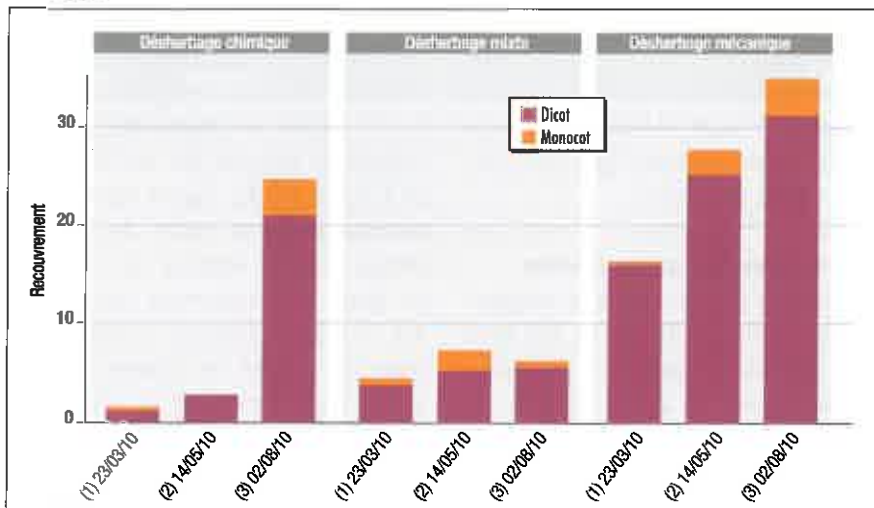
Figure 3.



Rendements cumulés des premières et deuxièmes années de culture à Libramont. Les essais variétaux pour le switchgrass ont mis en évidence les variétés Cave-In-Rock et Nebraska comme étant les plus performantes dans la Région.



Figure 4.



Taux de recouvrement par les adventices par modalités de désherbage à Libramont (Belgique) en 2009.

miscanthus, par une culture associée telle que le trèfle, ces cultures en souffrent et prennent un retard de développement qu'il sera difficile de combler ultérieurement.

Cette gestion délicate des adventices doit se faire durant les 2 ou 3 premières années de développement de la culture de miscanthus. Par la suite, le développement des plantes et le paillage assuré par les feuilles qui tombent au sol

durant l'hiver permettent de limiter le développement des mauvaises herbes.

Tout comme pour le miscanthus, et tout spécialement durant la première année vu la levée très lente et malgré une densité de population plus importante, la gestion du désherbage du switchgrass est délicate. Le switchgrass étant une graminée estivale, proche des graminées adventices du maïs, les solutions chimiques sélectives sont res-

treintes et seuls des produits contre les dicotylées semblent aujourd'hui adaptés pour un désherbage en post-levée. Pour ces deux cultures pérennes, si besoin, une intervention avant la reprise de végétation avec du glyphosate est une des clés de la réussite du désherbage.

Ainsi, sur un cycle de vie de 20 ans, on peut estimer que le nombre de désherbage chimique réalisé sera au maximum, dans le cas d'une parcelle sale, de 6 interventions pour le miscanthus (4 devraient suffire avec le switchgrass). Ceci confirme leur réputation de « cultures peu gourmandes » en intrants phytosanitaires.

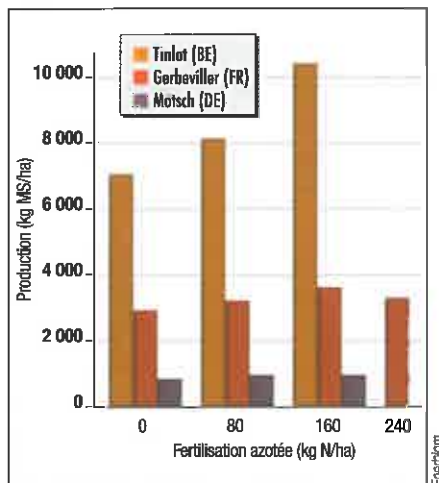
#### La place du désherbage mécanique pour la culture de miscanthus

Dans l'essai de Libramont, deux itinéraires de désherbage, l'un mécanique (2 passages de herse étrille suivis par un binage de l'interrang), l'autre mixte (2 passages de herse étrille suivis par un désherbinage), ont été comparés au désherbage chimique. Dans cet essai, caractérisé par une flore majoritairement composée d'espèces annuelles, l'efficacité du tout mécanique est aussi bonne que l'efficacité du chimique, la modalité désherbinée donnant les meilleurs résultats (cf. figure 4). Cependant, si l'utilisation de la herse étrille en pré-levée et/ou en post-levée s'avère une technique qui peut être mise en œuvre sur miscanthus sans souci particulier, le binage est quant à lui plus complexe vu la distribution des plants de miscanthus (et donc les risques de perte) et la difficulté d'assurer une bonne gestion des vivaces à l'aide de cet outil. Finalement, si l'association binage de l'interrang - pulvérisation sur le rang paraît intéressante, son utilisation en culture de maïs a déjà permis de souligner les difficultés de concilier les conditions favorables à la fois au binage et au traitement chimique.

Le switchgrass est une graminée prairiale, originaire des Etats-Unis.



Figure 5.



**Performances (kg MS/ha) du miscanthus, en première année complète suite à l'année d'implantation, en fonction de la fertilisation azotée (kg N/ha).**

### Une diversification de la flore vers des espèces de systèmes prairiaux

Sur les 4 essais analysés, on dénombre 42 espèces (soit en moyenne 10,5 espèces par essai) différentes de la flore adventice habituellement rencontrées dans les systèmes de grandes cultures de la Grande Région. A titre de comparaison, sur 14 essais du réseau lorrain « réduction de la pression adventice » en systèmes de culture classique, on compte en moyenne 2,5 espèces par essai. On retrouve ainsi une proportion importante d'espèces vivaces, certaines parfois présentes dans les

systèmes céréaliers - chardons, liserons, chiendent -, mais aussi des espèces beaucoup plus inféodées aux systèmes prairiaux - rumex, plantain, pissenlit... - voire même des espèces absentes des systèmes agricoles classiques telles que l'ortie.

### Des besoins en azote limités

Tout apport d'azote doit être temporisé jusqu'à ce que la culture soit bien levée afin de lui permettre de valoriser pleinement cet apport. Dans le cas contraire, ce sont les adventices qui en profiteront augmentant d'autant leur concurrence par rapport à la culture. Pour le miscanthus, la réponse à l'azote est fortement dépendante du site et du nombre d'années écoulées depuis l'implantation (cf. figure 5). En première année complète suite à l'implantation, la réponse fut, en moyenne au travers des 3 sites, de 9 (1 à 21) kg de MS/kg d'azote apporté, en deuxième année, les réponses furent de l'ordre de 11 kg de MS/ha/kg d'N. Vu la faible réponse à la fertilisation azotée de cette culture, due à de faibles besoins liés à un recyclage important des nutriments vers les rhizomes à l'automne, il est conseillé de modérer les apports de cet élément avec l'application de 50 à 80 kg d'N/ha en année de production ; valeur qui devront être confirmées ultérieurement ; et aucun apport les 2 premières années.

**Concernant le switchgrass,** la réponse à l'azote fut encore plus faible que pour le miscanthus. En première année, pour une production de 3,7 T MS/ha au travers des 4 sites d'essais, la réponse fut, en moyenne, de 6 kg de MS/kg d'azote apporté, en seconde année de moins de 2 kg de MS/kg d'azote apporté (2 sites) et ce pour un rendement moyen de 4,6 T MS/ha. L'apport d'azote n'est donc pas justifié les années qui suivent l'implantation si la récolte se fait en sec, durant l'hiver. De plus, pour 3 des 4 sites d'essais, les rendements diminuent pour des apports supérieurs à 80 kg d'azote par hectare ce qui conforte l'idée qu'un apport de 30 à 60 unités d'azote/ha est suffisant pour un rendement optimal.

### Des cultures à bas niveaux d'intrants

La gestion de la fertilisation azotée des cultures de miscanthus ou de switchgrass est ainsi finalement assez représentative de la gestion de la majorité des cultures énergétiques étudiées dans le projet pour lesquelles les besoins en fertilisation minérale sont relativement restreints à la vue de la biomasse produite. Ceci confirme bien leur caractère de cultures adaptées aux nouveaux enjeux environnementaux, avec d'un côté un potentiel de production d'énergie important et de l'autre un impact sur le milieu limité par une faible consommation d'intrants.

**Nathael Leclech**

Service Agronomie et Développement Durable  
de la Chambre régionale d'agriculture de Lorraine

**Thomas Schmit**

Unité Systèmes agraires, Territoire et Technologies de l'Information du Centre wallon de Recherches agronomiques

**Didier Stilmant**

Unité Systèmes agraires, Territoire et Technologies de l'Information du Centre wallon de Recherches agronomiques

**Bertrand Tasiaux**

Services Agricoles de la Province de Liège

## Les autres cultures étudiées

**Les autres cultures testées dans le cadre d'Enerbiom sont le sorgho, le chanvre, la fétuque élevée, le maïs. Ces essais mettent entre autre en évidence les difficultés d'adaptation du sorgho aux zones les plus fraîches de la Grande Région, le caractère bas intrant du chanvre (pas de désherbage en culture, une réponse à l'azote de 50 kg de MS produite/kg N minéral apporté), les fortes pertes de rendement du maïs pendant l'hiver et l'orientation de la fétuque élevée vers le débouché méthanisation.**

**Les résultats détaillés par culture sont à retrouver sur le site du projet ([www.enerbiom.eu](http://www.enerbiom.eu)).**



### Encadré 1. Les résultats des essais permettent de relever des principaux atouts de chaque culture et leurs limites dans la Grande Région

Cultures	Atouts	Limites
<b>Miscanthus (pérenne)</b>	Des rendements accessibles de 7 à 15 TMS/ha sur la Grande Région à condition de réussir son implantation Des besoins en fertilisation azotée faibles (50-80 uN/ha) Une pression phytosanitaire faible: 6 désherbages maximum sur 20 ans et pas d'autres interventions phytosanitaires Plante stérile et non-invasive	Implantation coûteuse (3 000 €/ha) Implantation délicate (30 à 70 % de pertes de pieds). Importance de la qualité des rhizomes et de la logistique d'approvisionnement Nécessite une planteuse spécifique Sensible à la concurrence des adventices les 2 premières années surtout si fertilisation azotée L'association avec le trèfle est trop concurrentielle Sensible au gel la 1ère année en conditions froides (Belgique) Récolte relativement tardive (pas avant avril) pour avoir un produit > 80 % MS ce qui correspond à la reprise de végétation et rend une intervention avec du glyphosate plus délicate
<b>Switchgrass/ Panic érigé (pérenne)</b>	Des rendements accessibles de 5 à 12 TMS/ha sur la Grande Région Produit très sec rapidement en sortie d'hiver Tolère une large gamme de sols et climats Des besoins en fertilisation azotée faibles (30-60uN/ha) Une pression phytosanitaire faible: 4 désherbages maximum sur 20 ans et pas d'autres interventions phytosanitaires Matériel de semis classique disponible sur les exploitations de la région Coût d'implantation inférieur à celui du miscanthus	Difficulté d'approvisionnement en semences (disponibilité des variétés faibles et uniquement importées) Doutes sur la qualité de certains lots de semences (pureté spécifique et taux de germination) Un comportement différent selon les variétés Implantation lente et délicate sur sol réchauffé, ce qui rend cette culture très sensible à la concurrence des adventices la première année
<b>Fétuque élevée (pérenne)</b>	Facile à planter, faible coût des semences, semences accessibles Adaptée aux sols difficiles (hydromorphes) Bonne occupation de l'espace : un seul désherbage à l'implantation	Des besoins en fertilisation azotée élevés mais qui peuvent être fournis par une légumineuse compagne Pérennité de 5 à 10 ans Produit non récolté en sec à moins de faire du foin à un coût élevé Implantation plus délicate, plus lente que celle d'autres espèces fourragères Coût de récolte élevé car répété
<b>Chanvre (annuelle)</b>	Fortement concurrentiel des adventices si bonne levée : aucun herbicide utilisé Bonne réponse à la fertilisation azotée (80-100 uN/ha) Bonne tête de rotation Annuelle donc facilement intégrée dans une rotation	Culture d'été : présence d'un sol nu durant l'hiver Des rendements de plante entière variables suivant les conditions pédoclimatiques (5 à 15 TMS/ha) Plante très fibreuse : nécessite du matériel de récolte adapté Filières de valorisation tant énergétique que non énergétique à préciser
<b>Sorgho (annuelle)</b>	Très bonne valorisation de l'azote : des besoins limités (40-80uN/ha) Bonne productivité de biomasse verte si la chaleur est au rendez-vous (rendement > de 10% / maïs ensilage) (8 à 18 TMS/ha) Itinéraires phytotechniques maîtrisés car déjà bien cultivé en France Cycle très court : possibilité de le conduire en dérobé Annuelle donc facilement intégrée dans une rotation	Culture d'été : présence d'un sol nu durant l'hiver Sensible à la verse et aux ravageurs Une plante des climats chauds : - nécessité de déterminer les variétés les plus adaptées à la région - pas adaptée aux secteurs les plus froids de la Grande région Récolte d'un produit sec impossible Peu de solutions de désherbage disponibles
<b>Mais (annuelle)</b>	Bonne valorisation de l'azote Bonne productivité de biomasse verte Rendements élevés en matière sèche même en conditions défavorables (météo, altitude...) Taux de matière sèche de l'ordre de 30 % à la récolte d'automne (conservation aisée) Récolte en sec possible sortie hiver (taux de MS de 75 %) Itinéraires phytotechniques maîtrisés Annuelle donc facilement intégrée dans une rotation	Culture d'été : présence d'un sol nu durant l'hiver Trop de perte de rendement si récolté en sec à la sortie de l'hiver

**Sigenerbiom**

# Evaluation du potentiel des cultures énergétiques

*Le territoire, qui sera le cadre du développement de nouvelles filières énergétiques, représente un système complexe constitué d'éléments continuellement en interaction. Afin de pouvoir prendre en compte les différents paramètres territoriaux déterminant le potentiel de développement des cultures énergétiques, l'utilisation de Systèmes d'Informations Géographiques s'impose.*

**U**n des objectifs d'Enerbiom est de fournir une cartographie des zones potentielles de production de biomasse énergie pour différentes cultures au sein de la Grande Région.

Les cartes produites peuvent être utilisées comme outils d'aide à la décision. Par exemple : faire correspondre spatialement les différentes zones à haut potentiel de production de biomasse

avec les lieux d'implantation possibles pour des installations de conditionnement et de valorisation de la biomasse et / ou avec les zones de fortes consommations d'énergie.

**L'utilisation de systèmes d'informations géographiques (SIG)**

Le SIG est défini comme un système de gestion de bases de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées géographiquement. L'analyse multicritères spatialisée permet de croiser les différents critères clés retenus afin d'obtenir une cartographie du développement potentiel des différentes cultures énergétiques sur le territoire donné.

L'outil Sigenerbiom permet d'obtenir une idée globale et relative des endroits présentant le meilleur potentiel de production de différentes cultures énergétiques à l'échelle de la Grande-Région. Il a été conçu afin de prendre en compte un maximum de critères dont la définition a été établie à partir des données et des connaissances disponibles. Le résultat dépend fortement du paramétrage de ces critères. Ceux-ci pourront évoluer en fonction du développement de la filière et être modifiés par les futurs utilisateurs de l'outil. Ils pourront également constituer la base d'une analyse multicritères et d'un outil d'aide à la décision plus large, comportant, outre les critères agronomiques actuels, des critères de stratégies économiques, sociales et environnementales.

**La cartographie a permis d'œuvrer sur les zones les plus propices à la production de biomasse énergie (ici du miscanthus).**





## Un Système d'Information Géographique

C'est un(e collection de) logiciel (dont certains open source !) qui permet de :

- créer,
- visualiser,
- rechercher,
- et analyser,
- des données géospatiales.

Ces dernières sont la réunion de deux composantes :

- Des données géographiques repérées dans l'espace. Tels des calques de la cartographie papier, elles rassemblent différentes informations d'une même thématique : les routes, l'hydrographie, la végétation, l'habitat, parcelles du cadastre. Elles sont géo référencées c'est-à-dire repérées dans l'espace, dans le but de superposer les informations.
- Des données alphanumériques : chaque couche peut ainsi stocker des informations. Exemples : nom des routes, longueur des rivières, type de végétation, propriétaire de la parcelle...

### Première étape : définir les critères

La première étape est de déterminer les critères (température, pente, occupation du territoire...) qui influencent le potentiel d'installation des cultures énergétiques.

Les critères sont alors traduits en cartes afin de permettre leur superposition au sein d'un SIG, et ce à l'échelle de la Grande Région. En effet, le potentiel de chacune des cultures est déterminé selon la combinaison des couches relatives à chaque critère. Le SIG permettant dès lors de rassembler de manière structurée les données décrivant et spatialisant les critères considérés et d'extraire, sur base d'une analyse multicritères, des cartes de potentiel pour chacune des cultures.

Deux types de critères ont été créés en fonction des exigences des différentes cultures :

#### • Les critères territoriaux

Ils permettent d'exclure les zones territoriales n'autorisant pas l'implantation des cultures considérées avant de poursuivre l'analyse.

■ Occupation du sol : seules les zones agricoles ont été reprises dans l'analyse, les zones naturelles et forestières ont été exclues afin de ne pas encou-

rager une modification de leur gestion. Finalement, au sein des zones agricoles, les cultures pérennes (vignes et vergers) et les prairies permanentes ont également été jugées inaptées à la mise en place de cultures énergétiques, car leur conversion entraînerait des effets néfastes sur l'environnement (fuite d'azote, déstockage de carbone, perte de biodiversité...).

■ Biodiversité : les zones classées Natura 2000 ont été exclues de la zone d'installation potentielle des cultures énergétiques en raison des enjeux liés à la conservation de la biodiversité et de la directive européenne 2009-28/CE portant sur la durabilité des biocarburants (1).

■ Pente : les surfaces présentant une pente supérieure à 10 % ont été écartées afin de ne pas favoriser l'érosion des sols qui pourrait survenir suite à la mise en place de cultures sarclées et/ou annuelles. Pour les plantes antiérosives comme la fétuque élevée et le switchgrass, la limite a été élevée à 20 % (limite permettant une mécanisation aisée).

#### • Les critères pédoclimatiques

Ils ont pour fonction de donner une appréciation du potentiel agronomique des zones retenues lors de l'étape précédente, pour la culture considérée.

■ Climat : voici les données à prendre en compte :

- Température : ce critère est appliqué sur la période sensible pour la croissance de la plante, généralement d'avril à juillet. La température de limitation correspond au seuil minimum devant être atteint afin de permettre à la plante de se développer, alors que la température favorable correspond au seuil nécessaire pour obtenir une bonne croissance. Une cotation est obtenue en considérant ces différents seuils spécifiques à chacune des cultures. Ces seuils ont été définis à dire d'experts.

- Précipitations annuelles : une tranche de précipitations moyennes annuelles acceptable a été déterminée pour chacune des cultures étudiées.

■ Pédologie : une cotation a été obtenue en fonction des exigences pédologiques de chacune des cultures concernant les attributs ci-dessous :

- profondeur,
- texture,
- régime hydrique.

### Deuxième étape : l'agrégation des critères

L'étape suivante associe tous ces différents critères sur une même carte, ce qui permet d'identifier des bassins de production propices à chacune des cultures envisagées. Ces cartes ont une valeur toute relative, car si elles permettent de définir les zones poten-

“ Sigenerbiom permet d'obtenir une idée globale des zones à meilleur potentiel de production pour différentes cultures énergétiques. ”

(1) La directive définit des conditionnalités environnementales pour les biocarburants (ex : « Les biocarburants ne sont pas produits à partir de matières premières provenant de terres de grande valeur en terme de diversité biologique »).

tielles de production pour une culture, elles ne permettent pas de comparer les cultures entre elles : la culture « a » cultivée sur des zones présentant des limitations peut conduire à une production supérieure à la culture « b » cultivée sur cette même zone qui serait définie comme présentant un bon potentiel pour la culture « b ». Afin d'atteindre un tel résultat, une analyse plus approfondie des performances phyto-techniques enregistrées dans le cadre du projet, mais également ultérieurement pour des cultures n'ayant pas atteint leur pleine maturité (miscanthus), doit être réalisée. Elle permettra de définir, pour chaque culture, les niveaux de production qui pourront être attendus au sein des zones présentant de fortes limitations, des limitations moyennes ou un bon potentiel.

L'agrégation des critères territoriaux se fait par multiplication afin d'obtenir la carte d'exclusion qui ne retient que les zones ne présentant aucune contrainte territoriale.

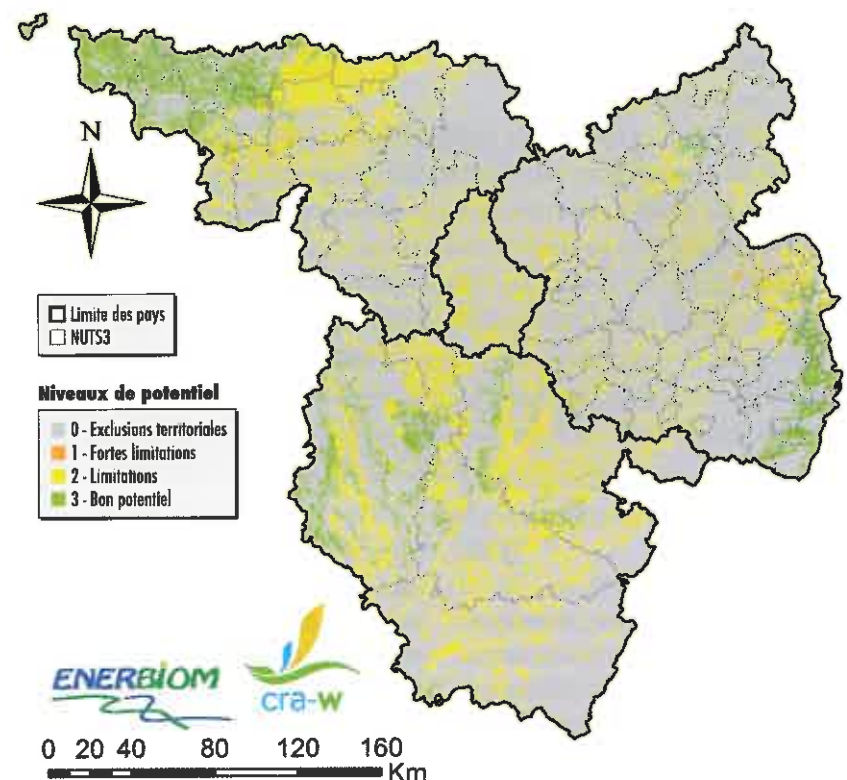
Sur ces zones ne présentant aucune contrainte territoriale, les critères climatiques et pédologiques sont alors additionnés. Les critères pédologiques étant considérés comme secondaires, la combinaison des critères pédoclimatiques se fait de telle manière à ce que le climat ( $t^{\circ}$  et précipitation) donne l'appréciation principale, complétée ensuite par l'appréciation pédologique.

### Plus concrètement... l'exemple du Miscanthus

Les critères spécifiques au Miscanthus, obtenus à dire d'experts et sur base d'une revue de la littérature, sont les suivants (2) :

- Période sensible : avril à juillet.
- Température limitante :  $9^{\circ}\text{C}$  ; température favorable :  $11^{\circ}\text{C}$ .
- Précipitations : 600 à 1 500 mm/an.
- Pente : maximum 10 %.
- Pédologie : exclusion des sols peu profonds (60 cm), des argiles lourdes

### Carte du potentiel du miscanthus



et des sols à humidité persistante. La carte de potentiel qui en résulte et présentée dans cet article doit être ajustée sur base des observations à venir. En l'état, elle a pour but principal d'illustrer les possibilités offertes par cet outil.

Les zones exclues pour raisons territoriales sont représentées en gris. La zone restante est appelée Zone Potentiellement Utilisable (ZPU) et se colore en fonction des différents niveaux de potentiels calculés.

Les zones présentant les meilleurs potentiels sont observées dans les régions suivantes : à l'est de la Rhénanie Palatinat, dans la vallée du Rhin, une région viticole fertile ; au nord de la Wallonie (Nord du Hainaut et Ouest du Brabant wallon), au sein de la région limoneuse ; ainsi qu'en Lorraine, principalement dans le département de la Meuse, là où les sols sont profonds et peu argileux. Une partie marginale de la Rhénanie Palatinat est classée comme présentant de fortes limitations

en raison, notamment, de précipitations excessives.

Les limitations observées sont principalement dues au critère « température ». En effet, le miscanthus étant une plante de climat chaud (métabolisme en C4), ses exigences thermiques sont élevées. Il y aurait cependant lieu d'explorer la diversité des performances qui pourraient être exprimées par les différentes lignées présentes sur le marché. Dans d'autres zones, la faible profondeur du sol et/ou sa richesse en argiles et dès lors son caractère hydromorphe sont autant de facteurs limitant les performances de cette culture. ●

**Aurélie Vannerom**

Bioingénieur, chargée de projet Enerbiom au Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W)

**Contact :** a.vannerom@cra.wallonie.be

(2) Ces critères sont encore susceptibles d'évoluer sur base des enseignements qui seront obtenus suite à l'analyse des résultats du projet ou ultérieurement, vu que les cultures de miscanthus mises en place sur les différents versants ne sont pas encore arrivées à maturité.