



LE MISCANTHUS BIOMASSE

Recommandations de mise en oeuvre pour les collectivités

Pyrénées-Atlantiques



CHAMBRE
D'AGRICULTURE
PYRÉNÉES-ATLANTIQUES

Octobre 2023



PREAMBULE

Le miscanthus giganteus est une plante hybride pérenne (20 ans minimum), stérile et non invasive, originaire du sud-est asiatique. En saison de pousse (avril à octobre), elle peut atteindre 3 à 4 m de hauteur chaque année. La récolte a lieu généralement en mars sur les Pyrénées-Atlantiques lorsque la plante est sèche et à moins de 17% d'humidité. Elle est récoltée à l'ensileuse à maïs et est idéalement stockée sous hangar au sec. La repousse annuelle est assurée par les rhizomes qui caractérisent cette plante et qui donnent une nouvelle tige aérienne. Sa culture ne nécessite pas d'intrants et est fortement productive : 10 à 20 tonnes de matière brute par an dès sa pleine maturité à 3-4 ans.

Le miscanthus présente de nombreux intérêts :

- Le non travail du sol et le peu d'intrant nécessaire en font un atout majeur pour la préservation de la ressource en eau ; ses plantations seront donc à privilégier sur les aires d'alimentation de captage. De plus, cette plante a un rôle tampon en venant créer des zones de dilution sur les périmètres des captages d'eau.
- Sa culture permet de freiner l'érosion grâce à son système racinaire dense.
- Il permet également la réduction des gaz à effets de serre grâce au stockage de carbone dû à l'extension annuelle du rhizome et la tombée des feuilles sèches au sol durant l'hiver.
- Il favorise la biodiversité par un maillage sur le territoire qui permet de multiplier les bordures et le développement d'une faune abondante (araignées, lombrics, carabes...). Les parcelles qui gardent de la végétation en hiver deviennent zone refuge pour la faune sauvage (perdrix, faisans,...), bio-indicateurs qui confirment l'établissement d'écosystèmes équilibrés.

Le miscanthus connaît déjà de multiples débouchés (litière animale, paillage horticole, combustible,...). Son utilisation, dans le cadre d'un approvisionnement local (20 km maximum) est à privilégier afin de limiter les coûts de transport de la matière et de maintenir une agriculture locale rémunératrice. Cet approvisionnement de proximité permet donc de promouvoir un projet de territoire au regard des vertus ci-dessus citées.

Nous nous intéresserons ici à son utilisation comme combustible en précisant quelques repères techniques d'usage.

LE MISCANTHUS BIOMASSE

Caractéristiques énergétiques

Il existe principalement deux formes de miscanthus biomasse : vrac ou granulés. Sur le département, pour l'instant, le miscanthus n'est disponible qu'en vrac (récolte à l'ensileuse maïs) qui permet une utilisation directe du champ au silo de chauffage sans manutention ni investissements supplémentaires pour les agriculteurs. Elle est donc à privilégier même si la forme granulé permet de gagner en volume de stockage au regard de la densité du produit

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques du miscanthus vrac et nous éclaire sur ses qualités de culture énergétique.

	PCI (kWh/T)	Emissions de CO2 (gCO2/kWh)	Densité (kg/m3)	Taux d'humidité	Taux de cendre
Miscanthus vrac	4200 - 4400	90	120	16%	1.9%

L'impact du taux d'humidité est similaire au cas du bois en ce qui concerne la qualité de combustion. Le taux d'humidité est fonction du moment de la récolte.

Comme l'indique le tableau, le miscanthus génère un taux de cendre relativement important.

Caractéristiques du sol et impact sur la combustion

Plus le sol est riche en silice, plus le miscanthus en contiendra ; de même pour le chlore, qui favorise la formation d'acide chlorhydrique (HCl) propice à la corrosion des conduits d'évacuation des fumées.

Le risque de formation de mâchefers augmente avec la présence de silice : afin de mitiger ce risque, il convient de rajouter 1 à 1,5% de chaux en volume dans le stockage du miscanthus.

Toutefois, un réglage précis de la chaudière est indispensable pour optimiser son utilisation et un technicien averti est nécessaire pour cette maintenance.

Miscanthus en vrac

Afin d'éviter notamment la projection non maîtrisée de suie sur les parois du foyer, qui peuvent conduire à une augmentation anormale des fumées y compris à l'extérieur de la chaudière, on recherchera une longueur de coupe de 35 mm minimum. Une chaudière équipée de turbulateurs horizontaux ou de mécanismes créant des effets cycloniques directement au-dessus du foyer acceptera une longueur de coupe inférieure.

La formation de suie est due à une présence importante de poussières et de fines, du fait notamment du faible taux d'humidité du miscanthus récolté.

➤ Matériel de chauffage

Type de chaudière

Il est recommandé un foyer à grille mobile et/ou avec un racleur pour éviter la formation de mâchefers.

L'approvisionnement du combustible jusqu'au foyer se fera à l'aide d'une vis sans fin, plus adaptée à la volatilité du combustible. Les systèmes avec racleur sont moins adaptés.

Une chaudière polycombustible est indispensable à la gestion des caractéristiques physico-chimiques du miscanthus.



Mâchefers

Les combustibles issus de plantes herbacées ou ligno-cellulosiques comme la paille et le miscanthus présentent des teneurs en silice, chlore et en potasse importantes. Ces combustibles ont une température de fusibilité des cendres basse et leur combustion peut entraîner des risques de vitrification.

Pour éviter la formation de mâchefers lors de l'utilisation de miscanthus en vrac, il faut veiller à ne pas avoir une température de foyer trop importante puisque la température de fusion des cendres (seuil de formation des mâchefers), relativement basse, se situe entre 800 et 900°C. La solution la plus répandue pour le moment est d'accepter une perte de puissance (-20 à -35%) et par conséquent de surdimensionner la chaudière de façon à atteindre le niveau de puissance disponible souhaité. Cette recommandation est partagée par plusieurs fabricants de chaudières acceptant le miscanthus.

Cette solution n'est pas en contradiction avec la nécessité d'avoir une température de fumée élevée pour éviter la corrosion due au composé HCl, tel qu'expliqué par la suite dans le paragraphe sur les risques de corrosion.

La technologie doit être adaptée pour éviter l'usure prématurée des équipements, limiter le traitement de l'air et réduire les risques de mâchefers :

- Grilles refroidies à l'air ou à l'eau pour éviter la production de mâchefers
- Injection de CaO si nécessaire (2 % de CaO)
- Injection de carbonate de Sodium si nécessaire pour piéger le chlore et le soufre et réduire ainsi la production d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique.

Matériel de chauffage

Gestion des cendres

Comme vu précédemment, le miscanthus produit plus de cendres que le bois déchiqueté. Il conviendra donc d'augmenter la taille du bac à cendres en se basant sur une production de cendres 2 à 3 fois plus élevée pour le miscanthus que pour le bois déchiqueté.

Les cendres de miscanthus sont épandables aux champs sans risque de toxicité ou d'effets négatifs sur la vie et la structure du sol avec un apport à hauteur de 1T/ha/an (Brami, 2020).

Emission et stockage de polluants

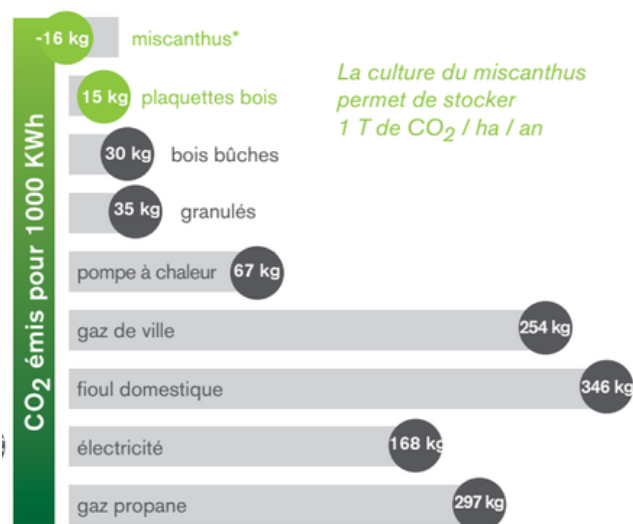
La campagne de mesure des taux d'émission des polluants classiques réalisée par l'association AILE dans le cadre de son programme « Green Pellets » (régions Bretagne et Pays de la Loire) a mis en évidence que les taux d'émissions de polluants sont inférieurs aux normes en vigueur : EN 303.5 classe 3, arrêté de 1997 pour les émissions de soufre ($P > 2\text{MW}$) et norme autrichienne pour les NOx. Les polluants mesurés ont été : CO, NOx, SO2, HCl et poussières.

En comparaison avec les autres combustibles, le miscanthus permet de stocker du carbone avec un taux de production nette de CO2 pour 1000KWh consommés négatif de 16kg d'après le rapport Ademe CE-Carb (2022).

Risque de corrosion, des conduits d'évacuation

Idéalement, il faut prévoir un tubage en céramique pour limiter les risques de corrosion, et régler la chaudière de telle sorte à avoir des températures de fumée élevées empêchant la condensation. C'est par une gestion et un réglage appropriés des entrées d'air secondaires que l'on obtiendra une température de fumée suffisante, tout en ayant une température de foyer pas trop élevée.

UN COMBUSTIBLE ÉCOLOGIQUE



La culture du miscanthus permet de stocker 1 T de CO₂ / ha / an

Comparaison des taux de production nette de CO2 pour 1000 kWh consommés

* Rapport Adème CE-Carb

Source : Heizomat / Novabiom 2023

Matériel de chauffage

Mélange avec d'autres combustibles

Si le miscanthus est utilisé en association avec du bois déchiqueté par exemple, l'homogénéité et la constance du mélange sont primordiales. Mais cette solution n'est a priori intéressante que pour les grosses puissances (plusieurs MW) même si certains fabricants considèrent qu'un mélange à 50/50 est adapté, moyennant une perte de puissance de 30% (ex : Hargassner).

Pour les puissances inférieures, une utilisation alternée de combustible est plus adaptée, en appliquant successivement des réglages

pré-enregistrés dans la mémoire de la chaudière automatique. Les chaudières polycombustibles sont ainsi plus adaptées à ce type de rotation de combustible.

Réglages de la chaudière

Le réglage de la chaudière est très important car un écart important a été constaté entre les conditions optimales de laboratoire et les conditions réelles, notamment en ce qui concerne les émissions de poussières et de HCl qui sont plus importantes.



➤ APPROCHE ECONOMIQUE

L'investissement chaufferie

3 points majeurs sont à prendre en compte dans l'investissement d'une chaufferie alimentée au miscanthus en vrac :

- Le miscanthus a un pouvoir calorifique plus important que le bois mais une densité en vrac beaucoup plus faible. Il sera donc nécessaire de tenir compte de ses paramètres dans le dimensionnement des silos afin de limiter la multiplication des livraisons pour une puissance équivalente/bois.
- L'utilisation de miscanthus en biomasse pour alimenter une chaudière polycombustible va impacter l'investissement nécessaire au regard d'un projet bois bûche, bois déchiqueté ou plaquette. En effet, afin de tenir compte des caractéristiques du miscanthus, un surdimensionnement de la chaudière va être nécessaire notamment pour limiter la production de mâchefer et la vitrification des cendres (surdimensionnement de 20 à 35% de la chaudière). De plus, elle devra impérativement être équipée d'évacuateur de cendres en continue.
- L'évacuation des fumées acides riches en chlore, entre autres, entraînent la potentielle corrosion de tuyaux d'évacuation de fumée en inox ; la mise en place de tuyaux en céramique est donc recommandée.

La prise en compte de ces caractéristiques entraîne un surcoût estimé de 5% de l'investissement dans une chaufferie bois classique (qui ne permet pas de brûler du miscanthus).

Estimation des besoins autour d'un projet de miscanthus

Le miscanthus ne se récoltant qu'une fois par an, l'ensemble des besoins hors appoints de la chaufferie devront être couverts à la récolte. Le stockage devra permettre de stocker le volume de miscanthus produit.

REPERES 1 ha de miscanthus

- Produit 13 TMB/ha (à évaluer selon le potentiel de sol 8 à 20TMB/ha)
- Permet de produire environ 65 kWh (à 13 TMB/ha)
- Nécessite 35 à 40m² de stockage
- Stocke 0,75 à 1T de carbone /ha/an



APPROCHE ECONOMIQUE

L'approvisionnement en miscanthus

La production en miscanthus est pérenne ce qui garantit un approvisionnement sécurisé à un coût maîtrisé indépendant de la volatilité des cours de l'énergie pour les investisseurs en chaufferie miscanthus.

De par la faible densité du miscanthus, un approvisionnement local (20km maximum) est à privilégier afin de limiter les coûts de transport de la matière. La mise en œuvre de cet approvisionnement nécessite un partenariat étroit avec les producteurs locaux.

Anticiper les plantations.

Le miscanthus arrive à pleine production après 4 ans de plantation. La première année, le miscanthus est généralement broyé pour créer un mulch superficiel permettant de limiter le désherbage de la culture la deuxième année. De plus, il est peu développé ce qui ne rentabiliserait pas la récolte à l'ensileuse. La première récolte a donc lieu en 2ème année mais le miscanthus n'est qu'à la moitié de son potentiel de production. Et le rendement augmentera progressivement jusqu'à l'année 5 où il sera à pleine production.

Évolution de rendement du miscanthus au cours des 5 premières années en potentiel de sol correct

Année	1	2	3	4	5
Rendement en TMB/ha à 17% d'humidité (à adapter selon potentiel de sol)	0	6	9	12	15

Les conséquences sont les suivantes :

- Prévoir la plantation dès que le projet miscanthus est retenu et donc démarcher les producteurs au plus tôt afin de contractualiser l'approvisionnement avec eux.
- Prévoir un approvisionnement temporaire soit en miscanthus d'autres zones, soit en autres combustibles (bois déchiqueté par exemple), le temps qu'il arrive à pleine maturité.

Aider aux frais de plantation du miscanthus

Le coût de plantation du miscanthus est important et nécessite un investissement initial qui peut s'avérer délicat pour les agriculteurs. Il faut en effet compter 3500€/ha pour l'implantation du miscanthus.

Plusieurs possibilités d'aides aux agriculteurs sont envisageables :

Une prise en charge de la plantation complète ou partielle qui peut prendre plusieurs formes :

- Achat de rhizome à leur place,
- Subvention sur facture de rhizome ou coût forfaitaire de plantation,
- Aide forfaitaire par hectare,

L'achat majoré du miscanthus vrac sur les 3 premières années est une aide qui arrive trop tard car la plantation est payée dès la première année.

APPROCHE ECONOMIQUE

L'approvisionnement en miscanthus (suite)

Le prix d'achat du miscanthus par la collectivité

Il doit tenir compte de plusieurs paramètres, à savoir :

- La rentabilité du miscanthus par rapport à une autre culture pour le producteur.
- Le coût des énergies concurrentielles pour la collectivité

Les producteurs s'engageront dans cette culture s'ils trouvent une certaine rentabilité par rapport à la rotation de culture qu'ils mettent en place sur la parcelle qui sera destinée au miscanthus. La marge brute moyenne de la parcelle peut être appréciée par le producteur en fonction de son potentiel de sol et des cultures mises en place qu'il moyennera notamment pour tenir compte des aléas de production et de sa rotation.

De son côté, la collectivité qualifiera son projet en fonction du coût de l'énergie en €/kWh entre les différents types d'énergie. Le combustible ayant un prix le plus proche du miscanthus est la plaquette de bois.

Prix d'achat €/T de miscanthus hors transport	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175
Coût €/kWh miscanthus	0,026	0,027	0,028	0,029	0,03	0,031	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,040	0,041

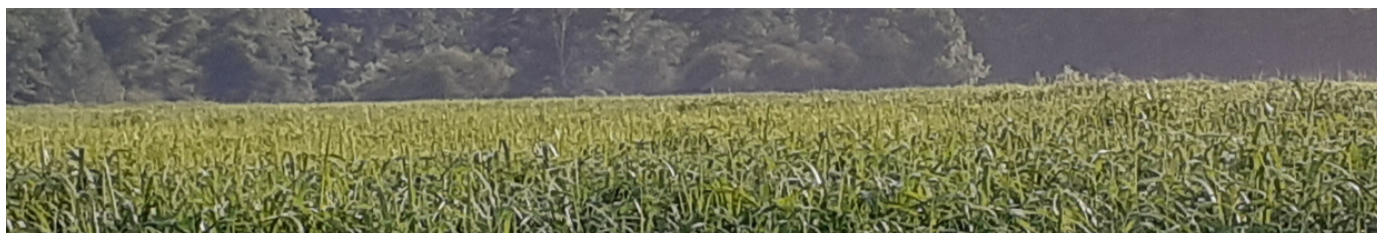
PCI miscanthus à 4300 kWh/T à 17% hum.

En comparaison à d'autres combustibles, le miscanthus est très économique notamment en comparaison avec les énergies fossiles.

Les frais de stockage et de transport

Les frais de stockage et de transport viennent en supplément et seront à inclure dans l'approche économique de la chaufferie au même titre que pour une chaufferie bois. Les frais de transport dépendent notamment de la taille de silo prévu et donc de la récurrence de ses approvisionnements ainsi que de la distance au lieu de stockage initial..

Afin de faire des économies, dans la mesure du possible, les collectivités gagneront à avoir en gestion interne le stockage et le transport.



APPROCHE ECONOMIQUE

La contractualisation

Le miscanthus étant une culture pérenne, il s'agira pour l'agriculteur adhérant au projet de s'engager à maintenir cette culture sur le long terme afin de garantir l'approvisionnement de la collectivité cliente. Un contrat de longue durée doit être mis en place entre la collectivité et l'agriculteur.

Il est indispensable d'y faire apparaître les mentions minimales des contrats mais des mentions complémentaires pourront apparaître telles que :

- L'emplacement des cultures de miscanthus contractualisées
- La qualité de miscanthus vendu incluant, l'espèce végétale retenue (généralement *Miscanthus giganteus*), la finesse de la coupe (de 35 à 50mm), l'exemption de corps étranger (ferrailles, terre, déchets, plastique,...), l'humidité relative attendue (<17%), les modalités de vérifications de cette humidité relative (analyse annuelle à charge de qui ?),
- Le mode de production du miscanthus éventuellement (labellisation agriculture biologique garantissant la non utilisation de pesticides chimiques de synthèse ou de phytosanitaires chimiques de synthèse),
- La quantité attendue (en précisant s'il s'agit de tout ou partie de la récolte),
- Les modalités de livraison et de qui elles sont la charge en précisant si les remorques sont pesées avant livraison
- Les modalités de stockage : qui en a la charge, qui en supporte le coût (le cas échéant il sera précisé), qui en a la responsabilité ?
- Les modalités financières précisant le prix d'achat brut après récolte ou sec en tenant compte du niveau de siccité (taux d'humidité), le prix de transport du miscanthus précisant sortie de champ ou à partir du silo de stockage initial ou à charge de la collectivité, le prix de stockage de miscanthus (éventuellement convention annexe de mise à disposition de local de stockage)
- Le / Les indice(s) de révision de ces différents prix (IPAMPA grandes cultures pour la prix de vente de miscanthus brut, IPC (Indice des prix à la consommation), ...) et la date d'actualisation des prix en précisant le calcul mis en œuvre.
- Les modalités de règlement : données présentes sur la facture, délai de règlement, modalité de règlement (mandat, virement, chèque...)
- La durée de la convention qui est généralement de 15 à 20 ans, 20 ans étant la durée de vie minimum d'une plantation de miscanthus.
- Les modalités de résiliation :
 - avec un volet résiliation du producteur souvent en lien avec un cas de force majeure
 - et un volet résiliation par la collectivité souvent en lien avec les cas de manquements du produit livré ; pour tout autre motif de résiliation de sa part, la collectivité pourra indemniser le producteur en tenant compte de la part de l'investissement non amorti en lien avec la plantation de miscanthus, la perte de récolte d'une année par exemple, la remise en état de la parcelle engagée et la date annuelle maximale où doit parvenir la lettre de résiliation pour laisser le temps tant à la collectivité qu'au producteur de se retourner.

Recommandations de mise en oeuvre pour les collectivités

La Chambre d'agriculture vous accompagne

- Réunion d'**informations des élus** et des techniciens des collectivités sur le miscanthus et ses divers intérêts
- Organisation de **voyage d'études** pour visiter des chaufferies approvisionnées en miscanthus mises en place par des collectivités
- Travail partenarial avec le maître d'œuvre retenu par le maître d'ouvrage pour l'**approvisionnement en miscanthus**
- Appui à la **formalisation d'un projet de territoire** auprès des collectivités
- **Animations territoriales** pour l'adhésion des citoyens et des agriculteurs au projet de chaufferie miscanthus
- Définition du **territoire cible pour la plantation** de miscanthus en partenariat avec les collectivités et les syndicats d'eau locaux.
- **Recrutement des agriculteurs** du territoire pour intégrer le projet de territoire
- Appui à l'**organisation collective** des producteurs
- Appui à la **contractualisation**
- Accompagnement des projets individuels de **plantation et suivis des cultures** les 3 premières années
- **Suivi de l'approvisionnement** en miscanthus les 2 premières années d'utilisation de la chaufferie en lien avec les techniciens dédiés à la gestion de la chaufferie.

Contact :

Ludivine MIGNOT
l.mignot@pa.chambagri.fr



CHAMBRE
D'AGRICULTURE
PYRÉNÉES-ATLANTIQUES