



Miscan'plus – Avril 2026

Le miscanthus en chaudière biomasse

Recommandation de mise en œuvre pour les collectivités

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 4m de hauteur chaque année. La récolte a lieu généralement en sortie d'hiver, lorsque la plante est sèche et à moins de 17% d'humidité. Elle est récoltée à l'ensileuse à maïs et doit être stocké sous hangar au sec. La repousse annuelle est assurée par les rhizomes qui caractérisent cette plante, et qui donnent de multiples nouvelles tiges aériennes.

Sa culture nécessite très peu d'intrant et est fortement productive : 10 à 20 tonnes de matière brute par an dès sa pleine maturité à 4-5 ans.

Le Miscanthus en énergie

Caractéristiques énergétiques

Il existe principalement deux formes d'utilisation : vrac ou granulés. La forme de vrac (récolte à l'ensileuse maïs), permet une utilisation directe du champ au silo de chauffage sans transformation supplémentaire. C'est la forme la plus communément utilisée. Elle est donc à privilégier, même si la forme en granulés permet de gagner en volume de stockage au regard de la densité du produit.

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques du miscanthus qui nous éclairent sur ses qualités de culture énergétique, et révèlent les implications sur le choix de chaudière pour le brûler et de volume de stockage, les données pour les granulés et les plaquettes sont précisées à titre indicatives :

	PCI (kWh/T)	Emission de CO2 (gCO2/kWh)	Densité (kg/m3)	Taux d'humidité	Taux de cendre
Miscanthus vrac	4300 - 4700	~ 480	120	16%	1.9%
Plaquettes bois vrac	4700 - 4800	~ 360	200	25%	0.8%
Granulés bois	4700 - 5200	~ 360	700	10%	0.6%

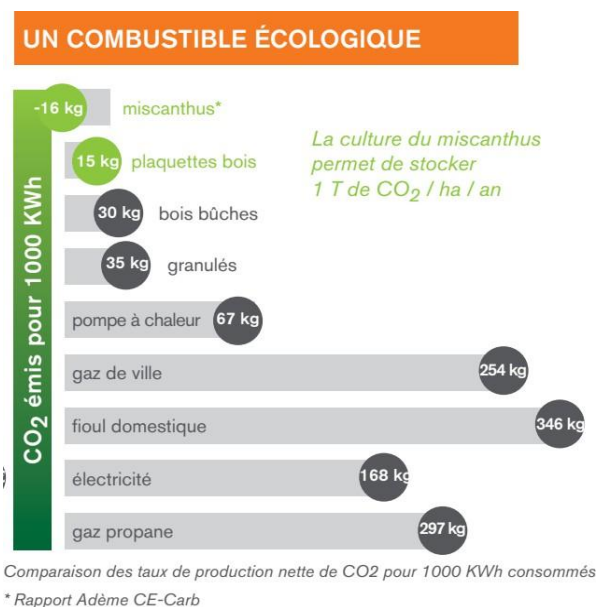
L'impact du taux d'humidité est similaire au cas du bois en ce qui concerne la qualité de combustion. Le taux d'humidité est fonction du moment de la récolte mais pour une bonne conservation il doit être récolté à moins de 17% d'humidité.

Comme l'indique le tableau, le miscanthus génère un taux de cendre plus important que le bois.

Réduction des émissions 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 classes 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** (carbone additionnel) avec un taux de production nette de CO₂ négatif de 16 kg pour 1000KWh consommés, d'après le rapport Ademe CE-Carb (2022) dont les études ont été réalisées dans le sud de la France.



Source : Heizomat / Novabiom 2023

Recommandations

La chaudière

Une chaudière polycombustible est indispensable à la gestion des caractéristiques physico-chimiques du miscanthus. Certains constructeurs ont développé des chaudières polycombustible très bien adaptées au miscanthus.

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

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

La présence de conduits en céramiques dans les chaudières permet d'éviter la corrosion des conduits d'évacuation lorsqu'on brûle du miscanthus.

Un réglage précis de la chaudière est indispensable pour optimiser son utilisation et garantir sa durabilité. Un technicien averti est nécessaire pour la mise en route et la programmation de la chaudière. Le miscanthus étant homogène (contrairement aux plaquettes bois qui peuvent être de qualité très variable), peu de réglage sont ensuite nécessaires. Certains constructeurs de chaudières proposent des formations de maintenance des chaudières polycombustibles.

Eviter la formation de 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.

La technologie a été adaptée par les constructeurs 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.

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.

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 et d'avoir un corps de chauffe avec racleur continu.

Les cendres de miscanthus sont épandables aux champs sans risques 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). Ce qui équivaut à un retour au champ de la matière prélevée.

Eviter les risques de corrosion des conduits d'évacuation

Idéalement, il faut prévoir une fumisterie en céramique pour limiter les risques de corrosion des conduits d'évacuation lorsqu'on brûle du miscanthus, et régler la chaudière de telle sorte à avoir des températures de fumée élevées empêchant la condensation. L'isolation des conduits d'évacuation est pertinente. C'est par une gestion et un réglage approprié des entrées d'air secondaire que l'on obtiendra une température de fumée suffisante, tout en ayant une température de foyer pas trop élevée.

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. L'expérience autrichienne nous apprend qu'une récolte tardive (fin avril) permet de diminuer la teneur en chlore mais peut impacter la pousse de la nouvelle année.

Miscanthus en vrac

Afin d'éviter notamment la projection non maîtrisée de suie sur les parois du foyer (foisonnement), qui peuvent conduire à une augmentation anormale des fumées, y compris à l'extérieur de la chaudière, on recherchera une longueur de coupe de 35mm 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. Certains constructeurs proposent maintenant des systèmes de traitement des fumées pour garantir le taux de particules émises.

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 est primordiale. 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%.

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.

Approche économique

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 équivalent à celui du bois mais une densité en vrac deux fois plus faible. Il sera donc nécessaire de tenir compte de ces paramètres dans le dimensionnement des silos de stockage afin de limiter la multiplication des livraisons.
- 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 afin notamment de 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 à 15% de l'investissement par rapport à une chaufferie bois classique (qui ne permet pas de brûler du miscanthus, alors qu'une chaudière polycombustible pourra aussi brûler du bois). A noter une chaudière polycombustible permet de brûler du miscanthus mais également du bois ou des rafles de maïs par exemple.

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.

Repères :

1ha de miscanthus

- Produit ~13 TMB/ha (à évaluer, selon le potentiel de sol : de 9 à 18TMS)
- Permet de produire environ 65 kWh (à 13 TMB/ha)
- Nécessite 80 à 85m³ de stockage soit 35 à 40m² sur 3-4 m de haut
- Stocke ~1 T Carbone/ha/an

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. Étant donné la faible densité du miscanthus, un approvisionnement local (20 km 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 4-5 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. 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.

Exemple d'évolution de rendement du miscanthus au cours des 5 premières années :

Année	1	2	3	4	5
Rendement en TMB/ha à 17% d'humidité (à adapter selon potentiel de sol)	0	6	9	11	13

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).

Frais de plantation du miscanthus (indicatif)

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 3000€ à 4000€ par hectare pour l'implantation du miscanthus.

Le prix d'achat du miscanthus par la collectivité 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 en fonction de sa rotation.

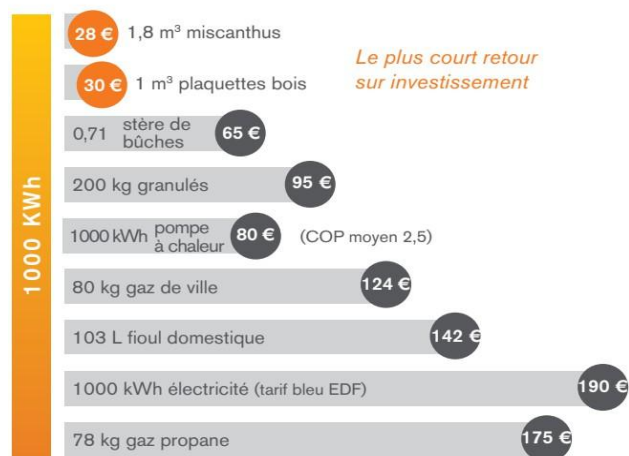
De son côté, la collectivité qualifiera son projet en fonction du coût de l'énergie en €/kWh entre les différents types d'énergie. Le combustible ayant un prix le plus proche du miscanthus est la plaquette de bois.

Le tableau suivant présente, pour un prix de marché de la biomasse, l'équivalent en coût de production du miscanthus avec les éléments techniques culturels d'un cas Type où la culture est installée sur une parcelle de 3 ha éloignée de 15km du siège de l'exploitation. La plantation restera en place 20 ans avec un rendement moyen pluriannuel de 13T de matière brute. La récolte est réalisée avec une ensileuse et stockée dans un bâtiment spécialement construit pour abriter uniquement la production annuelle. Aucun soutien financier qui pourrait réduire le coût de la mise en place n'est intégré. La conjoncture économique est celle de l'année 2025.

Donc pour un prix de marché de la biomasse à 34 € du MW/h, le coût de production équivalent du miscanthus est de 146 €/T brute. Avec l'exemple de ce cas type, le coût de production calculé à 104 €/T brute est concurrentiel jusqu'à générer un profit de 43 €/T brute.

Prix MWh combustible biomasse	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
Équivalence coût de production miscanthus €/T à 83 % de MS	103	112	120	129	138	146	155	163	172	181	189
Différence au coût de production	0,2	8,8	17,4	26,0	34,6	43,2	51,8	60,4	69,0	77,6	86,2

UN COMBUSTIBLE ÉCONOMIQUE



Comparaison du coût des combustibles pour 1000 kWh consommés

Source : Heizomat / Novabiom 2023

En comparaison à d'autres combustibles, le miscanthus est très économique notamment en comparaison avec les énergies fossiles (hypothèse d'un prix d'achat à 130€/t).

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 intermédiaire.

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

La contractualisation

Le miscanthus étant une culture pérenne, il s'agira pour l'agriculteur adhérent 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 afin de garantir l'intérêt de l'implantation à ce dernier. A noter, l'achat de combustible locaux ne rentre pas dans le cadre des appels d'offre, les contrats peuvent se faire de gré à gré.

Il est indispensable d'y faire apparaître les mentions minimales des contrats.

Des mentions complémentaires pourront apparaître telles :

- **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 (< 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 (labélisation 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 des livraisons** et de qui en supporte la charge en précisant si les remorques sont pesées avant livraison et par qui,
- **Les modalités de stockage** et qui en supporte la charge, 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 intermédiaire 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 indices de révision de ces différents prix (IPAMPA grandes cultures pour le 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, 15 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.

Votre contact local

Prénom
NOM
Tél
Mail

Rédacteur

Ludivine MIGNOT
Chambre d'agriculture des Pyrénées Atlantiques

Delphine TREBOZ
Chambre d'agriculture de Côte-d'Or

Relecture : partenaires Miscan'Plus

Projet lauréat REFLEX 2023
La responsabilité du Ministère en charge de l'Agriculture ne saurait être engagée.

