

MisTigation (2023-2026) - Le miscanthus pour atténuer le changement climatique

Le miscanthus, culture pérenne, est implanté pour une vingtaine d'années et apporte une réponse aux objectifs d'**atténuation et d'adaptation au changement climatique**. Les services écosystémiques, ou services environnementaux, rendus par la culture sont aussi mobilisables pour agir sur d'autres problèmes environnementaux : **une parcelle de miscanthus est multifonctionnelle !**

Le projet de recherche MisTigation, intitulé « Le miscanthus pour ses services écosystémiques à destination des collectivités locales », s'inscrit dans le thème « Produire et valoriser durablement les biomasses : une bioéconomie au service de la transition écologique ». Ce thème de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) correspond au titre de son appel à projet de recherche GRAINE (Gérer, valoriser et produire les biomasses) pour l'édition de 2022, par lequel le projet MisTigation a été financé. MisTigation réunit un consortium composé de cinq entités alliant des compétences complémentaires : l'Unité Mixte de Recherche transfrontalière BioEcoAgro (INRAE d'Estrées-Mons et la Grande École JUNIA de Lille), la société Novabiom, l'INRAE GCIE Picardie, et l'IJPB Versailles.

Un des objectifs de MisTigation est d'identifier ce que produit une parcelle de miscanthus pour les collectivités : biomasse et autres services écosystémiques.

MisTigation inclut une revue bibliographique des services écosystémiques rendus par le miscanthus. Cette revue, réalisée par Novabiom, suit la trame de la classification CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), classification issue des travaux de l'Agence Européenne de l'Environnement. Cette classification permet un recensement exhaustif des services écosystémiques, mais ne permet pas d'identifier directement les services les plus importants et distinctifs rendus par le miscanthus : protection de l'eau, stockage de carbone, lutte contre l'érosion.

Enfin, cette revue des services écosystémiques s'inscrit dans la réflexion sur la **maximisation des services écosystémiques rendus par le miscanthus via son implantation sur des zones préférentielles du territoire, zones sur lesquelles les services écosystémiques fournis seront plus élevés.**

Pourquoi utiliser l'approche de services écosystémiques ?

Les sociétés humaines ne fonctionnent pas en autonomie mais sont en interaction avec leur environnement, et dépendent, bon gré mal gré, du fonctionnement des écosystèmes naturels. Par exemple, les sociétés humaines utilisent les sols pour produire de la nourriture ou de l'énergie, les forêts pour produire du bois de chauffage ou des matériaux de construction et ainsi de suite. Cependant, avec l'émergence des sociétés industrielles, les besoins humains ont augmenté, ce qui a mené à une intensification de l'utilisation des écosystèmes et donc à un changement profond de leur fonctionnement avec une dégradation de la biodiversité. C'est pourquoi, dans les années 60-70, des biologistes de la conservation proposent le **concept de "services" rendus par les écosystèmes**. Ce **concept est utilisé comme outil pour sensibiliser aux interdépendances entre humains et écosystèmes**, et ainsi pour communiquer auprès de l'Etat, des entreprises et des citoyens sur les enjeux environnementaux (Mouchet et al., 2023).

Un service écosystémique, c'est **un bénéfice que les êtres humains retirent du fonctionnement de l'écosystème**. Les écosystèmes fonctionnent : des processus biologiques ont lieu. Les êtres humains peuvent tirer profit de ces processus. Un **service écosystémique, c'est donc la contribution des écosystèmes au bien-être humain** (Mouchet et al., 2023). Dans le projet MisTigation, **l'écosystème d'intérêt est la parcelle de miscanthus**, à élargir ensuite à l'échelle du paysage.

La littérature scientifique permet de déterminer les services écosystémiques produits par une parcelle de miscanthus, et ces services sont organisés suivants des classifications internationales. Plusieurs classifications coexistent et répondent à des objectifs différents (de Groot et al., 2002; Fisher et al., 2009). En particulier, la classification proposée par le **Millennium Ecosystem Assessment** en 2005 (Vallet, 2021; Mouchet et al., 2023) a un objectif de communication, pour faciliter la compréhension et l'appropriation du concept par les décideurs publics, le grand public, etc. Cette classification s'appuie sur **4 grandes catégories de services** :

- **Services d'approvisionnement/de prélèvement** : les biens matériels produits par les écosystèmes, ex : la forêt produit du bois.
- **Services de régulation** : participent à la régulation des conditions environnementales (climat, inondation, maladies, etc.), ex : la forêt régule le climat.
- **Services culturels** : bénéfiques, inspirations, idées nées de la nature, du biomimétisme à l'inspiration artistique ou religieuse, en passant par les loisirs, ex : la forêt comme source d'inspiration artistique.
- **Services supports** : fonctions écologiques de base remplies par les écosystèmes, les propriétés des écosystèmes qui permettent de réaliser les autres catégories de services, ex : formation des sols, qui assurent ensuite d'autres services.

Plus récemment, la **classification CICES**, « Common International Classification of Ecosystem Services » (<https://cices.eu/>) créée en 2013 par l'Agence Européenne de l'Environnement (Mouchet et al., 2023), a quant à elle pour objectif de répondre à des questions de politiques publiques et des analyses coûts-bénéfices pour la prise de décision (Wallace, 2007; Vallet, 2021). Elle reprend les quatre catégories de services Millennium Ecosystem Assessment, en fusionnant les services de régulation et de support en une seule catégorie pour éviter de compter plusieurs fois un même service lors des évaluations (Haines-Young & Potschin, 2018).

La **classification CICES définit un service écosystémique en 2 parties : (i) ce que l'écosystème produit, et (ii) en quoi ce produit est un bénéfice pour l'être humain**. Si un bénéfice pour l'être humain peut être tiré du fonctionnement d'un écosystème, alors on parle de service fourni par l'écosystème.

Enfin, pour évaluer les services rendus, plusieurs méthodes existent, en particulier l'approche qualitative (« service fourni ? oui/non ») et la modélisation (Mouchet et al., 2023).

L'évaluation des services écosystémiques que peut fournir une parcelle de miscanthus

Pour le projet MisTigation, **les services écosystémiques ont été évalués pour une parcelle de miscanthus, par une approche qualitative (littérature scientifique non exhaustive) ; et en suivant la trame de la classification CICES V5.1¹**. Chaque service est répertorié par un code qui sera rappelé dans ce document, par exemple : le service 1.1.1.3 correspondant à la production de biomasse utilisable comme source d'énergie.

Il est ensuite possible d'avoir une approche de quantification de la valeur économique de ces services. Cette approche, complexe, est notamment intéressante pour les décideurs politiques. Von Cossel et al. (2020) ont réalisé un travail de monétisation très complet des services rendus par le miscanthus, que nous vous invitons à consulter. Nous ne la détaillerons pas dans la suite du document.

La multifonctionnalité des parcelles de miscanthus

D'après la classification CICES (The Common International Classification of Ecosystem Services) créée en 2013 par l'Agence Européenne de l'Environnement.

- 1 Services de production**
 - Fourniture de biomasse (énergie, litière, paillage)
 - Production de rhizomes
- 2 Services environnementaux (de régulation)**
 - Modification et régulation des composantes biologiques, physiques et chimiques de l'écosystème
 - Qualité de l'air, écran sonore & visuel, brise vent
 - Régulation des masses d'eau - Maintien de la qualité de l'eau
 - Gestion des bioagresseurs et des maladies
 - Habitat pour la biodiversité
 - Maintien et amélioration de la qualité des sols. Biorémédiation (solution pour les sols pollués au Métaux lourds)
- 3 Services immatériels**
 - Esthétique, symbolique écologique, sensation de nature

Le miscanthus, culture de diversification pérenne et sans intrants
Extrait de la revue bibliographique des services environnementaux rendus par les parcelles de miscanthus, dans le cadre du projet MisTigation – AAP Graine 2022.

Logos: ADEME, GRAINE, INRAE, Novabiom

Étude disponible sur www.novabiom.com et sur <https://mistigation.hub.inrae.fr/>

¹ Uniquement les services biotiques et l'eau.

Fourniture de biomasse et de rhizomes (CICES, services 1.1.1.2, 1.1.1.3 et 1.2.1.1)

Tout d'abord, le miscanthus **fournit de la biomasse ligno-cellulosique**, principalement à ce jour pour un usage non alimentaire de type paillage et litière ou pour un usage énergétique (Weik et al., 2022). En France, en 2020, les principaux débouchés étaient la litière (46% du volume), l'énergie (30%) et le paillage (20%) (AGREX CONSULTING, 2020). De nouveaux usages en bioproduits sont en développement : par exemple plastiques, matériaux isolants, terreaux.

En Europe, les rendements de miscanthus non irrigués varient entre 8 à 20 t de matière sèche/ha/an (Lewandowski et al., 2000, 2003), avec pour les parcelles bien implantées en moyenne entre 12 et 18 tMS/ha/an (Lesur-Dumoulin et al., 2016) en fonction des propriétés de sols et de la météo.

Le pouvoir calorifique du miscanthus est de 4,13 MWh/t (Novabiom & Heizomat France, 2022) à 15% d'humidité sur brut, c'est-à-dire au taux d'humidité à la récolte.

Enfin, une parcelle de miscanthus **produit des rhizomes** utilisables pour implanter de nouvelles surfaces en miscanthus.



Le miscanthus produit 10-20 tMS/ha/an, récoltés majoritairement en copeaux. Chaque rhizome planté se multiplie pour atteindre, au bout de 4 à 5 ans, une galette de rhizome de 1 m de diamètre.

Modification des composantes physiques et chimiques de l'écosystème

Bioremédiation 2.1.1.1.

Le miscanthus a un effet de **bioremédiation** (Fernando et al., 2010) et il **tolère des sols marginaux** (inondations, salinité, contamination aux métaux lourds). Le miscanthus a principalement un effet de phytostabilisation des métaux lourds au niveau de la rhizosphère (Nsanganwimana et al., 2015).

Ainsi, Bami et al. (2020) ont comparé un sol pollué aux métaux lourds, sous un miscanthus de 5 ans et sous une prairie de plus de 10 ans en France. Ses résultats montrent qu'il y a près de deux fois plus d'éléments traces métalliques (ETM) sous le miscanthus que sous la prairie, c'est-à-dire que le miscanthus atténue la mobilité verticale des ETM dans le sol et les concentre dans l'horizon superficiel².

Le miscanthus **exporte peu les polluants** (éléments traces métalliques (ETM) par exemple) dans ses tiges, mais **les accumule et les stabilise au niveau de la rhizosphère**. (Nsanganwimana et al., 2015) ont mesuré les métaux lourds tels que le zinc (Zn), le plomb (Pb), le cuivre (Cu) et le cadmium (Cd) dans les rhizomes, tiges et feuilles de miscanthus cultivés sur les sols pollués du site de la fonderie Metaleurop (Pas-de-Calais, France) et ont montré que les polluants restent dans les racines et rhizomes (très peu de translocation vers les parties supérieures). Ces observations ont ensuite été confirmées par Laval-Gilly et al. (2017).

Qualité de l'air, écran sonore et visuel (CICES, services 2.1.2.)

En France, le miscanthus est utilisable en zones de non-traitement (ZNT) en bordure d'habitation pour **filtrer l'air et préserver sa qualité**. Von Cossel et al. (2020) rappellent que les plantes régulent la qualité de l'air, en préservant l'équilibre entre dioxyde de carbone et oxygène (CO₂/O₂), la concentration en ozone (O₃) et en régulant les niveaux de différents oxydes de soufre (SO_x).



Les bandes de miscanthus, de quelques mètres de large, ont un effet barrière pour le vent et le sol. Elles protègent la qualité de l'air aux abords d'habitations, et des coulées de boues entre parcelles.

² Remarque : la phytodisponibilité dépend aussi du carbone organique, qui peut stabiliser les ETM. Dans ce cas, c'est un effet indirect du miscanthus qui enrichit le sol en carbone organique.

Régulations biologiques, chimiques et physiques des écosystèmes

Prévention de l'érosion (CICES, service 2.2.1.1)

Le miscanthus joue un rôle dans la **prévention de l'érosion des sols**, que ce soit en **limitant l'arrachement des particules de sol, en provoquant la sédimentation des particules ou en favorisant l'infiltration des eaux de pluie**. En effet, la couverture du sol quasi permanente et le système racinaire permanent limitent l'arrachement des particules de sol (Fernando et al., 2010; Saunier et al., 2018; Von Cossel et al., 2020; Mazur & Kowalczyk-Jusko, 2021). Cela permet de réduire l'érosion de surface.

L'agencement du miscanthus en **bandes ligno-cellulosiques** (BLC) ralentit le ruissellement et provoque la sédimentation des particules (Mazur & Kowalczyk-Jusko, 2021). Ces bandes sont particulièrement efficaces pour une largeur de l'ordre de 15-20 m (Saunier et al., 2018). Dans des expérimentations menées par l'Association de recherche sur le Ruissellement, l'Érosion et l'Aménagement du Sol (AREAS), Saunier et al. (2013, 2018) comparent les effets de bandes enherbées, de BLC de saule et de miscanthus. Le miscanthus est la culture qui ralentit le débit d'eau de manière la plus efficace, même si l'eau s'écoule entre les plants de miscanthus. De même, le miscanthus a la meilleure capacité à provoquer la sédimentation.

Enfin, le miscanthus **réduit le ruissellement de surface** (Holder et al., 2019) en **favorisant l'infiltration de la pluie dans les sols**, grâce à la présence d'une couche d'humus d'environ 10 cm. La capacité d'infiltration est de l'ordre de 60 mm/h, cependant inférieure à celle d'une prairie qui s'élève en moyenne à 65 mm/h mais qui varie en fonction du niveau de tassement (Saunier et al., 2018).

Ces deux derniers phénomènes diminuent l'érosion linéaire, c'est-à-dire l'entraînement des particules de sol.

Le quadrillage des parcelles par des bandes lignocellulosiques de miscanthus participe à la gestion de l'érosion dans les secteurs agricoles très sensibles, tels qu'ici en Seine-Maritime.



© Chambre d'agriculture de Normandie

Régulation des masses d'eau (CICES, service 2.2.1.3)

Sur des mécanismes similaires à l'érosion, le miscanthus permet une meilleure capacité d'infiltration et joue un rôle de frein hydraulique, **ce qui limite les ruissellements** (Saunier et al., 2018; Holder et al., 2019). Les parcelles de miscanthus peuvent **réguler les masses d'eau et participer à la gestion des inondations**.

Brise-vent (CICES, service 2.2.1.4)

Les bandes de miscanthus ont un **effet brise-vent**, qui est recherché au niveau des ZNT et pour l'aménagement du territoire (Von Cossel et al., 2020). Cet effet a par exemple été exploité et précisé en Nouvelle-Zélande le long de pâtures (Littlejohn et al., 2019).

Habitat pour la biodiversité (CICES, services 2.2.2.1 ; 2.2.2.3)

Les parcelles de miscanthus, de par un travail du sol réduit, l'absence de produits phytosanitaires après implantation et beaucoup de biomasses aérienne et souterraine (Fernando et al., 2010) fournissent **un bon abri pour la microfaune du sol, les invertébrés** (Bersonnet et al., 2010), **les oiseaux et les mammifères**. Comparé à une parcelle en grande culture, la méta analyse de Lask et al. (2020) montre qu'une parcelle de miscanthus a un effet positif sur la biodiversité des petits mammifères et de la flore, un effet positif à neutre sur la biodiversité des oiseaux et arthropodes, et un effet neutre sur les vers de terre. Ainsi, dans une étude de Brami et al. (2020), le nombre de vers de terre sous miscanthus s'avère inférieur ou égal à ce qui est observé sous une prairie. Ce phénomène peut s'expliquer par le faible apport nutritionnel et l'appétence faible de la litière au sol car le ratio carbone/azote (C/N) est très élevé (jusqu'à 300). Il s'explique aussi par le temps nécessaire à la décomposition de la litière et par taille élevée des particules de litière. Ce dernier facteur a surtout un effet sur les espèces anéciques qui correspondent à des vers de grande taille³.

Les parcelles de miscanthus correspondent à un **habitat proche des haies et bords de bois** (Emmerling & Pude, 2017) et sont donc particulièrement intéressantes dans des paysages avec peu de refuges de ce type. Les parcelles offrent alternativement un habitat ouvert, après la récolte en avril et un habitat fermé à partir de juin, ce qui augmente le nombre d'espèces d'oiseaux pouvant utiliser l'espace (Tavakoli-Hashjini et al., 2020). Avec un seul passage d'engin agricole par an, les parcelles de miscanthus sont donc des **habitats peu perturbés, ce qui en fait de bons refuges pour la faune**.

Plus largement, le miscanthus, culture pérenne et de diversification, **s'intègre dans le paysage agricole et augmente son hétérogénéité**. Cette plus grande diversité d'habitats dans un territoire agricole est favorable à la biodiversité, le miscanthus peut par exemple constituer un élément des corridors écologiques (Dauber & Miyake, 2016; Emmerling & Pude, 2017; Von Cossel et al., 2019).

Le miscanthus est un environnement peu perturbé, avec une intervention annuelle sur la parcelle, pour la récolte en avril, ce qui en fait un bon habitat pour la faune et la flore en bordures.



³ Les vers de terre anéciques évoluent sur la totalité de l'épaisseur de sol disponible.

Gestion des bioagresseurs et des maladies (CICES, services 2.2.3.1 ; 2.2.3.2)

Les parcelles de miscanthus participent à la gestion des bioagresseurs en fournissant un **habitat pour les auxiliaires** (Bersonnet et al., 2010; Fernando et al., 2010; Lask et al., 2020).

Les travaux de Ameline et al. (2015) ont montré que *Miscanthus x giganteus* n'agit pas comme un hôte pour les trois espèces de pucerons les plus rencontrés en Picardie (Hauts-de-France) : les descendances des pucerons ne pouvant s'y développer complètement et atteindre l'âge adulte.

En fonction de **l'agencement du parcellaire à l'échelle du paysage**, les parcelles de miscanthus ont une fonction de **barrière physique** dans la propagation de maladies et de bioagresseurs (Lovett et al., 2015).



Les parcelles de miscanthus participent à la diversification des paysages. Des petites parcelles, en bandes, aménagent le territoire pour favoriser une mosaïque de cultures.

Maintien et amélioration de la qualité des sols (CICES, service 2.2.4.2)

Le miscanthus **favorise le maintien de la qualité des sols, et en particulier du taux de matière organique** (Tavakoli-Hashjini et al., 2020). La très faible utilisation de produits phytosanitaires favorise la vie du sol (Von Cossel et al., 2019). **L'absence de travail du sol et le système racinaire pérenne améliorent la structure du sol** (Fernando et al., 2010).

La culture de miscanthus, récoltée à sur-maturité en fin d'hiver, exporte très peu de nutriments, que ce soit l'azote, le phosphore ou le potassium (Fernando et al., 2010). Ferchaud et al. (2016) ont réalisé une expérimentation avec un apport d'engrais azoté marqué dans laquelle on retrouve 36% de cet azote marqué dans le sol sous les cultures pérennes (miscanthus et switchgrass) contre 19% pour les cultures annuelles. Ils font l'hypothèse que l'accumulation de résidu de culture sous les pérennes crée une forte demande microbienne pour l'azote. Cet azote microbien sera alors incorporé à la matière organique pour être lui-même lentement minéralisé dans les années suivantes. La **fertilité minérale du sol est donc mieux préservée** sous des cultures pérennes comme le miscanthus.

Dufossé et al. (2014) ont étudié la fertilité du sol au moment de la destruction d'une parcelle de miscanthus de 20 ans, avec pour comparaison une parcelle adjacente sur laquelle étaient cultivés des cultures annuelles. Les analyses de sols montrent que la parcelle cultivée pendant 20 ans en miscanthus, contient significativement plus de carbone organique dans la couche superficielle du sol, de l'ordre de plus de 13 t C/ha. Il n'y a pas de différence significative de quantité d'azote entre les

deux parcelles, mais moins de P et K dans la parcelle de miscanthus (1200 kg de K total en moins/ha ; 100 kg de P total en moins/ha).

La culture de miscanthus **augmente la matière organique dans le sol** par plusieurs processus : accumulation et décomposition des feuilles mortes au sol, décomposition annuelles des racinelles. La hausse de carbone organique varie entre 0,42 et 3,8 $\text{teqCO}_2/\text{ha}/\text{an}$ (Mc Calmont et al., 2017; Ferchaud et al., 2022). Le projet CE-Carb (Ferchaud et al., 2022) a permis de déterminer une fourchette de valeurs de carbone stocké dans les sols sous miscanthus, qui dépend de l'environnement : dans le sud de la France il est plus élevé que dans le nord. De plus, le stockage de carbone n'est pas linéaire dans le temps (le sol atteint un équilibre) et dépend notamment du taux d'argile.



La culture du miscanthus, plante pérenne, contribue à enrichir le sol en matière organique, notamment avec le retour au sol des feuilles et la décomposition annuelle des racinelles et des parties les plus anciennes des rhizomes.

Maintien de la qualité de l'eau (CICES, service 2.2.5.1)

Le miscanthus, **en limitant la lixiviation de l'azote** communément appelée lessivage de l'azote (Lesur et al., 2014; Ferchaud & Mary, 2016), **des produits phytosanitaires et de leurs métabolites vers les nappes phréatiques, a un effet sur la qualité de l'eau** (Lovett et al., 2015; Tavakoli-Hashjini et al., 2020; Von Cossel et al., 2020). Le miscanthus limite le transfert des polluants vers les nappes par plusieurs phénomènes principaux :

- Une **très bonne capacité à recycler l'azote** qui nécessite peu ou pas d'apport d'azote sur les parcelles (Strullu et al., 2011; Leroy et al., 2022). La plante dispose en effet d'un organe de stockage des réserves, appelé rhizome, dans lequel elle va stocker de l'azote pendant la senescence, lequel sera remobilisé au printemps suivant pour assurer la croissance de la plante (Strullu et al., 2011).
- Il est important de noter que le miscanthus a des besoins en azote faibles pour produire de la biomasse, ses besoins s'élevant à 60% de ceux du sorgho ou du maïs pour produire une même quantité de biomasse aérienne (Zapater et al., 2017). Cadoux et al. (2012) attribuent une telle différence à une efficacité élevée d'absorption de l'azote et à sa bonne efficacité d'utilisation (peu d'azote pour produire une grande quantité de biomasse à un instant donné), la capacité à remobiliser l'azote au printemps (du rhizome vers les parties aériennes) et à l'automne (des parties aériennes vers le rhizome), ainsi qu'une possible contribution de bactéries pour la fixation d'azote. L'enracinement profond permet au miscanthus de mobiliser la majorité de l'azote présent dans le sol (Holder et al., 2019; Von Cossel et al., 2019). Les besoins pour les produits

phytosanitaires sont également faibles car le miscanthus ne nécessite que du désherbage lors de la première années de culture - lequel peut être réalisé mécaniquement - afin d'assurer l'installation du couvert. Tous **ces faibles besoins réduisent d'autant plus les sources potentielles de transfert.**

- Une **amélioration des propriétés du sol**, qui filtre mieux les particules, les pathogènes et les molécules organiques et inorganiques (Von Cossel et al., 2020).

Weik et al. (2022) ont modélisé les flux d'azotes dans la région de Baden-Württemberg en Allemagne, pour différents scénarios d'implantation de miscanthus sur des aires d'alimentation de captages. La diminution de la lixiviation est évaluée de -4 % à -44% sauf dans 2 cantons où la lixiviation augmente jusqu'à +13% par des effets de changement de culture, du fait d'une modification des assolements dans le modèle.

Enfin, les **bandes anti-érosion** de miscanthus sont efficaces pour protéger la qualité des eaux des pollutions diffuses. Mazur et Kowalczyk-Jusko (2021) ont montré qu'en absence de bandes de miscanthus, on retrouve 20 à 40% de plus de nutriments azotés dans le cours d'eau en aval de la parcelle.

Implanté sur des aires d'alimentation de captages, le miscanthus contribue à la protection de la qualité de l'eau, par l'absence d'intrants apportés, et en constituant une zone tampon et de dilution des pollutions.



Régulation du climat, stockage de carbone et économie d'intrants (CICES, service 2.2.6.1)

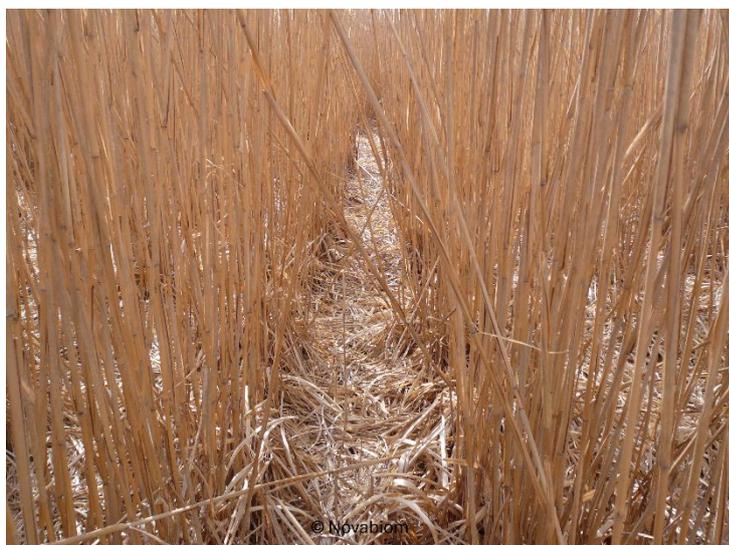
Les parcelles de miscanthus **contribuent à réguler le climat** (Lovett et al., 2015) par plusieurs phénomènes :

- La **séquestration de carbone dans le sol** qui permet de limiter le taux de CO₂ dans l'atmosphère (Von Cossel et al., 2019). Le carbone s'accumule en surface par les feuilles mortes, qui représentent 29 à 42% de la biomasse aérienne (Lewandowski et al., 2000) ce qui représente ainsi une accumulation annuelle dans le sol de 1 à 2,2 t teqCO₂/ha. La séquestration annuelle de carbone dans le sol en France est en moyenne de 1 teqCO₂/ha/an (Ferchaud et al., 2022).
- Le miscanthus **consomme peu d'intrants** (Zapater et al., 2017), en particulier d'azote, ce qui limite également les émissions de NH₃ et NH₄ (Dufossé et al., 2014; Von Cossel et al., 2019).
- **l'utilisation du miscanthus en combustible à la place d'énergies fossiles** (phénomène de substitution) : une tonne de miscanthus (PCI = 4.2 kWh/kg à 17% d'humidité) équivaut à 356 l de fioul (PCI = 11.8 kWh/l).

- **l'effet albédo en hiver selon lequel la végétation a un pouvoir refroidissant** car la culture, de couleur jaune pâle, est généralement plus claire que la majorité des sols agricoles, aux teintes marrons, à cette époque de l'année (Von Cossel et al., 2020).

Enfin, la réduction d'émission de gaz à effets de serre (GES) par une parcelle de miscanthus par rapport à un champ cultivé en grande culture varie de -16 à -724 % d'après l'analyse de cycle de vie conduite par Weik et al. (2022) qui prend en compte la culture du miscanthus, le changement d'usage des sols, le stockage du carbone dans les sols et la substitution d'énergie fossile par le miscanthus pour se chauffer (chaufferie biomasse). Les variations de GES dépendent notamment du changement d'usage des sols.

Le miscanthus peut stocker l'équivalent de 1 tCO₂/ha/an dans les sols. La partie récoltée de la plante est quant à elle utilisée en substitution d'énergie fossile pour le chauffage, ou retourne au sol lorsqu'elle est utilisée en paillage ou en litière en élevage.

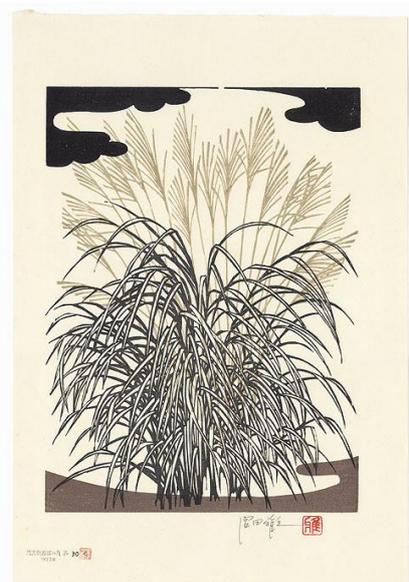


Services culturels (CICES, services 3.1.1.1 ; 3.1.1.2 ; 3.2.1.3)

Parmi les services culturels remplis par le miscanthus (Von Cossel et al., 2020), on retrouve :

- La fourniture d'un **espace de loisir** : chasse, labyrinthes.
- Une dimension **esthétique** forte.
- Une **dimension patrimoniale**, d'élément d'identité d'un territoire. Ainsi, l'utilisation du miscanthus localement, pour le chauffage de bâtiments communaux par exemple, en fait un patrimoine commun. Un ancrage local du miscanthus apporte alors de la valeur et de l'activité au territoire.

Le miscanthus, source d'inspiration artistique traditionnelle au Japon (Fuji Arts Japanese Prints - Miscanthus, 1977 by Masayuki Miyata (1926 - 1997)) et repris dans des œuvres autres/modernes Textile Art | Miscanthus with Apple Tree | Amanda Richardson (amandarichardsonartist.com)....



Conclusion : Faire des choix de gestion des parcelles en fonction des services écosystémiques recherchés - bouquets de services écosystémiques

Un écosystème ne peut pas fournir tous les services écosystémiques comme le rappelle (Ben Fradj et al., 2020). Certains services écosystémiques sont antinomiques et il faut donc choisir lesquels prioriser. Ces compromis à faire entre services sont fréquents surtout entre les services d’approvisionnement et de régulations. Par exemple, une parcelle de miscanthus produit moins de biomasse sur un sol pollué mais il stabilise les polluants et limite leur diffusion dans le milieu.

En fonction des services recherchés prioritairement, les approches pour l’implantation de parcelles de miscanthus sont différentes (usage précédent des parcelles, leurs tailles, l’agencement, la densité des pieds, etc.). Par exemple, un projet dont l’objectif est de séquestrer du carbone est d’autant plus efficace si le miscanthus est utilisé en litière, paillage voire compostage, car dans ce cas la majorité du carbone retourne au sol, contrairement à un usage en combustible. Lors de l’implantation d’une parcelle de miscanthus, l’objectif est donc d’optimiser les services rendus.

Bibliographie

- AGREX CONSULTING. (2020). *Étude sur la formation des prix dans la filière française de production du miscanthus—Synthèse* (Les Etudes). France Agri Mer. <https://www.franceagrimer.fr/content/download/65063/document/Etude%20miscanthus%20note%20synth%202020%20VF.pdf>
- Ameline, A., Kerdellant, E., Rombaut, A., Chesnais, Q., Dubois, F., Lasue, P., Coulette, Q., Rambaud, C., & Couty, A. (2015). Status of the bioenergy crop miscanthus as a potential reservoir for aphid pests. *Industrial Crops and Products*, 74, 103-110. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.055>
- Ben Fradj, N., Rozakis, S., Borzecka, M., & Matyka, M. (2020). Miscanthus in the European bio-economy: A network analysis. *INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112281>
- Bersonnet, C., Lemesle, L., & Froissard, F. (2010). Ecological impact of Miscanthus (*Miscanthus Giganteus*) and Switchgrass (*Panicum Virgatum*) in Indre et Loire County Fr. Through Carabidae. *18th European Biomass Conference and Exhibition, OE3.2*, 2142-2145. <https://doi.org/10.5071/18thEUBCE2010-OE3.2>
- Brami, C., Nathan Lowe, C., Menasseri, S., Jacquet, T., & Pérès, G. (2020). Multi-parameter assessment of soil quality under *Miscanthus x giganteus* crop at marginal sites in Île-de-France. *Biomass and Bioenergy*, 142. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105793>
- Cadoux, S., Riche, A. B., Yates, N. E., & Machet, J.-M. (2012). Nutrient requirements of *Miscanthus x giganteus*: Conclusions from a review of published studies. *Biomass and Bioenergy*, 38, 14-22. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.015>
- Dauber, J., & Miyake, S. (2016). To integrate or to segregate food crop and energy crop cultivation at the landscape scale? Perspectives on biodiversity conservation in agriculture in Europe. *Energy, Sustainability and Society*, 6:25. <https://doi.org/10.1186/s13705-016-0089-5>
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Dufossé, K., Drewer, J., Gabrielle, B., & Drouet, J.-L. (2014). Effects of a 20-year-old *Miscanthus x giganteus* stand and its removal on soil characteristics and greenhouse gas emissions. *Biomass and Bioenergy*, 69, 198-210. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.003>
- Emmerling, C., & Pude, R. (2017). Introducing *Miscanthus* to the greening measures of the EU Common Agricultural Policy. *GCB Bioenergy*, 9(2), 274-279. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12409>
- Ferchaud, F., & Mary, B. (2016). Drainage and Nitrate Leaching Assessed During 7 Years Under Perennial and Annual Bioenergy Crops. *Bioenergy Research*, 9(2), 656-670. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9710-2>
- Ferchaud, F., Mouny, J.-C., Duparque, A., Marsac, S., & Chenu, C. (2022). *Projet CE-CARB : cultures énergétiques et stockage de carbone dans les sols. Rapport final.* (p. 125). <https://bibliothèque.ademe.fr/produire-autrement/5389-ce-carb-cultures-energetiques-et-stockage-de-carbone.html>
- Ferchaud, F., Vitte, G., Machet, J.-M., Beaudoin, N., Catterou, M., & Mary, B. (2016). The fate of cumulative applications of 15N-labelled fertiliser in perennial and annual bioenergy crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223, 76-86. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.030>
- Fernando, A. L., Duarte, M. P., Almeida, J., Boléo, S., & Mendes, B. (2010). Environmental impact assessment of energy crops cultivation in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(6), 594-604. <https://doi.org/10.1002/bbb.249>
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common international classification of ecosystem services (cices) v5.1. Guidance on the application of the revised structure, EEA Framework Contract, European Environment Agency.* <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
- Holder, A., Rowe, R., McNamara, N., Donnison, I., & McCalmont, J. (2019). Soil & Water Assessment Tool (SWAT) simulated hydrological impacts of land use change from temperate grassland to energy crops: A case study in western UK. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY*, 11(11), 1298-1317. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12628>
- Lask, J., Magenau, E., Ferrarini, A., Kiesel, A., Wagner, M., & Lewandowski, I. (2020). Perennial rhizomatous grasses: Can they really increase species richness and abundance in arable land?—A meta-analysis. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY*, 12(11), 968-978. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12750>
- Laval-Gilly, P., Henry, S., Mazziotti, M., Bonnefoy, A., Comel, A., & Falla, J. (2017). *Miscanthus x Giganteus* Composition in Metals and Potassium After Culture on Polluted Soil and Its Use as Biofuel. *Bioenergy Research*, 10(3), 846-852. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s12155-017-9846-3>
- Leroy, J., Ferchaud, F., Giauffret, C., Mary, B., Fingar, L., Mignot, E., Arnoult, S., Lenoir, S., Martin, D., Brancourt-Hulmel, M., & Zapater, M. (2022). *Miscanthus Sinensis* is as Efficient as *Miscanthus x Giganteus* for Nitrogen Recycling in spite of Smaller Nitrogen Fluxes. *Bioenergy Resources*, 15, 686-702. <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10408-2>
- Lesur, C., Bazot, M., Bio-Beri, F., Mary, B., Jeuffroy, M.-H., & Loyce, C. (2014). Assessing nitrate leaching during the three-first years of *Miscanthus x giganteus* from on-farm measurements and modeling. *GCB Bioenergy*, 6(4), 439-449. Scopus. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12066>
- Lesur-Dumoulin, C., Lorin, M., Bazot, M., Jeuffroy, M., & Loyce, C. (2016). Analysis of young *Miscanthus x giganteus* yield variability: A survey of farmers' fields in east central France. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY*, 8(1), 122-135. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12247>
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., & Huisman, W. (2000). *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 209-227. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00032-5)
- Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 335-361. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8)
- Littlejohn, C. P., Hofmann, R. W., & Wratten, S. D. (2019). Delivery of multiple ecosystem services in pasture by shelter created from the hybrid sterile bioenergy grass *Miscanthus x giganteus*. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40696-2>

- Lovett, A., Dockerty, T., Papathanasopoulou, E., Beaumont, N., & Smith, P. (2015). A framework for assessing the impacts on ecosystem services of energy provision in the UK: An example relating to the production and combustion life cycle of UK produced biomass crops (short rotation coppice and Miscanthus). *BIOMASS & BIOENERGY*, 83, 311-321. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.10.001>
- Mazur, A., & Kowalczyk-Jusko, A. (2021). The Assessment of the Usefulness of Miscanthus x giganteus to Water and Soil Protection against Erosive Degradation. *RESCOURCES-BASEL*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/resources10070066>
- Mc Calmont, J., Hastings, A., Mcnamara, N., Richter, G., Robson, P., Donnison, I., & Clifton-Brown, J. (2017). Environmental costs and benefits of growing Miscanthus for bioenergy in the UK. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY*, 9(3), 489-507. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12294>
- Mouchet, M., Porcher, E., Baulaz, Y., Couvet, D., Ducarme, F., Juillard, L., Mihoub, J.-B., & Sarrazin, F. (2023). *Les services écosystémiques*. Planet-Vie. <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/les-services-ecosystemiques>
- Novabiom & Heizomat France. (2022). *Chaufferie biomasse miscanthus—Le chauffage écologique et économique*.
- Nsanganwimana, F., Pourrut, B., Waterlot, C., Louvel, B., Bidar, G., Labidi, S., Fontaine, J., Muchembled, J., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Fourrier, H., & Douay, F. (2015). Metal accumulation and shoot yield of Miscanthus x giganteus growing in contaminated agricultural soils : Insights into agronomic practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 213, 61-71. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.023>
- Saunier, M., Ouvry, J. F., & Richet, J. B. (2013). *Programme de recherche 2013 sur les bandes ligno-cellulosiques testées par la Chambre d'Agriculture de Seine-Maritime, compte-rendu des mesures de ruissellement réalisées par l'AREAS*. <https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2022/01/blc-infiltration-areas-ca76-def-2013-11-29.pdf>
- Saunier, M., Ouvry, J. F., & Verger, A. (2018). *INNOBIOMA - Programme de recherches sur les Bandes Ligno-Cellulosiques—Capacités d'infiltration et de sédimentation sous saules (TTCR) et sous miscanthus [Rapport d'étude]*. <https://www.areas-asso.fr/ressources/documents/rapport-innobioma-programme-de-recherche-sur-les-bandes-ligno-cellulosiques-capacites-dinfiltration-et-de-sedimentation-sous-saules-ttcr-et-sous-miscanthus-saunier-areas-2018/>
- Tavakoli-Hashjini, E., Piorr, A., Müller, K., & Vicente-Vicente, J. L. (2020). Potential bioenergy production from miscanthus x giganteus in brandenburg : Producing bioenergy and fostering other ecosystem services while ensuring food self-sufficiency in the Berlin-Brandenburg region. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su12187731>
- Vallet, A. (2021). *Evaluation des services écosystémiques : De la théorie à la pratique*. AgroParisTech.
- Von Cossel, M., Iqbal, Y., & Lewandowski, I. (2019). Improving the ecological performance of miscanthus (miscanthus x giganteus greef et deuter) through intercropping with woad (isatis tinctoria L.) and yellow melilot (melilotus officinalis L.). *Agriculture (Switzerland)*, 9(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/agriculture9090194>
- Von Cossel, M., Winkler, B., Mangold, A., Lask, J., Wagner, M., Lewandowski, I., Elbersen, B., van Eupen, M., Mantel, S., & Kiesel, A. (2020). Bridging the Gap Between Biofuels and Biodiversity Through Monetizing Environmental Services of Miscanthus Cultivation. *EARTHS FUTURE*, 8(10). <https://doi.org/10.1029/2020EF001478>
- Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3), 235-246. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>
- Weik, J., Lask, J., Petig, E., Seeger, S., Vidaurre, N., Wagner, M., Weiler, M., Bahrs, E., Lewandowski, I., & Angenendt, E. (2022). Implications of large-scale miscanthus cultivation in water protection areas: A Life Cycle Assessment with model coupling for improved policy support. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY*, 14(11), 1162-1182. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12994>
- Zapater, M., Catterou, M., Mary, B., Ollier, M., Fingar, L., Mignot, E., Ferchaud, F., Strullu, L., Dubois, F., & Brancourt-Hulmel, M. (2017). A Single and Robust Critical Nitrogen Dilution Curve for Miscanthus x giganteus and Miscanthus sinensis. *Bioenergy Research*, 10(1), 115-128. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9781-8>