

Conception d'une planche en aggloméré de miscanthus

Projet dans le cadre du pôle 24
« Transition écologique et solidaire »

Nemo BENOIT, Giulio DUVA, Titouan
DISERBEAU, Estelle TA



CentraleSupélec

CentraleSupélec
Mars 2026

Table des matières

1	Remerciements	3
2	Introduction	4
3	Le miscanthus	7
3.1	Applications actuelles	8
3.2	Bénéfices environnementaux	8
4	État des lieux	9
4.1	Introduction	9
4.2	Les acteurs et leurs rôles dans la filière	9
4.3	Les difficultés rencontrées par la filière	11
4.4	Développement de la filière du béton à base de miscanthus	11
4.5	Conclusion	13
5	Pourquoi choisir le bois d'aggloméré ?	15
5.1	Qu'est-ce que le bois d'aggloméré ?	15
5.2	Ses utilisations	15
5.3	Avantages	16
5.4	Inconvénients	17
5.5	Impacts environnementaux	17
6	Expérience : bois d'aggloméré de miscanthus	18
6.1	Protocole de fabrication de l'aggloméré	18
6.2	Fabrication des planches	19
6.3	Résultats	22
7	Test des planches	25
7.1	Objectifs de test avec la planche	25
7.2	Résultats immédiats	25
7.3	Densité des planches	25
7.4	Test de gonflement	26
7.5	Test mécanique	26

8	Industrialisation du procédé en Seine Aval	30
8.1	Filière de l'aggloméré de miscanthus	30
8.2	Estimation du prix	30
8.3	Estimation des volumes de miscanthus nécessaires	32
8.4	Clients Potentiels & Utilisateurs Finaux du Bio-matériau	34
8.5	Partenaires pour l'Industrialisation & la Production	35
9	Analyse du Cycle de Vie (ACV) de la planche de miscanthus	37
9.1	Présentation du produit et unité fonctionnelle	37
9.2	Périmètre et frontières du système	37
9.3	Inventaire du cycle de vie (ICV)	38
9.4	Résultats et analyse des impacts	40
9.5	Limites et incertitudes	41
10	Conclusion et prochaines étapes	42
11	Annexe	46
11.1	Carte mentale de la filière du miscanthus en Seine-Aval	46

Chapitre 1

Remerciements

Ce projet n'aurait pas pu être possible sans l'aide apportée par de nombreuses personnes.

Tout d'abord, nous tenons à remercier **Margaux Grosjean**, pour nous avoir fait découvrir le miscanthus et proposé le projet. Merci pour l'accompagnement ainsi que la confiance qui nous a été accordée pour réfléchir au projet.

De plus, nous souhaitons une bonne retraite à notre pôle projet 24, le **pôle Transition Ecologique et Solidaire**, qui ferme en fin d'année. Nous remercions nos encadrant.e.s pour la bonne ambiance et pour nous avoir poussé à donner un sens à nos projets. Nous remercions notamment **Fabien Bellet** pour son accompagnement et son soutien constants.

Merci aussi à **La Fabrique de CentraleSupélec** pour l'accès à la presse et leurs lieux de travail ; notre projet n'aurait pas pu aboutir sans leur aide et explications techniques !

Merci aux chercheur.euse.s que nous avons contacté.e.s pour leurs conseils utiles et leur bienveillance : on remercie notamment **Joel Casalinho**.

Merci à la Fondation CentraleSupélec pour le financement du projet.

Finalement, on exprime notre profonde gratitude aux anciens membres du projet miscanthus, **Chloé Doublet et Arthur Deant**, pour nous avoir accompagné sur une bonne partie du travail.

Chapitre 2

Introduction

Le miscanthus, plante encore méconnue du grand public, présente pourtant des qualités très intéressantes en termes d'agriculture et d'écologie. La culture de miscanthus existe en France, et notamment en Seine-Aval, une zone d'opération d'intérêt nationale située dans le nord des Yvelines (78). Ce territoire est couvert par un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) et il est soutenu par le programme européen LEADER, qui soutient le développement des territoires ruraux.

C'est dans ce contexte que Margaux Grosjean, animatrice du programme LEADER en Seine-Aval, nous présente la plante du miscanthus sur laquelle nous travaillons depuis Septembre 2025. Lors du premier semestre, notre projet consistait à établir un état des lieux de la filière, pour en proposer des améliorations. Nous avons exploré la piste de fabriquer des matériaux flottants avec du miscanthus, ce qui oriente nos objectifs pour ce semestre-ci. En effet, ce second semestre servira à trouver des solutions pour la filière du miscanthus, en intégrant les aspects sociaux et économiques propres à la Seine-Aval.

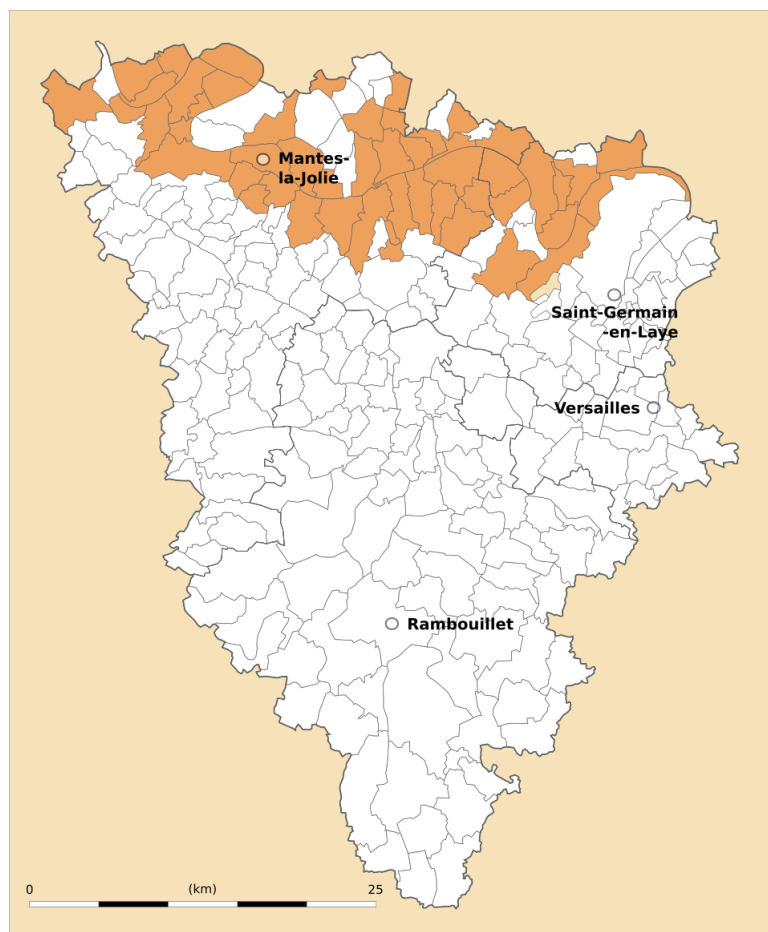


FIGURE 2.1 – Carte de la Seine-Aval (en orange) dans le département des Yvelines

Notre projet s’inscrit dans un contexte marqué par l’absence de commercialisation et d’industrialisation structurées du miscanthus, ainsi que par un manque d’applications permettant de valoriser cette plante durable. Pourtant, ses atouts (tels que son faible besoin en eau, la possibilité de cultiver sur des terres marginales, ou encore son faible impact environnemental) en font une solution idéale pour répondre aux enjeux de transition écologique et sociale du territoire.

Trois thématiques expliquent les freins à son développement :

- Le développement de marché : les filières locales ne sont pas encore organisées pour exploiter son potentiel.
- Les problèmes logistiques : son grand volume et sa faible densité rendent le stockage coûteux et le transport complexe, ce qui limite les investissements.
- La reconnaissance : malgré ses nombreux avantages, le miscanthus reste méconnu, notamment au niveau local.

Ces leviers sont au cœur de notre mission : créer de la valeur pour les parties prenantes — agriculteurs, habitants des quartiers prioritaires, collectivités — en identifiant des applications avantageuses et en structurant une filière locale.

Deux objectifs principaux guident notre démarche :

1. La réalisation expérimentale d’un agglomérat de miscanthus : nous testerons ses propriétés (flottabilité, rigidité) pour valider son utilité dans des

solutions alternatives aux matériaux traditionnels.

2. L'analyse d'industrialisation et du cycle de vie : nous évaluerons son impact environnemental et social, ainsi que les conditions de sa production à grande échelle.

Les critères de sélection des solutions expérimentales incluront des tests rigoureux, tandis que les indicateurs de succès porteront sur la réussite de la phase expérimentale, l'acceptabilité des résultats, et la faisabilité du plan d'industrialisation.

Le projet doit composer avec des contraintes techniques et environnementales : moyens limités, accès restreint à certains matériaux, et parfois, la nécessité d'utiliser des solutions moins écoresponsables pour garantir la viabilité du produit. Il s'agira de trouver un équilibre entre utilité et durabilité.

En combinant expérimentation pratique, analyse du cycle de vie et évaluation de l'industrialisation, ce projet vise à démontrer le potentiel inexploité du miscanthus. L'ambition est de surmonter les barrières de marché existantes et de contribuer au développement d'une filière locale structurée en Seine-Aval. À terme, ce projet pourrait devenir un point de départ concret pour une transition écologique et sociale, génératrice de valeur partagée entre agriculteurs, communautés locales et l'ensemble du territoire.

Chapitre 3

Le miscanthus



FIGURE 3.1 – Photo de *Miscanthus Giganteus* dans la nature

Le *miscanthus* (principalement *Miscanthus giganteus*) est une graminée pérenne à rhizomes, originaire d'Asie, aujourd'hui cultivée en France comme culture dédiée à la production de biomasse. Implantée une seule fois, cette plante présente une durée de vie pouvant atteindre 20 à 25 ans, avec une pleine productivité à partir de la troisième année. La plante arrive à maturité en 3 ans et sa croissance rapide permet d'atteindre des hauteurs de 2 à 3 mètres, générant une biomasse aérienne importante. La récolte annuelle s'effectue généralement en fin d'hiver ou au début du printemps, période durant laquelle la plante est sèche, ce qui limite

les besoins de séchage et facilite sa transformation. Le miscanthus se caractérise par de faibles besoins en intrants, ne nécessitant ni irrigation systématique ni traitements phytosanitaires importants, ce qui en fait une culture particulièrement adaptée aux objectifs de transition agroécologique.

3.1 Applications actuelles

Actuellement, le miscanthus est principalement valorisé dans les filières de bioénergie (combustion, granulés), de litière animale et de paillage horticole. En effet, d'un point de vue énergétique, le miscanthus possède un pouvoir calorifique inférieur de 4,9 MWh/t de matière sèche, ce qui en fait un combustible comparable au bois. À titre de comparaison, la production d'un hectare de miscanthus permet de produire l'équivalent de 5 000 à 7 500 litres de fioul par an selon le rendement de la parcelle. Il est également identifié comme une ressource à fort potentiel pour le secteur de la construction et notamment des matériaux biosourcés. Transformé sous forme de fibres ou de particules, il peut être intégré dans des bétons et mortiers végétaux, des panneaux isolants ou des matériaux composites légers. Ces applications permettent de réduire la part de matériaux minéraux ou pétrosourcés, tout en améliorant certaines propriétés fonctionnelles telles que la légèreté, la porosité ou les performances thermiques.

3.2 Bénéfices environnementaux

Sur le plan environnemental, le miscanthus présente des bénéfices significatifs. En tant que plante à forte production de biomasse, il contribue efficacement à la séquestration du carbone atmosphérique, séquestration qui peut être prolongée lorsque la biomasse est intégrée dans des matériaux de construction à longue durée de vie. Par ailleurs, son système racinaire dense favorise la structuration des sols, limite l'érosion et participe à l'amélioration de la biodiversité locale. De plus, en raison de sa pérennité et de ses faibles besoins en intrants, le miscanthus présente un bilan carbone globalement favorable, renforçant son intérêt dans le développement de filières de matériaux bio-sourcés à faible impact environnemental. Enfin, le miscanthus a aussi un impact environnemental positif sur l'écosystème : ses faibles besoins en azote réduisent les risques de lessivage et améliorent la qualité de l'eau prélevée. [1]

Chapitre 4

État des lieux

4.1 Introduction

Ce chapitre propose un état des lieux de la filière du miscanthus en Seine-Aval, en se concentrant sur **les acteurs impliqués, leurs interactions, les défis rencontrés et les perspectives de développement**. Après une présentation des producteurs, des acheteurs et des structures de financement, nous analyserons les **difficultés logistiques, commerciales et structurelles** qui freinent le développement de cette filière. Enfin, nous explorerons les **opportunités offertes par des innovations comme le béton à base de miscanthus**, qui pourraient dynamiser la demande et structurer la chaîne de valeur.

4.2 Les acteurs et leurs rôles dans la filière

Les producteurs : une culture marginale mais stratégique

En Seine-Aval, **trois exploitations agricoles** cultivent actuellement du miscanthus (M. Surgis, Mme et M. Caffin, M. Durand [2]) sur une superficie totale de **33 hectares**. Bien que cette culture reste marginale (moins de 10% des surfaces exploitées par ces agriculteurs), elle présente un intérêt économique pour des **parcelles difficiles à exploiter** avec des cultures traditionnelles.

La récolte, effectuée en hiver, nécessite un matériel adapté en raison de la dureté des tiges :

- Utilisation d'une **ensileuse avec bec-maïs** (coût : 150 000 à 300 000 €), d'un **faux** et d'une **presse**, ou de matériel spécialisé.
- Stockage dans des **hangars** pour protéger la récolte de l'humidité.

Le rendement atteint **100% après 4 ans**, mais aucune récolte n'est possible la première année.

Transport et commercialisation : des défis majeurs

Le transport du miscanthus pose un **problème économique majeur** : en raison de sa **faible densité**, ce produit est **très coûteux à transporter** pour un volume donné. Les agriculteurs ne peuvent pas étendre leur zone de vente sans supporter des coûts logistiques prohibitifs. Aucune structure ne prend actuellement en charge le **transport ou la vente** du miscanthus, ce qui limite fortement son développement. La vente est également **peu structurée** :

- Le prix de la tonne oscille entre **120 et 300 €**, selon les usages et les clients.
- Les agriculteurs peuvent vendre leur production :
 - À des **coopératives** comme Novabiom (solution simple mais peu rentable).
 - Directement aux **transformateurs** (ex. : Miscanbois Énergie), bien que les débouchés industriels restent rares.
 - Aux **communes** pour du paillage ou du chauffage (60% de l'activité pour certains agriculteurs).
 - À des **particuliers** (jardineries, étables), mais cela reste marginal (25% de l'activité).
- Le démarchage commercial est assuré par les agriculteurs eux-mêmes, en raison du **manque de structuration de la filière**.

Financement

Diverses sources de financements sont possibles pour inciter les agriculteurs à produire du miscanthus. Cela se matérialise principalement par des subventions au début du projet pour l'acquisition du matériel spécifique nécessaire à sa récolte. Le département des Yvelines [3] peut par exemple fournir des subventions à partir des appels à projets des agriculteurs. Sur une échelle plus large, le FEADER (Fonds Européens Agricole et de Développement de l'Espace Rural), associé au programme LEADER, finance des projets contribuant au développement durable et à la transition énergétique qui sont tous les deux des domaines d'intérêt pour la filière du miscanthus. À titre d'exemple, l'entreprise Miscanbois Energie en a bénéficié pour le financement de ses outils de transformation. Dans le cadre du plan de sauvegarde de l'eau, d'autres fonds, privés ou publics, existent aussi pour récompenser durablement l'amélioration de la qualité de l'eau sur les parcelles des agriculteurs. Le miscanthus contribuant justement à la purification de l'eau, il peut permettre aux agriculteurs de bénéficier de ces subventions. Ces subventions se déclinent en deux catégories : les PSE (paiements pour service environnementaux) publics et les PSE privés. Ces subventions privées sont notamment versées par SUEZ car ils sont propriétaires des puits de forage et par conséquent responsables de la qualité de l'eau puisée. Celles-ci sont versées seulement s'il y a des preuves de l'amélioration de la qualité de l'eau sur les parcelles des agriculteurs suite à

des prélèvements. Les subventions publiques, moins strictes, impliquent seulement une obligation de moyens de la part de l'agriculteur qui s'engage à améliorer la qualité de l'eau et il pourra bénéficier de celle-ci même si les résultats des actions ne sont pas concluants. Enfin, les communes et l'Etat ont pu financer des projets de chaufferie spéciales à base de miscanthus pour développer l'industrie locale, mais aujourd'hui cet essai qui a été réalisé dans plusieurs communes n'a pas suscité d'engouement et ces chaufferies ne se développent pas en dehors des communes tests.

4.3 Les difficultés rencontrées par la filière

Transport : un frein logistique et économique

Comme évoqué précédemment, le miscanthus, en raison de sa **faible densité massique**, nécessite des **volumes importants** pour un poids réduit. Cela rend son transport **peu rentable** :

- Pour les courtes distances, les agriculteurs utilisent des **remorques ou camions plateau**.
- Pour les longues distances, ils doivent **affréter des semi-remorques à leurs frais**, ce qui augmente considérablement les coûts.
- Aucune structure logistique dédiée n'existe pour mutualiser ces coûts.

Cette contrainte limite la **zone de chalandise** des producteurs et freine l'essor de la filière.

Clientèle : un manque de structuration commerciale

- **Aucune mise en relation** entre producteurs et clients : les agriculteurs doivent **trouver eux-mêmes des débouchés** chaque année.
- **Difficulté à fidéliser la clientèle** : M. Durand [2] doit démarcher de nouvelles structures chaque année, car les contrats ne sont pas pérennes.
- **Besoin d'un encadrement commercial** : Les agriculteurs manquent de compétences en vente et en gestion des prix. Ils regrettent l'absence d'un **soutien professionnel** pour les aider à commercialiser leur production (ex. : formation aux standards du commerce, vente en ligne).

4.4 Développement de la filière du béton à base de miscanthus

Contexte et hypothèses

Le développement de la filière du **béton à base de miscanthus** pourrait dynamiser la demande locale. En Seine-Aval, environ **2 300 nouveaux logements**

sont construits chaque année (PLU Grand Paris Seine et Oise, 2020 [4]). On estime que **10 à 20%** de ces logements pourraient être construits avec des blocs de béton à base de miscanthus, soit **230 à 460 logements par an**.

Les usines d'Alkern (ex. : Bernières-sur-Seine) visent une capacité de production équivalente à **3 000 maisons par an** en blocs de béton bas carbone [AlkernprÃvi]. Cependant, ces estimations restent **spéculatives** et nécessiteraient une validation avec Alkern pour obtenir des volumes prévisionnels plus précis.

Estimation des volumes et du chiffre d'affaires

- **Volumes nécessaires :**
 - Un logement de 100 m² nécessite environ **800 m² de mur**.
 - Avec une utilisation de **0,1 m³ de béton par m² de mur** (en raison de la structure en blocs et espaces vides), on obtient **80 m³ de béton par logement**.
 - Pour 230 à 460 logements, cela représente un volume annuel de **18 400 à 36 800 blocs** (50 cm × 20 cm × 20 cm).
- **Chiffre d'affaires estimé :**
 - Prix des blocs Alkern : entre **2,60 et 4,50 €/unité** pour des blocs classiques [5].
 - Pour des blocs biosourcés haut de gamme, un prix de **8 à 10 €/bloc** est envisageable (en raison de la plus-value écologique et des performances thermiques).
 - **Chiffre d'affaires annuel** : entre **147 000 € et 368 000 €**.

Recommandations pour structurer la filière

Pour développer la filière du béton à base de miscanthus, plusieurs actions sont nécessaires :

Structuration logistique

- **Coordination locale** entre :
 - Agriculteurs cultivant du miscanthus.
 - Industriels transformant la biomasse.
 - Entreprises de gros œuvre utilisant les blocs préfabriqués.
 - Clients finaux.
- **Rayon d'action limité** (50 à 100 km) en raison de la faible densité du miscanthus.
- **Contrats pluriannuels** entre industriels et agriculteurs, préférables aux circuits coopératifs actuels (qui ne valorisent pas assez le miscanthus).

- **Points de stockage intermédiaires** (hangars agricoles ou plateformes logistiques) pour assurer un approvisionnement continu.

Actions prioritaires pour le développement

1. Communication ciblée :

- Sensibiliser les **architectes, bureaux d'études, promoteurs et collectivités** (prescripteurs clés).
- Mettre en avant :
 - L'**importance environnementale** du béton bas carbone (réduction des émissions du secteur du bâtiment, conformément à la **RE2020** [6]).
 - Les **performances thermiques supérieures** (meilleure isolation, gain potentiel sur l'épaisseur d'isolant).
 - Le **faible surcoût** (2% selon Alkern), compensé par les gains énergétiques.
- Outils de communication :
 - **Fiche technique comparative** avec le béton classique (Portland).
 - **Analyse du cycle de vie (ACV)** pour mettre en avant l'aspect environnemental.
 - **Témoignages d'utilisateurs** et retours d'expérience.

2. Financement des investissements initiaux :

- Priorité : **construction d'infrastructures** (stockage, adaptation des lignes de production).
- **Subventions environnementales** pour inciter les nouveaux projets à adopter les blocs de béton biosourcé.

3. Création d'une instance de coordination :

- **Branche déconcentrée de l'État** dédiée à :
 - La mise en relation des acteurs.
 - Le développement de la filière (prospection, communication, négociation).
 - La distribution des subventions.

4.5 Conclusion

La filière du miscanthus en Seine-Aval est **encore en développement**, avec des **défis majeurs** en termes de logistique, de commercialisation et de structuration. Cependant, des **opportunités prometteuses** existent, notamment avec le **béton à base de miscanthus**, qui pourrait dynamiser la demande et créer une chaîne de valeur locale.

Pour surmonter les obstacles, il est essentiel de :

- **Structurer la filière** (coordination entre acteurs, contrats pluriannuels).

- **Améliorer la communication** (sensibilisation des prescripteurs, outils techniques).
- **Soutenir les investissements** (subventions pour les infrastructures, financement des projets pilotes).

Ces actions permettraient de **renforcer la compétitivité** du miscanthus et de **développer son adoption** dans des secteurs clés comme le bâtiment.

Chapitre 5

Pourquoi choisir le bois d'aggloméré ?

Dans le monde de la construction, les matériaux jouent un rôle crucial dans la détermination de la durabilité, de la rentabilité et de la qualité globale d'un projet. Parmi ces matériaux, les panneaux de particules (ou bois d'aggloméré) sont devenus un choix populaire pour diverses applications.

5.1 Qu'est-ce que le bois d'aggloméré ?

Le panneau de particules, est un produit dérivé du bois fabriqué en comprimant des copeaux de bois et de sciure avec un adhésif sous l'effet de la chaleur et de la pression. Le résultat est un panneau dense et robuste qui est souvent utilisé comme substitut au bois massif et au contreplaqué dans diverses applications de construction. Le panneau de particules existe en différentes épaisseurs et qualités, ce qui le rend adapté à un large éventail de projets, de la fabrication de meubles aux revêtements de sol.

5.2 Ses utilisations

La polyvalence du panneau de particules en fait un choix incontournable dans de nombreux scénarios de construction. Voici quelques applications courantes :

- Fabrication de meubles : le bois d'aggloméré est largement utilisé dans la fabrication de meubles, notamment d'armoires, de bureaux et d'étagères. Sa surface lisse peut être facilement plaquée ou stratifiée, offrant ainsi une finition attrayante.
- Revêtements de sol et sous-couches : les panneaux de particules sont souvent utilisés comme sous-couches pour les systèmes de revêtement de sol,

offrant une base stable pour les sols stratifiés, en vinyle ou en carrelage. Ils permettent de niveler les surfaces inégales et de réduire le bruit.

- Panneaux muraux : dans les bâtiments résidentiels et commerciaux, le bois d'aggloméré peut être utilisé pour les panneaux muraux, offrant une isolation et une insonorisation tout en étant légers et faciles à installer.
- Cloisons et structures temporaires : les panneaux de particules constituent un excellent choix pour la construction de murs et de cloisons temporaires, en particulier dans les espaces commerciaux ou lors de rénovations.
- Emballage : en raison de sa légèreté et de sa durabilité, le bois d'aggloméré est fréquemment utilisé pour les matériaux d'emballage, tels que les boîtes et les inserts.

5.3 Avantages

- Légèreté : le panneau de particules est plus léger que le bois massif, ce qui le rend plus facile à manipuler et à transporter, ce qui peut réduire les coûts de main-d'œuvre.
- Versatilité : le panneau de particules est facilement disponible en différentes tailles et épaisseurs, ce qui permet aux constructeurs de se procurer facilement le matériau dont ils ont besoin. De plus, il peut être facilement coupé, façonné et fixé, ce qui permet une grande flexibilité dans la conception et la construction.
- Rentabilité : le panneau de particules est généralement moins cher que le bois massif et le contreplaqué, ce qui en fait une option intéressante pour les projets à budget limité.
- Surface lisse : la finition lisse du panneau de particules permet de le peindre, de le plaquer ou de le stratifier facilement, offrant ainsi des options esthétiques aux constructeurs et aux designers.
- Bonnes propriétés isolantes : le panneau de particules offre une isolation thermique et acoustique correcte, ce qui le rend intéressant pour un plus grand nombre d'usages.

5.4 Inconvénients

- Sensibilité à l'humidité : le panneau de particules n'est pas résistant à l'humidité, ce qui peut entraîner un gonflement, une déformation ou la formation de moisissures s'il est exposé à l'eau. Une étanchéité et un entretien appropriés sont nécessaires dans les environnements humides.
- Résistance moindre : bien que le panneau de particules soit solide par rapport à son poids, il n'est pas aussi résistant que le bois massif ou le contreplaqué, ce qui peut limiter son utilisation dans des applications soumises à des contraintes élevées.

5.5 Impacts environnementaux

L'aggloméré utilise des copeaux de bois et de la sciure issu de la production d'autres composants en bois, réduisant ainsi l'impact environnemental du matériau. Cependant, les résines utilisées peuvent contenir des produits chimiques nocifs comme le formaldéhyde. Son empreinte carbone ($188\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$) est bien inférieure à celle du contreplaqué issu du même bois ($425\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$) pour une planche de mêmes dimensions et donc un usage similaire.

Chapitre 6

Expérience : bois d'aggloméré de miscanthus

6.1 Protocole de fabrication de l'aggloméré

Voici le protocole que nous avons envisagé pour fabriquer la planche de miscanthus. Nous avons dû l'ajuster plusieurs fois lors de la fabrication pour produire le protocole suivant qui nous semble être le plus efficace.

Matériel

- Copeaux de miscanthus
- Colles : résine bio, colle d'amidon, colle à bois, mélange farine eau
- Moule
- Presse
- Papier cuisson, scotch
- Balance

Protocole

Première étape : Chauffer le miscanthus dans un four pendant 2-3h à 60 degrés Celsius, et ensuite laisser refroidir à température ambiante. Cela permet de sécher le miscanthus pour enlever l'humidité accumulée lors du stockage des copeaux.

Deuxième étape : Séparer les copeaux de miscanthus par taille. Nous envisageons deux catégories de taille ; les plus grands iront au centre de l'aggloméré pour assurer plus de rigidité à la structure. Cette étape a été abandonnée par la suite.

Troisième étape : Mélanger les fibres de miscanthus et la colle. Faute de meilleure option, cette étape est effectuée à la main.

Quatrième étape : Dans le moule, appliquer une feuille de papier cuisson pour éviter l'adhérence de la planche avec le moule. Puis verser le miscanthus uniformément dans le moule en l'étalant au mieux. Si les morceaux de miscanthus sont séparés par taille comme dans les premières expériences, on effectue d'abord une couche de petits morceaux, puis une couche de morceaux plus épais et enfin une nouvelle couche de morceaux fins sur le dessus.

Cinquième étape : Presser, aussi uniformément que possible, immédiatement après à l'aide de la presse pendant une durée qui sera adapter au besoin (de l'ordre de 15 minutes au départ).

Sixième étape : Retirer délicatement la planche du moule. Puis sécher au four pendant 8 heures à 40 degrés Celsius.

Nous pouvons ensuite poncer les bords et les surfaces pour obtenir une finition lisse, ou encore appliquer une couche de vernis/résine pour rendre la plaque imperméable. Ceci n'a pas encore été testé.

Recherche de colles

Nous sommes soucieux de rendre la démarche la plus écologique possible. Un obstacle à cela vient des colles et résines que nous utilisons.

Ainsi, nous avons décidé de fabriquer des planches avec des alternatives moins polluantes : nous avons donc comparer des planches faites avec de la colle d'ami-don, de la résine biosourcée ou de la colle artisanale (un mélange d'eau et de farine) à la colle à bois usuelle.

6.2 Fabrication des planches

Afin de déterminer les méthodes de fabrication donnant les meilleurs résultats et d'avoir suffisamment d'échantillon pour les tests, douze essais ont été réalisés. Lors des étapes initiales, le miscanthus a été chauffé au four pendant environ 2 à 3 heures, selon le protocole établi, afin de réduire le taux d'humidité et d'assurer un durcissement optimal de la colle après la phase de pressage. Par la suite, la stratégie de fabrication a été diversifiée en fonction du type de colle utilisé. Les principales limites rencontrées au cours du processus expérimental étaient principalement liées à l'équipement de pressage et à la préparation de la colle. La structure de la presse ne permettait qu'une application de force localisée ; pour compenser, nous avons réparti la charge en utilisant une combinaison de panneaux

en bois et métalliques pour épouser la géométrie du moule. De plus, le processus de mélange de la colle a été identifié comme peu efficace, affectant l'homogénéité globale du composite créé.



FIGURE 6.1 – La presse de la fabrique en action : par dessus le miscanthus, nous ajoutons un moule, une planche en metal et deux blanches en bois pour répartir la charge de la presse

Colle à bois

Lors des premiers essais, le protocole consistait à trier le miscanthus en différentes granulométries, qui ont ensuite été assemblées en couches avec des ratios d'adhésif variables (55 g de petite granulométrie avec 11 g de colle, 45 g de grande granulométrie avec 7 g de colle, et 25 g de petite granulométrie avec 6 g de colle). La phase de pressage a été réalisée à environ 2 tonnes pendant 10 minutes. Les essais ultérieurs se sont concentrés sur la production monocouche, c'est à dire sans différenciation des morceaux selon leur taille. Nous avons alors progressivement ajusté les ratios miscanthus/colle afin d'identifier le mélange de matériaux et la pression optimaux pour obtenir la planche la plus rigide possible. Grâce à ce processus expérimental, nous avons établi le protocole de production suivant : 200 g de miscanthus mélangés à 60 g de colle à bois, pressés à 6 tonnes pendant environ 15 minutes. Cela a permis d'obtenir une planche pesant environ 230 g avec un

volume de 822 cm³ et une densité de 0,27–0,28 g/cm³. Par la suite, la planche a été séchée au four à 40 °C pendant 8 heures.

Colle d'amidon

En ce qui concerne la colle à base d'amidon, nous avons d'abord appliqué les mêmes proportions qui s'étaient avérées fructueuses avec la colle précédente (200 g de miscanthus, 60 g de colle et 15 minutes de pressage à 6 tonnes). Cependant, cela a donné un résultat qui n'était ni testable ni satisfaisant en raison des différentes dynamiques de durcissement des deux adhésifs, qui nécessitent des procédures de fabrication distinctes.

La stratégie optimale pour ce type de colle impliquait 200 g de miscanthus et 90 g de colle à base d'amidon, associés à un protocole de pressage révisé. Après avoir mélangé les composants, nous avons laissé reposer le mélange pendant 15 minutes avant de le presser à 6 tonnes pendant 30 minutes, suivi d'une phase de séchage au four de 6 heures à 40 °C. Le résultat final a produit une planche avec des dimensions, une masse et une densité similaires à celles obtenues avec l'adhésif précédent.

Biorésine

En ce qui concerne la colle biorésine, nos premières tentatives utilisant le même protocole que pour les planches à l'amidon se sont révélées infructueuses, car les échantillons manquaient d'intégrité structurelle et s'effritaient facilement. Des recherches plus approfondies sur les propriétés de l'adhésif ont révélé que la méthode précédente n'était pas viable en raison de temps de prise différents.

Pour une optimisation future, nous avons établi une procédure plus efficace : 200 g de miscanthus mélangés à 90 ml de biorésine, appliqués en deux étapes. La stratégie consiste à incorporer la moitié de l'adhésif, à le laisser pénétrer les fibres pendant 5 minutes, puis à ajouter le reste avant le pressage. Pour garantir une bonne adhérence, la phase de pressage doit être prolongée à 24 heures à 6 tonnes pour tenir compte du taux d'évaporation plus lent de la colle d'amidon à base d'eau.

Colle de farine

Enfin, nous avons tenté de produire des planches en utilisant de la colle à base de farine. Nos premiers essais (200 g de miscanthus et 80 g de colle) ont abouti à un manque total de cohésion structurelle, le matériau n'ayant pas réussi à se lier.

Pour remédier à cela, nous avons envisagé une première modification du protocole pour de futures expériences : conserver les mêmes proportions mais prolonger la phase de pressage à 24 heures à 6 tonnes, suivie d'un traitement thermique au four à 100 °C pendant une heure. Cette étape à haute température a été mise

en œuvre pour déclencher la gélatinisation de l'amidon contenu dans la farine, améliorant considérablement la rigidité finale de la planche.

6.3 Résultats

Planche avec colle à bois

La planche fabriquée avec de la **colle à bois** (Figure 6.2) est le résultat le plus satisfaisant d'un point de vue solidité et résistance. Elle est bien compactée, homogène. Ces propriétés seront analysées plus en détail dans le chapitre **Test des planches**

Planche avec colle à bois



FIGURE 6.2 – Planche fabriquée avec de la colle à bois, vue de face et de dessus.

Planche avec colle à base d'amidon

La planche fabriquée avec de la **colle à base d'amidon** (Figure 6.3) donne des résultats concluants. Cependant, elle paraît légèrement plus fragile que celle à la colle bois. La cohésion est correcte, mais une analyse approfondie des tests mécaniques permettra de confirmer ses performances.

Planche avec colle à amidon



FIGURE 6.3 – Planche fabriquée avec de la colle à base d'amidon, vue de face et de dessus.

Planche avec colle à base de farine

La planche fabriquée avec de la **colle à base de farine** (Figure 6.4) a donné une expérience peu concluante : la colle n'a pas pris correctement, et la planche ne tient pas du tout. Elle s'effrite facilement, ce qui indique un manque total d'adhésion entre les fibres de miscanthus.

Planche avec colle mélange eau + farine



FIGURE 6.4 – Planche fabriquée avec de la colle à base de farine, vue de face et de dessus.

Chapitre 7

Test des planches

7.1 Objectifs de test avec la planche

Comme expliqué précédemment, nous avons construit plusieurs planches dans le but de pouvoir en tester les propriétés mécaniques et environnementales, et aussi de pouvoir comparer l'efficacité de chaque colle.

7.2 Résultats immédiats

Immédiatement après la fabrication, il est assez clair que seule la colle à bois fournit des planches de rigidité satisfaisante. La colle d'amidon permet également d'avoir des planches qui tiennent à peu près, tandis qu'avec la résine et la colle de farine et eau (en utilisant le même procédé de fabrication), les bouts de miscanthus se décollent en morceaux.

Il est aussi évident sur les planches fabriquées que plus la masse utilisée pour presser est forte, plus la planche est rigide.

Au vu du peu de succès que nous avons eu avec les colles qui ne sont pas la colle à bois, il semble peu pertinent de réaliser des tests sur celles-ci, ni de comparer leurs performances qui sont toutes décevantes.

Nous réaliserons donc la plupart des tests uniquement sur les planches en colle à bois.

7.3 Densité des planches

La densité d'une planche en colle à bois pressée à 5 tonnes est en moyenne de $0,28g/cm^3$, soit $280kg/m^3$.

Cette valeur ne change pas lorsqu'on utilise d'autres colles : on retrouve $0.29g/cm^3$ pour les planches à base de colle d'amidon.

La légèreté de l'aggloméré de miscanthus en fait un atout majeur de ce matériau.

En comparaison par exemple, le bois d'aggloméré a une densité de $650-750\text{kg/m}^3$ [7].

7.4 Test de gonflement

Pour le test de gonflement, nous avons immergé une planche faite à partir de colle à bois pressée à 5 tonnes.

Après 1 heure dans l'eau, nous constatons déjà des résultats :

- en longueur, nous mesurons un gain de 3%
- en largeur, 2%
- et en hauteur, 5%.

Après 24h dans l'eau, les dimensions restent identiques qu'après 1 heure dans l'eau.

7.5 Test mécanique



FIGURE 7.1 – Disposition expérimentale pour le test mécanique

Pour le test mécanique, nous avons adopté la disposition ci-dessus, qui consiste à appliquer de la force au centre de la planche, mesurer la déformation verticale et noter quand est-ce que la planche se casse.

Par manque de temps, les résultats que nous obtenons ne sont pas complets ; on aurait aimé effectuer plus de tests dans de meilleures conditions.

Nous avons effectué le test avec les poids de la Fabrique et malheureusement ils n'avaient que des poids allant jusqu'à 10kg ; nous n'avons donc que pu tester jusqu'à l'équivalent de 20kg de force sur la planche.

Colle d'amidon

Nous avons effectué le test sur une planche à base de colle d'amidon, pressée à 5 tonnes, avec 200g de miscanthus et 90g de colle :

- Charge de rupture : 1kg
- Déformation verticale mesurée à 500g : 2mm

Cette planche est très peu résistante et très déformable. Elle aurait un module de Young de 8,5MPa (ce chiffre serait plus exact si nous avions pu tester plusieurs planches).

Colle à bois, pressée à 1T

Avec la colle à bois, même en pressant moins fort, les résultats sont plus satisfaisants. Nous avons effectué ce test mécanique sur une planche en colle à bois pressée avec 1 tonne.

La planche casse lorsqu'on fournit une charge de 3kg. En terme de déformation verticale, nous pouvons constater qu'elle n'est pas linéaire, et que la déformation devient importante à partir de 1,5kg de charge.



FIGURE 7.2 – La planche cassée

TABLE 7.1 – Flèche mesurée

Charge appliquée	Flèche mesurée
500 g	0 mm
1 kg	1 mm
1,5 kg	5 mm
2 kg	7 mm
2,5 kg	10 mm (1 cm)

Le module d'Young pour cette planche est estimé à environ 20MPa : c'est équivalent à celui d'un caoutchouc très solide. En comparaison, un aggloméré de bois a un module d'Young de 6000MPa [7].

Colle à bois, 5T

Pour la planche pressée à 5 tonnes en colle à bois, qui était la planche qui nous intéressait le plus, 20kg n'ont pas suffi pour atteindre la rupture de la planche. Nous avons toutefois pu recueillir des données sur la déformation verticale :

TABLE 7.2 – Flèche mesurée

Charge appliquée	Flèche mesurée
5 kg	1 mm
12,2 kg	2 mm
13 kg	3 mm
14 kg	4 mm
14,5 kg	5 mm
15 kg	5 mm
19 kg	6 mm
20 kg	6 mm



FIGURE 7.3 – Planche en colle à bois avec 10,5kg de charge

Avec ces données, l'estimation du module d'Young donne 160MPa, ce qui est nettement meilleur que les autres types de planches que nous avons fabriquées. Cette valeur reste nettement moins bonne que les valeurs pour une planche de bois d'aggloméré, mais il faut prendre en compte le fait que le calcul s'appuie sur une seule mesure, ce qui rend très important l'impact des imprécisions de mesures par exemple.

Critique

Les test mécaniques produits ne sont que le début du processus de test. En effet, avec plus de temps, nous aurions du effectuer plusieurs fois les mêmes tests pour en tirer des résultats plus fiables, et nous aurions chercher des poids pour atteindre la rupture de la planche.

Chapitre 8

Industrialisation du procédé en Seine Aval

8.1 Filière de l'aggloméré de miscanthus

Utilisations possibles

L'aggloméré à base de miscanthus, grâce à ses propriétés mécaniques et sa facilité de mise en œuvre, pourrait être utilisé dans des applications variées, comparables à celles des agglomérés traditionnels. En intérieur, il se prête notamment à la fabrication de meubles (bibliothèques, têtes de lit, plans de travail...), de cloisons légères, de revêtements muraux, de sols flottants ou mezzanine (, offrant une alternative écologique et locale. Il peut également servir de support pour des éléments décoratifs (lambris, habillages de colonnes, mobilier design) ou techniques (caissons pour gaines électriques, faux plafonds).

Pour les applications en extérieur, bien que moins adaptées sans traitement, des usages sous abri ou en milieu contrôlé restent envisageables : mobilier urbain protégé (bancs, abribus), bardages ventilés, ou encore éléments de terrasses couvertes. Enfin, ce matériau s'intègre naturellement dans les démarches d'éco-construction, par exemple pour la réalisation de panneaux isolants, de coffrages perdus, ou d'éléments de construction légère (cloisons intérieures, habillages de murs), ou enfin emballages de colis fragiles, renforçant ainsi l'utilisation de ressources locales.

8.2 Estimation du prix

Aggloméré de bois classique (600 €/m^3) Le prix de l'aggloméré de bois traditionnel, fixé à 600 €/m^3 pour une densité moyenne de 650 kg/m^3 , sert de base de référence et se décompose comme suit :

- **Matière première (bois)** : Représente 45% du coût total, soit 270 €/m^3 , selon la qualité et la provenance (sciure, copeaux, bois recyclé).

- **Colles et liants** : Les résines synthétiques et additifs comptent pour **100 €/m³** (environ 16% du prix final).
- **Main-d'œuvre** : La transformation industrielle (broyage, mélange, pressage, séchage) requiert une main-d'œuvre qualifiée estimée à **125 €/m³** (environ 21% du prix final).
- **Énergie et machines** : Le pressage à haute température et la consommation électrique des infrastructures ajoutent **65 €/m³** (environ 11% du prix final).
- **Marges et logistique** : Le transport, le stockage et la marge commerciale complètent le coût à hauteur de **40 €/m³** (7%).

Aggloméré de miscanthus (estimation : 345 €/m³) Afin d'obtenir une comparaison rigoureuse, l'analyse de l'aggloméré de miscanthus est établie à procédé et coûts de transformation strictement identiques (coûts ISO). Grâce à la très faible densité de la plante (**120 kg/m³**), le prix de revient global chute de manière significative :

- **Matière première (miscanthus)** : Sur la base d'un tarif agricole de 120 €/tonne, le miscanthus brut ne s'élève qu'à **14,40 €/m³**, ne représentant plus que **4% du coût final** (contre 45% pour le bois).
- **Colles et liants** : Maintenus à **100 €/m³** par souci de cohérence technique (soit 29% du coût total).
- **Main-d'œuvre** : Évaluée à l'identique de la filière bois, soit **125 €/m³** (36% du coût total).
- **Énergie et machines** : Fixée à **65 €/m³** (19% du coût total). Ce maintien constitue une marge de sécurité financière face au volume initial plus important du miscanthus à densifier.
- **Marges et logistique** : Conservées à **40 €/m³** (12% du coût total).

Comparaison et perspectives En adoptant cette approche à coût de transformation constant, l'aggloméré de miscanthus s'impose comme une alternative économique majeure avec un coût de revient estimé à **345 €/m³**, soit une réduction d'environ **42%** par rapport au bois traditionnel. Cette démonstration prouve que le gain financier est intrinsèquement lié au faible coût de production agricole et à la légèreté de la biomasse végétale.

Enfin, il convient de souligner une nuance importante : bien que l'industrie du bois classique utilise déjà massivement des résidus de scierie ou du bois recyclé (souvent considérés comme des sous-produits ou des déchets à faible coût de marché), le miscanthus conserve une place stratégique. Face aux tensions croissantes sur la ressource en bois, à la hausse des coûts de collecte et aux exigences d'économie circulaire, cette culture pérenne offre une alternative locale, stable et déconnectée des fluctuations des filières forestières traditionnelles. Bien que le procédé industriel reste à optimiser à grande échelle, cette stabilité des coûts fixes

de fabrication valide la viabilité et la compétitivité de la filière.

8.3 Estimation des volumes de miscanthus nécessaires

L'estimation des volumes de miscanthus nécessaires à l'industrialisation du procédé repose sur un raisonnement en cinq étapes, du marché national jusqu'à la surface agricole mobilisable sur le territoire de Seine Aval.

Étape 1 — Le marché français comme référence de cadrage. Selon le groupement professionnel Panneaux-UIPP, l'industrie française des panneaux de process (panneaux de particules, MDF et OSB confondus) représente une production d'environ **5,5 millions de m³** par an [8, 9]. Ces panneaux sont destinés à quasi-parité à la fabrication de meubles et à la construction. En l'absence d'une décomposition publiée par type de panneau, et en retenant la part historiquement dominante des panneaux de particules dans ce total (les panneaux de particules représentant la principale catégorie en volume au sein de la filière française, devant le MDF et l'OSB), on retient pour le calcul suivant la totalité de la production comme borne haute, soit un ratio de :

$$\frac{5,5 \times 10^6 \text{ m}^3}{68 \times 10^6 \text{ hab.}} \approx 0,081 \text{ m}^3/\text{hab.}/\text{an}$$

Ce ratio constitue la consommation apparente nationale par habitant, toutes catégories de panneaux de process confondues. Il constitue une borne haute du raisonnement ; la part stricte des panneaux de particules est nécessairement inférieure, ce qui renforce le caractère conservateur de l'estimation finale.

Étape 2 — Application au territoire de Seine Aval. Le territoire de Seine Aval regroupe 51 communes et environ 390 000 habitants [10]. En appliquant le ratio national :

$$390\,000 \text{ hab.} \times 0,081 \text{ m}^3/\text{hab.} \approx 31\,500 \text{ m}^3/\text{an}$$

Cette valeur correspond à la demande locale maximale en panneaux de process de toutes catégories. Elle constitue le marché de substitution théoriquement adressable par l'aggloméré de miscanthus.

Étape 3 — Scénarios de substitution. Pour une filière en phase d'amorçage et d'industrialisation, une hypothèse de pénétration de marché de 5 à 15 % à l'horizon 5–10 ans est communément retenue dans la littérature sur les matériaux biosourcés émergents. Le tableau 8.1 présente les volumes de panneaux correspondants.

TABLE 8.1 – Scénarios de substitution et volumes de panneaux de miscanthus associés

Scénario	Part de marché	Volume de panneaux
Bas	5 %	$\approx 1\,600 \text{ m}^3/\text{an}$
Central	10 %	$\approx 3\,200 \text{ m}^3/\text{an}$
Haut	15 %	$\approx 4\,800 \text{ m}^3/\text{an}$

Étape 4 — Volume de miscanthus brut requis. La densité à l’état vrac du miscanthus récolté et broyé est de l’ordre de 120 kg/m^3 (valeur retenue au chapitre 5.1.2). La densité d’un panneau fini est d’environ 600 kg/m^3 , avec une fraction massique de matière végétale d’environ 86 % (le reste correspondant aux résines de liaison). La masse de miscanthus sec nécessaire par mètre cube de panneau est donc :

$$m_{\text{misc}} = 600 \times 0,86 \approx 516 \text{ kg MS/m}^3$$

ce qui correspond, en volume vrac, à :

$$V_{\text{misc}} = \frac{516}{120} \approx 4,3 \text{ m}^3_{\text{vrac}}/\text{m}^3_{\text{panneau}}$$

Pour le scénario central ($3\,150 \text{ m}^3/\text{an}$ de panneaux), la demande annuelle en miscanthus s’élève à :

$$3\,150 \times 4,3 \approx 13\,500 \text{ m}^3_{\text{vrac}}/\text{an} \quad \text{soit} \approx 1\,600 \text{ t MS/an}$$

Étape 5 — Surface agricole mobilisable. Le miscanthus présente en conditions françaises un rendement moyen compris entre 10 et 15 t de matière sèche par hectare et par an, selon les conditions pédoclimatiques et l’année de récolte [1]. En retenant une valeur centrale de 13 t MS/ha/an :

$$S = \frac{1\,600}{13} \approx 123 \text{ ha}$$

La filière locale nécessiterait donc, dans le scénario central, la mobilisation d’environ **100 à 150 hectares** de cultures de miscanthus sur le territoire ou en périphérie de Seine Aval. Cette surface est parfaitement compatible avec le tissu agricole local, plusieurs exploitations du territoire cultivant déjà cette plante sur des surfaces marginales ou peu productives. Le Mémento de l’Institut FCBA confirme par ailleurs la cohérence de tels ordres de grandeur avec les dynamiques observées dans d’autres filières biosourcées émergentes en France [11].

Récapitulatif et chiffre d'affaires potentiel. Le tableau 8.2 synthétise l'ensemble des étapes du raisonnement et estime le chiffre d'affaires potentiel de la filière, en s'appuyant sur la fourchette de prix de l'aggloméré de miscanthus établie à la section 5.1.2 (200 à 300 €/m³).

TABLE 8.2 – Récapitulatif des scénarios et chiffre d'affaires potentiel

Scénario	Part de marché (%)	Surface mobilisée (ha)	CA bas (200 €/m ³)	CA haut (300 €/m ³)
Bas	5	63	320	480
Central	10	126	640	960
Haut	15	199	960	1440

Notes : Surface mobilisée sur la base d'un rendement de 13 t MS/ha/an [1, 12]. Chiffre d'affaires hors coûts de production ; prix de vente selon la fourchette estimée 8.2 [8].

Notes : Miscanthus requis calculé sur la base de 516 kg MS/m³ de panneau. Surface mobilisée sur la base d'un rendement de 13 t MS/ha/an [1, 12]. Chiffre d'affaires hors coûts de production ; le prix de vente retenu correspond à la fourchette estimée 8.2 .

À titre de comparaison, le chiffre d'affaires théorique qu'auraient généré ces mêmes volumes avec de l'aggloméré de bois classique (600 €/m³) serait de 0,96 à 2,82 M€/an, soit 2 à 3 fois supérieur — ce qui confirme que la compétitivité de la filière miscanthus repose avant tout sur la réduction des coûts de production et non sur des marges unitaires élevées. L'enjeu économique est donc d'atteindre rapidement les volumes du scénario haut afin de bénéficier des économies d'échelle évoquées 8.2.

8.4 Clients Potentiels & Utilisateurs Finaux du Bio-matériau

Ces entreprises consomment d'importants volumes de panneaux rigides et cherchent activement à réduire leur empreinte carbone (notamment pour répondre aux exigences de la RE2020 ou améliorer la qualité de l'air intérieur via des liants sans formaldéhyde). Il pourrait donc être intéressés par le bois d'aggloméré de miscanthus. Il serait pertinent de les contacter pour vérifier leurs besoins et leurs exigences.

Aménagement Intérieur & Mobilier

- **Agenceurs et Menuisiers Industriels (Mantois et Boucle de Seine) :** Des structures de taille intermédiaire ou des grands ateliers d'agencement tertiaire installés dans les zones d'activités (ZAE) de

- Limay, Porcheville ou Buchelay. Ils utilisent l'aggloméré pour le mobilier sur mesure, les cloisons amovibles et l'événementiel (stands).
- **Carestia (Montesson/Méré)** : Un exemple d'acteur régional solidement implanté dans la transformation du bois et l'aménagement de l'habitat.
 - **Fabricants de Cuisines et de Rangements Monoblocs** : Industriels sous-traitants de la région fournissant la promotion immobilière francilienne, très demandeurs de solutions saines et écologiques.

Construction Éco-responsable & Ossature Bois

Pour que ces clients puissent être intéressés, il faudrait pouvoir garantir une rigidité encore plus importante sur nos planches et les contacter nous permettrait d'en savoir un peu plus sur leurs standards.

- **Constructeurs de Bâtiments Modulaires et Hors-site** : La région bénéficie d'une forte dynamique stimulée par l'initiative *Fabrique 21* (Chanteloup-les-Vignes). Les entreprises de construction bois et de préfabrication recherchent des panneaux biosourcés pour le contreventement, le doublage thermique ou les planchers porteurs.
- **MSF (Menuiserie Scierie Francilienne) à Guerville** : Acteur majeur capable d'intégrer des produits innovants dans ses projets de construction ou d'ingénierie bois à l'échelle régionale.

Emballage Industriel & Logistique Fluviale/Routière

- **Fabricants de Caisses et Logisticiens de l'Axe Seine** : Autour des zones portuaires (Limay-Porcheville, Achères, Triel-sur-Seine), de nombreux logisticiens conçoivent des caisses sur-mesure pour l'industrie automobile (Poissy/Flins) ou l'aéronautique (Les Mureaux). Un panneau biosourcé, léger et résistant à l'humidité, représente une alternative de choix pour l'emballage technique de protection.

8.5 Partenaires pour l'Industrialisation & la Production

Pour industrialiser la recette du bio-matériau (broyage, formulation, pressage à chaud et mise au format standard), plusieurs infrastructures régionales et interprofessionnelles doivent être mobilisées.

Scieries & Transformateurs

Note : Bien que la région ne compte plus d'usines géantes de panneaux de particules traditionnels (de type Kronospan), plusieurs acteurs locaux possèdent l'expertise de transformation mécanique.

- **MSF (Menuiserie Scierie Francilienne) – Guerville (78) :**
Équipée d'ateliers modernes de grande taille, cette scierie dispose d'une forte culture technique et de la capacité de traiter de gros volumes. Un partenariat de co-développement pour tester des étapes de découpe, de calibrage ou de pressage y est envisageable.
- **Scierie du Cabalet & Acteurs de l'Eure / Seine-Maritime :**
Situées en Normandie à la frontière immédiate de la Seine Aval, ces scieries industrielles de grande envergure gèrent des volumes massifs de connexes (sciures, copeaux, chutes). Elles disposent parfois de lignes de valorisation ou de presses (fabrication de palettes ou de produits agglomérés connexes) idéales pour fournir la matière première ou sous-traiter la production.

Réseaux Institutionnels & Facilitateurs Industriels

Pour identifier précisément une ligne de production disponible ou obtenir des subventions d'implantation (filière *Territoire d'Industrie*), trois organismes locaux sont indispensables :

1. **L'EPAMSA (Établissement Public d'Aménagement du Mantois Seine Aval) :** Pilote du programme de réindustrialisation locale. Ils facilitent le foncier et la mise en relation avec les directeurs d'usines de la vallée de la Seine pour des projets d'économie circulaire.
2. **L'Agence Éco-Construction Seine Aval (AUDAS) :** Basée dans le Mantois, elle anime la filière des éco-matériaux et gère une matériauthèque pour connecter inventeurs et donneurs d'ordres.
3. **Fibois Île-de-France / Fibois Normandie :** L'interprofession de la filière forêt-bois, indispensable pour cartographier les outils industriels (presses hydrauliques à chaud, broyeurs) compatibles avec votre cahier des charges.

Chapitre 9

Analyse du Cycle de Vie (ACV) de la planche de miscanthus

9.1 Présentation du produit et unité fonctionnelle

Le produit étudié est une planche composite fabriquée à CentraleSupélec (Gif-sur-Yvette, 91190) à partir de deux matériaux :

- **200 g** de miscanthus type paillage, cultivé dans les Hauts-de-Seine ;
- **60 g** de colle vinylique Bostik R41 (classement D3 selon la norme NF EN 204).

La masse totale de la planche est donc de **260 g**.

L'**unité fonctionnelle** retenue pour cette ACV est : *une planche de 260 g produite et utilisée jusqu'en fin de vie*. L'analyse couvre l'intégralité du cycle de vie, du berceau à la tombe (*cradle-to-grave*), conformément aux principes des normes ISO 14040 et ISO 14044.

9.2 Périmètre et frontières du système

Le système comprend les cinq étapes suivantes :

1. Extraction et approvisionnement des matières premières ;
2. Transport des matières premières jusqu'au lieu de fabrication ;
3. Fabrication de la planche (pressage et séchage) ;
4. Utilisation (vie en œuvre) ;
5. Fin de vie.

Les flux omis (éclairage et chauffage des locaux, transport des employés, fabrication des équipements de production) sont considérés comme négligeables conformément aux règles de coupure habituelles en ACV.

9.3 Inventaire du cycle de vie (ICV)

Matières premières et agriculture

Miscanthus. Le miscanthus (*Miscanthus × giganteus*) est une graminée pérenne à cycle photosynthétique C4, réputée pour sa forte productivité et sa faible exigence en intrants (engrais, pesticides). Utilisé ici sous forme de paillage — un résidu de culture —, l'impact lié à sa phase agricole est particulièrement réduit. Au cours de sa croissance, le miscanthus séquestre entre 2 et 5 kg CO₂ par kilogramme de matière sèche produite. Pour les 200 g utilisés, nous retenons la valeur médiane de **340 g CO₂ éq. séquestrés** (soit 1,7 kg CO₂/kg de matière sèche, cycle biogénique court considéré neutre sur la durée de vie du produit).

Colle Bostik R41. La colle Bostik R41 est une colle vinylique monocomposante à base aqueuse (teneur en matière sèche : 50–55 %, soit environ 30 g de polymère PVA sec dans la planche). Elle est fabriquée sur le site de Bostik à Avelin (Nord, 59). Sa Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDE&S, juin 2014, norme NF P 01-010) indique, pour 15,45 g de produit par m² et par an :

- énergie primaire totale : 0,479 MJ ;
- changement climatique : 0,0135 kg CO₂ éq. ;
- consommation d'eau : 0,042 litre.

Ramenée aux 60 g utilisés pour la planche, la contribution de la colle au changement climatique est estimée à environ **53 g CO₂ éq.** (production incluse). La colle bénéficie du classement **A+** pour les émissions de composés organiques volatils (COV), conformément à l'arrêté du 19 avril 2011. Elle ne contient aucune substance extrêmement préoccupante (SVHC) au sens du règlement REACH.

Transport des matières premières

Miscanthus. La culture est localisée dans les Hauts-de-Seine, à environ 30 km de CentraleSupélec. En supposant un transport par véhicule léger ou camionnette (facteur d'émission : 0,12 kg CO₂ par tonne-kilomètre), la contribution est :

$$0,200 \text{ kg} \times 30 \text{ km} \times 0,00012 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{km}} \approx 0,00072 \text{ g CO}_2 \text{ éq.} \quad (\text{négligeable})$$

Colle Bostik R41. Le site de production est à Avelin (59), distant d'environ 250 km. Pour 60 g de colle :

$$0,060 \text{ kg} \times 250 \text{ km} \times 0,00012 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{km}} \approx 0,0018 \text{ g CO}_2 \text{ éq. (négligeable)}$$

Le transport représente donc un poste d'impact négligeable pour cette planche.

Fabrication

La fabrication comporte deux opérations :

Pressage manuel. La mise en forme est réalisée sur une presse manuelle pendant 20 minutes. Bien que la fabrication de la presse ait elle-même un coût environnemental, celui-ci est partagé entre l'ensemble des planches qu'elle est susceptible de produire au cours de sa durée de vie ; ramené à l'unité fonctionnelle, cet impact devient négligeable. Par ailleurs, la presse manuelle ne consomme aucune énergie électrique lors de son fonctionnement : son impact opérationnel est donc nul.

Séchage électrique. La planche est séchée pendant 8 heures à 40 °C dans une étuve alimentée par le réseau électrique français. Pour ce calcul, nous retenons le facteur d'émission du mix électrique français de **60 g CO₂ éq./kWh** (RTE, 2023), qui reflète la forte part du nucléaire et des énergies renouvelables dans la production nationale. En supposant une puissance d'étuve de 350 W (valeur représentative d'un appareil de laboratoire de taille standard), l'énergie consommée est de $0,350 \times 8 = 2,8 \text{ kWh}$, soit une émission de **168 g CO₂ éq.** Le séchage constitue ainsi le **poste dominant** de l'ACV.

Utilisation (vie en œuvre)

Une fois sèche, la planche est un produit chimiquement inerte : la colle Bostik R41 durcie ne génère aucune émission dans l'air, l'eau ou le sol (confirmé par la FDE&S Bostik). L'impact environnemental de cette phase dépend entièrement de l'application finale du produit. Intégrée dans du **meubler** (étagère, table, assise), la planche sera soumise à des sollicitations mécaniques et à l'humidité, ce qui peut nécessiter un entretien régulier : application d'une huile, d'un vernis ou d'une cire dont l'impact environnemental devra être comptabilisé. En revanche, utilisée en **faux plafond** ou comme panneau décoratif mural, la planche n'est soumise à aucune contrainte particulière et ne requiert aucun entretien ; son impact en phase d'utilisation est alors nul. La durée de vie effective du produit dépend donc directement de son usage et constitue un paramètre à préciser pour toute ACV appliquée à un projet concret.

Fin de vie

Le compostage de la planche n'est pas envisageable : la colle PVA Bostik R41, une fois durcie, est un polymère synthétique non biodégradable, et la séparation physique du miscanthus et du liant est irréalisable en pratique. Le scénario de fin de vie retenu est l'**incinération avec valorisation énergétique**. Les émissions de CO₂ issues de la combustion du miscanthus sont considérées comme neutres (carbone biogénique à cycle court). Seule la combustion du PVA sec (30 g présents dans la planche) génère des émissions fossiles, estimées à environ **44 g CO₂ éq.**

9.4 Résultats et analyse des impacts

TABLE 9.1 – Bilan des principaux impacts environnementaux pour une planche de 260 g

Indicateur		Valeur	Unité	Poste dominant
Changement (fabrication)	climatique	221	g CO ₂ éq.	Séchage électrique (168 g)
Changement (fin de vie)	climatique	44	g CO ₂ éq.	Combustion PVA
Changement (total)	climatique	265	g CO ₂ éq.	Séchage
Carbone (culture)	séquestré	340	g CO ₂ éq.	Miscanthus
Énergie primaire (fabrication)		10,1	MJ	Séchage (10,1 MJ)
Transport		0,002	g CO ₂ éq.	Négligeable
Pressage		0	g CO ₂ éq.	Négligeable
Émissions COV (usage)		Classe A+	—	Colle Bostik R41

Le changement climatique est dominé par la consommation électrique du séchage, qui représente à elle seule **63 %** du bilan total de fabrication (168 g sur 221 g CO₂ éq.). La colle contribue pour 53 g CO₂ éq., soit 24 %, et les transports sont négligeables (<0,01 %). En fin de vie, la combustion du PVA ajoute 44 g CO₂ éq. fossiles, tandis que les 200 g de miscanthus brûlés sont neutres en carbone. En regard, le miscanthus a séquestré 340 g CO₂ éq. au cours de sa croissance, ce qui confère à la planche un bilan biogénique globalement favorable.

9.5 Limites et incertitudes

Cette ACV est de nature simplifiée et attributionnelle. Les principales sources d'incertitude sont :

- la puissance réelle de l'étuve de séchage (non mesurée) ;
- l'absence de données primaires sur la phase agricole du miscanthus spécifique utilisé ;
- la fin de vie, qui dépend du scénario choisi et de l'application finale du produit ;
- la FDE&S Bostik date de 2014 et pourrait ne pas refléter les pratiques actuelles du site de production.

Chapitre 10

Conclusion et prochaines étapes

Valeur ajoutée

À l'issue de ce projet, nous avons abordé avec succès les dimensions essentielles au développement de la phase expérimentale, ainsi qu'aux prémices de l'industrialisation et à l'analyse du cycle de vie des panneaux d'aggloméré de miscanthus. Les planches ont été réalisées avec succès et ont passé des tests mécaniques concluants. La seule colle viable identifiée est celle à base de colle à bois, confirmant la faisabilité technique de notre approche. De plus, une liste d'industriels potentiellement intéressés a été établie, ce qui ouvre des perspectives concrètes pour une future collaboration et une mise à l'échelle industrielle. Nous sommes fiers de la valeur ajoutée que nous avons créée lors de ce projet, que ce soit au travers de la réalisation concrète d'un premier prototype de panneaux d'aggloméré de miscanthus ne connaissant pas d'équivalent commercial à ce jour, du protocole pour le créer, de l'analyse de cycle de vie des 4 types de planches envisagées pour accompagner notre produit ou encore des recherches des différents acteurs pouvant contribuer à l'industrialisation de la production. C'est tout cela que nous avons apporté dans ce rapport notamment en réponse à l'état des lieux de la filière actuelle du miscanthus en Seine Aval présenté précédemment pour permettre de dynamiser la culture et l'économie autour de cette plante aux bienfaits environnementaux.

Continuité du projet et perspectives

Ce projet porte en lui un fort potentiel pour le développement de la filière miscanthus. En combinant innovation technique, viabilité économique et impact environnemental positif, il pourrait contribuer à structurer une nouvelle chaîne de valeur autour de cette ressource sous-exploitée. Les résultats obtenus et l'intérêt manifesté par des industriels laissent entrevoir des débouchés prometteurs, tant pour les agriculteurs que pour les acteurs de la bio-économie.

Pour aller plus loin, il sera nécessaire de poursuivre les travaux selon plusieurs axes, notamment :

- Contacter les industriels de Seine Aval pour évaluer leur intérêt pour les planches d'agglomérés de miscanthus ;
- Trouver de nouvelles colles moins polluantes, et plus performantes
- Réaliser des tests mécaniques plus précis sur les planches ;
- Réaliser des test pour vérifier la résistance au feu et l'isolation thermique et phonique de la planche ou tout autre aspect qui pourrait être pertinent pour l'usage souhaité.
- Comparer les performances aux normes en vigueur

Ces étapes permettront de concrétiser pleinement le potentiel de cette filière.

Bibliographie

- [1] Le MISCANTHUS. *Le Miscanthus FICHE CULTURE*. 2009. URL : https://france-miscanthus.org/wp-content/uploads/2017/12/Fiche_culture_RMT_Biomasse_2009.pdf.
- [2] MR DURAND. *Agriculteur*. Interview. Oct. 2025.
- [3] MME ADÈLE MAISTRE. *chargée d'agriculture du département des Yvelines*. Interview. Oct. 2025.
- [4] Grand Paris Seine et OISE COMMUNAUTÉ URBAINE. *Le Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi)*. 2020. URL : <https://gpseo.fr/article/le-plan-local-durbanisme-intercommunal-plui>.
- [5] Négoce Matériau AQUITAIN. *Liste des produits de la marque ALKERN*. 2025. URL : <https://www.negoce-materiaux-aquitain.com/fr/brand/467-alkern>.
- [6] Ministère de la transition ÉCOLOGIQUE. *Réglementation environnementale RE2020*. 2020. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/reglementation-environnementale-re2020> (visité le 18/11/2020).
- [7] ISOBUILD. *Fiche technique : aggloméré*. Fiche technique. 2025. URL : https://www.isobuild-group.be/verviers/sites/default/files/downloads/FT_Agglom%C3%A9r%C3%A9.pdf.
- [8] GROUPEMENT PANNEAUX-UIPP – AMEUBLEMENT FRANÇAIS. *Présentation du groupement Panneaux-UIPP*. Source professionnelle regroupant la quasi-totalité des fabricants français de panneaux de particules, MDF et OSB. 2022. URL : <https://www.ameublement.com/marches/panneaux-uipp> (visité le 01/06/2025).
- [9] CODIFAB – GROUPEMENT PANNEAUX-UIPP. *Présentation du groupement Panneaux-UIPP au sein du CODIFAB*. 2022. URL : <https://www.codifab.fr/organisations-professionnelles/union-des-industries-de-panneaux-de-process> (visité le 01/06/2025).

- [10] SYNDICAT MIXTE SEINE AVAL. *Présentation du territoire de Seine Aval*. Territoire regroupant 51 communes et environ 390 000 habitants dans les Yvelines et la Seine-Maritime. 2023. URL : <https://www.seine-aval.fr> (visité le 01/06/2025).
- [11] INSTITUT TECHNOLOGIQUE FCBA. *Mémento 2023 – Données de référence de la filière forêt-bois*. Document de référence des données statistiques publiques de la filière, rédigé par les spécialistes de l’Institut technologique FCBA. 2023. URL : <https://www.fcba.fr/wp-content/uploads/2024/02/Memento-2023-WEB-v4.pdf> (visité le 01/06/2025).
- [12] Iris LEWANDOWSKI et al. “Progress on optimizing miscanthus biomass production for the European bioeconomy : Results of the OPTIMISC project”. In : *Frontiers in Plant Science* 7 (2016), p. 1620. DOI : [10.3389/fpls.2016.01620](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620).

Annexe

11.1 Carte mentale de la filière du miscanthus en Seine-Aval

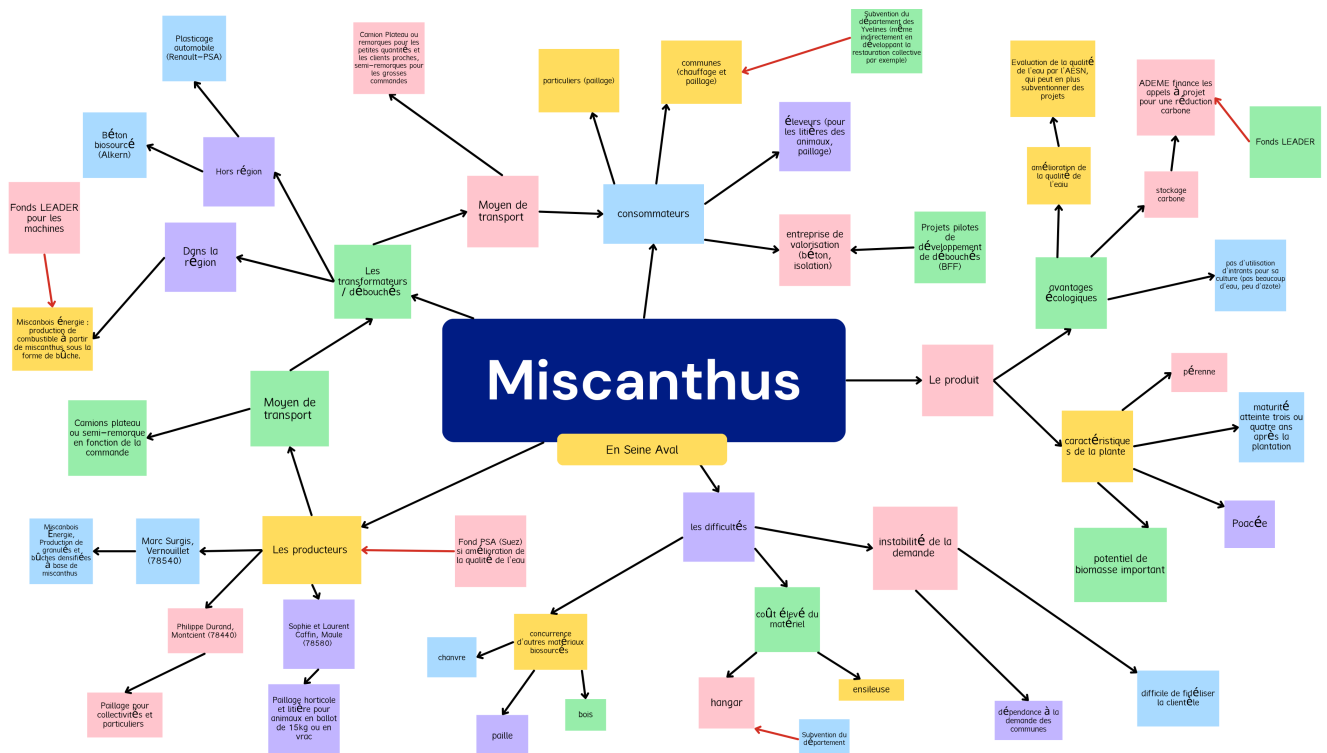


FIGURE 11.1 – Carte mentale