Traitement et gestion des BFS: Vers une gestion durable et une empreinte réduite"

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier du gouvernement du Canada.

This project was undertaken with the financial support of the Government of Canada.

Canada

CTRI

Centre technologique des résidus industriels

Kalthoum Ellafi, chargée de projet en microbiologie

Plan de la présentation

1. Introduction et mise en contexte
2. Compostage des boues comme solution innovante
3. Présentation des travaux de recherche et des résultats
4. Valorisation du compost produit; épandage sur un site dégradé
5. Conclusion et étapes à venir

Mise en contexte

Ces enjeux soulignent l'importance d'une gestion rigoureuse et de technologies adaptées pour réduire les émissions de GES et prévenir la pollution des sols et des eaux lors du traitement des BFS.

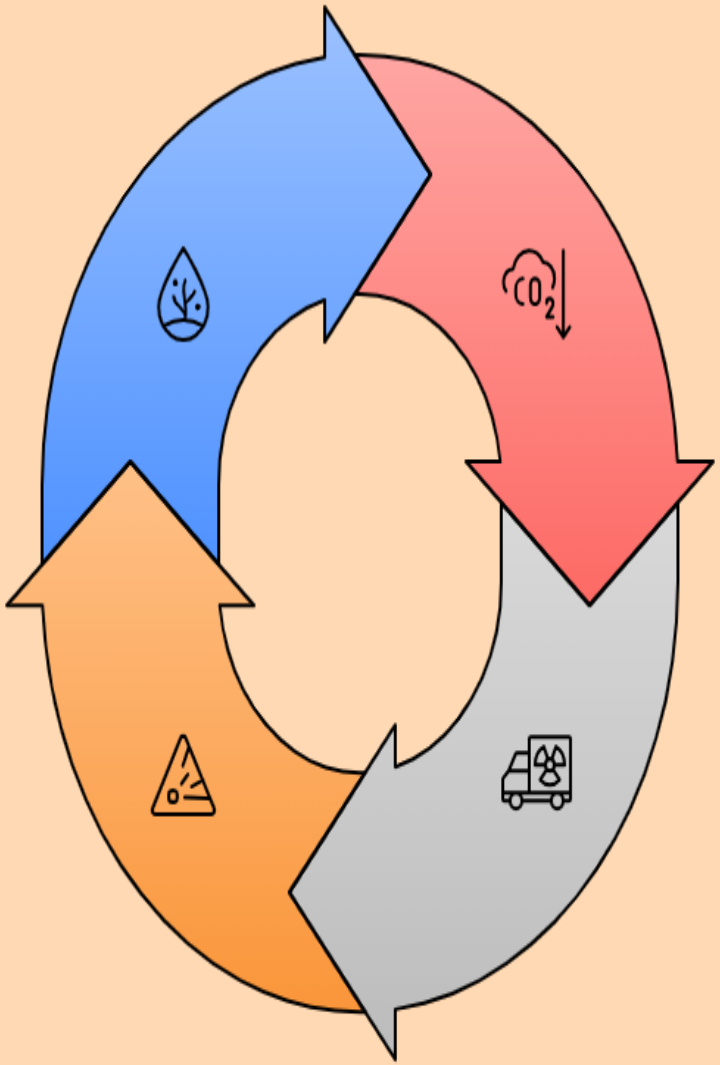
Impacts environnementaux liés à la mauvaise gestion des BFS

Pollution des eaux

Les contaminants infiltrent les eaux souterraines et les rivières (eutrophisation).

Pollution des sols

Les contaminants des BFS dégradent la fertilité des sols (déséquilibre écologique).



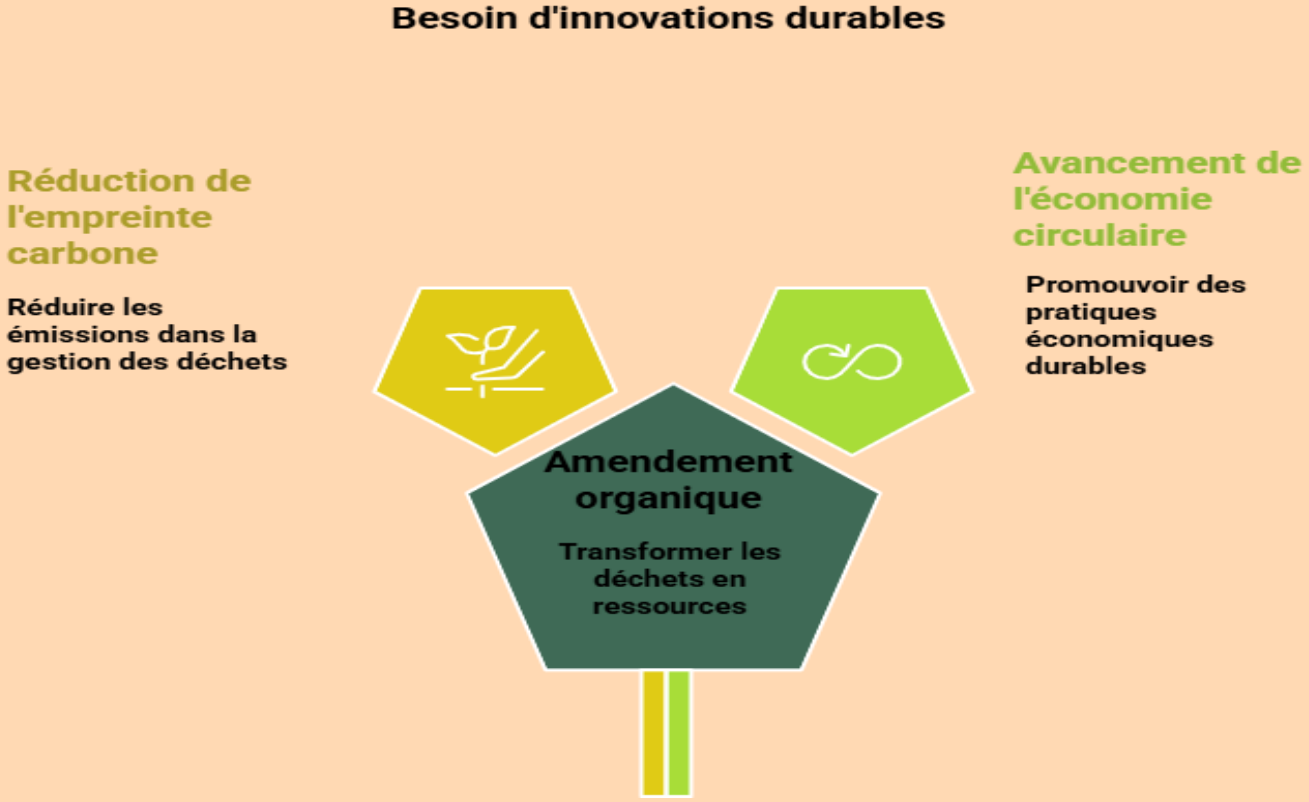
Émissions de GES

La décomposition organique produit du méthane et du protoxyde d'azote.

Transport des BFS

Le transport des BFS émet du CO_2.

Mise en contexte



1-Quels sont les éléments clés pour réussir le compostage des boues ?

a) Un bon équilibre entre matières riches en carbone et en azote ✓

b) L'absence totale d'oxygène

c) Un environnement extrêmement sec

d) Ajouter des produits chimiques pour accélérer le processus

2-Quelle est la température idéale (d'hygiénisation) pour un compostage efficace des boues septiques ?

a) 20-30°C

b) 40-50°C

c) 55-65°C ✓

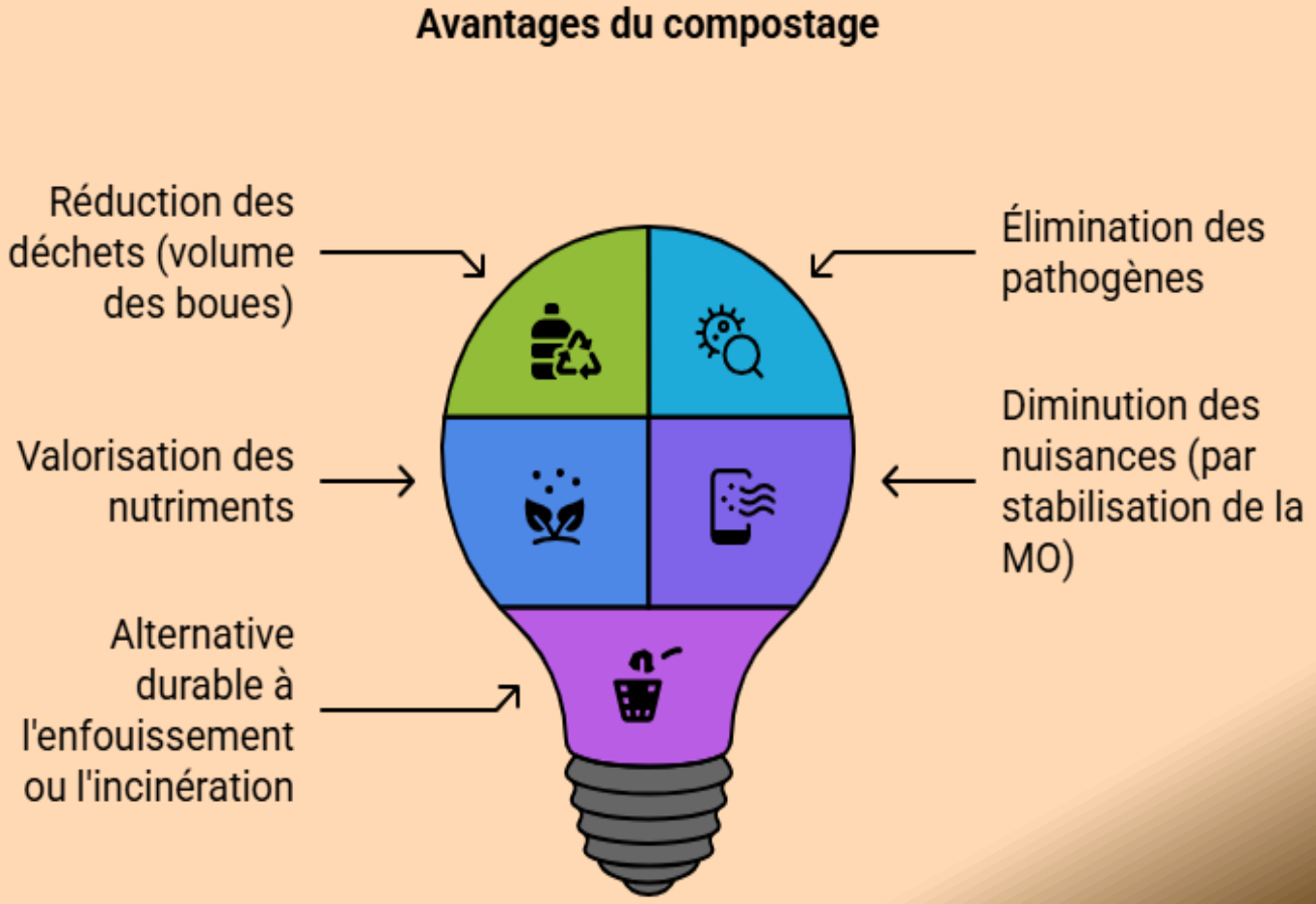
d) 80-90°C

Compostage des BFS comme solution innovante



Compostage des BFS comme solution innovante

- Le **compostage des boues de fosses septiques** est un **processus de dégradation biologique aérobie** qui transforme les boues issues des fosses septiques en **un amendement organique stable, hygiénisé et riche en nutriments**. Son usage final dépend de sa qualité finale.



Méthodologie

Étapes pour le compostage des boues

4 Application du compost

Épandage du compost mature sur des sites dégradés et plantation de la végétation.

3 Essai de compostage

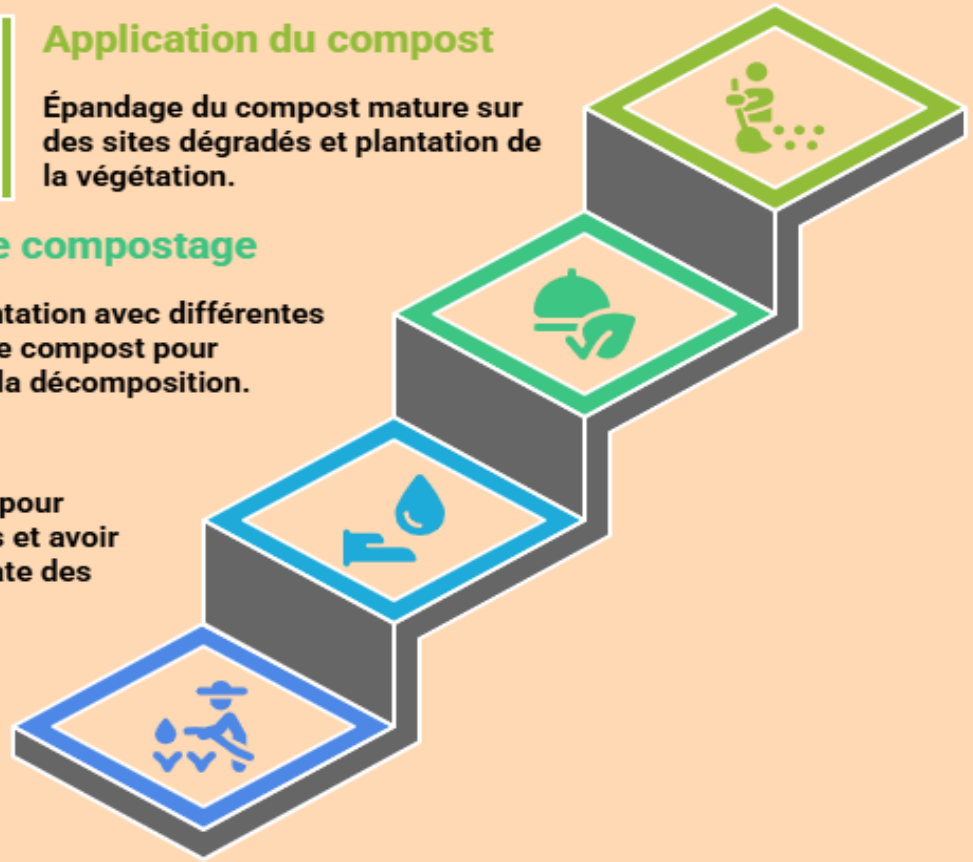
Expérimentation avec différentes recettes de compost pour optimiser la décomposition.

2 Déshydratation

Utilisation de géotubes pour éliminer l'eau des boues et avoir ainsi une siccité adéquate des boues.

1 Échantillonnage des boues

Collecte et analyse des échantillons de boues pour déterminer leur composition (caractérisation).



Présentation des travaux de recherche et des résultats



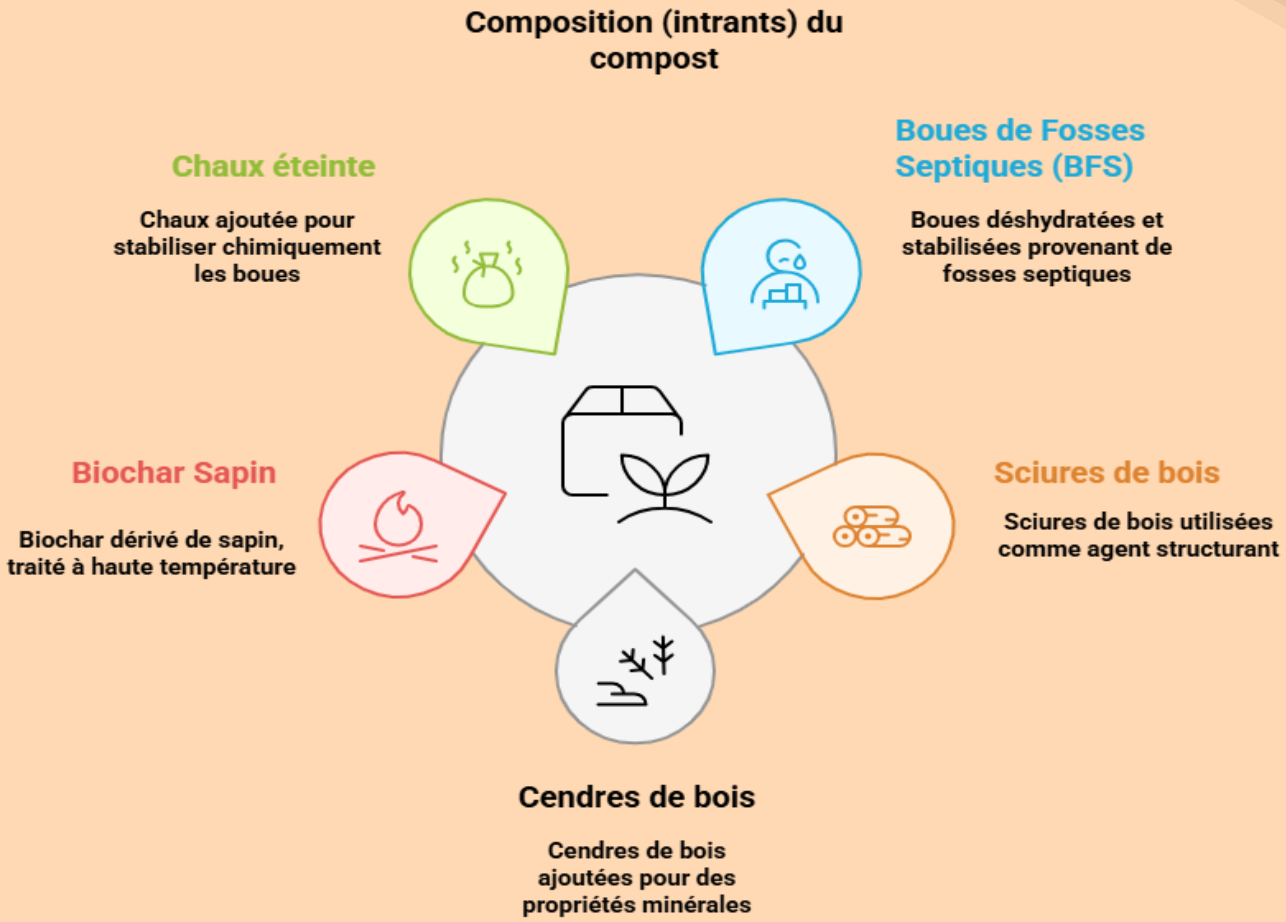
Recette du compost

La chaux éteinte(hydratée) est un agent alcalin qui permet de stabiliser les boues en augmentant le pH (destruction des pathogènes et immobilisation des métaux).

Les agents structurants (sciure de bois), apportent une valeur ajoutée en améliorant la structure du compost et facilitant la séquestration du carbone grâce à leur richesse en lignine.

Le biochar issu de la pyrolyse de la biomasse permet de séquestrer le carbone dans le sol, une tonne de biochar séquestre 2,5 tonnes de carbone.

Les cendres de bois issus de la combustion du bois (résidu organique alcalin), possèdent un pouvoir neutralisant et apportent des nutriments.



Ratio 20:5:1:1 BFS, sciures, cendres et biochar ; (Xue et al., 2021, Mao et al., 2020)

Choix du processus de compostage



Quel composteur optimise le processus de compostage ?

JORACAN

Simule le compostage avec aération forcée

AEROBIN

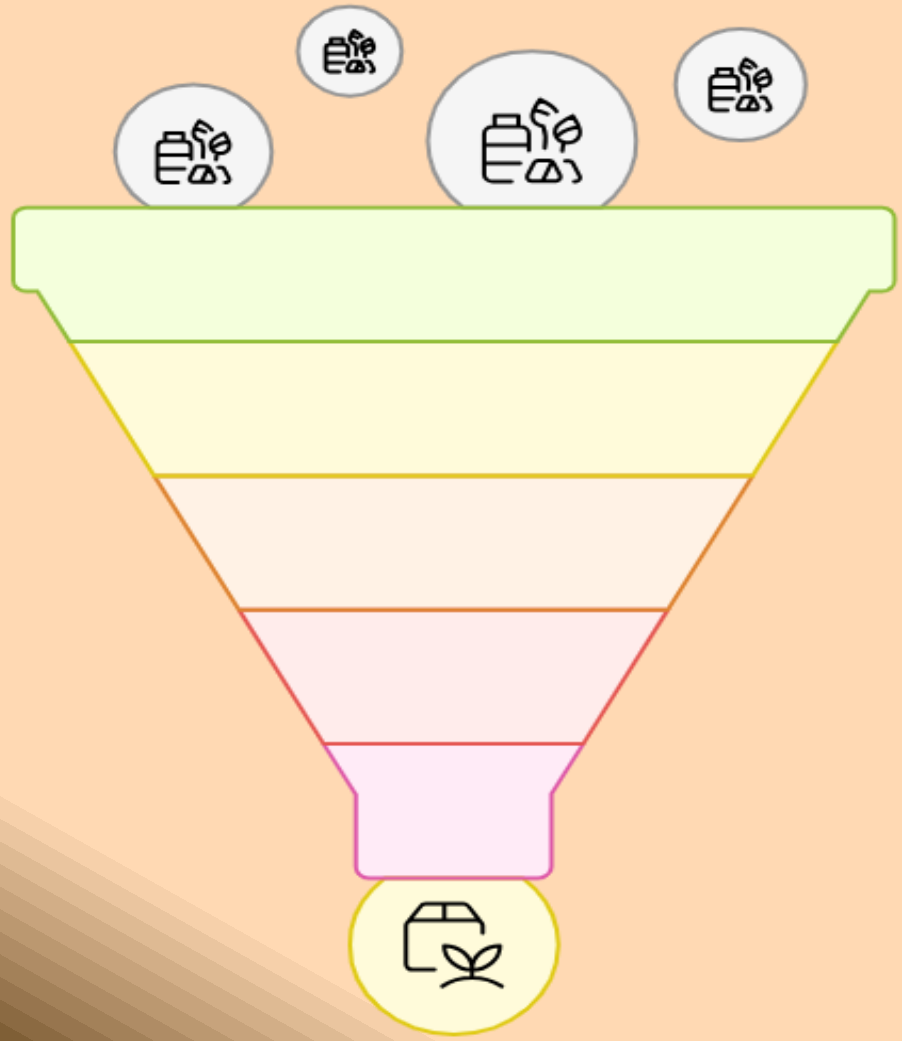
Simule le compostage avec aération statique



JORACAN vs AEROBIN

Composteur	JORACAN	AEROBIN
Capacité max Capacité respective	40 kg par semaine 40 kg, 15 kg ou 7,5 kg / semaine	400 litres (400kg) 200 L ou 400 L
Disponibilité au Canada	Disponible	Disponible
Facilité d'utilisation et installation Avantages	-Poids: 70 kg -Du compost en 6 semaines (8 à 12 semaines) comparativement à plus de 52 semaines avec d'autres modèles. -2 compartiments permettant de fabriquer le compost tout en le récoltant (la matière doit être coupé avant d'être mise dans le composteur, ces compartiments permettent de produire du compost à la chaine, 4 semaines compost1, le compost 1 sera transféré dans le compartiment pour maturation puis le compost 2 sera entamé). -Composteurs à système rotatif permettant une meilleure distribution de la chaleur. -Isolation thermique (fabriqué en acier) qui accélère le processus de compostage, même l'hiver. -Pas de réservoir pour le lixiviat, les 2 compartiment sont isolés.	-Poids: 25 kg -Du compost en 8 à 15 semaines. -Composteur isolé avec poumon interne breveté (pas d'intervention manuelle). Pas de retournement. -Parois et couvercle isolés pour un compostage tout au long de l'année -Circulation d'air éliminant les odeurs -Taux d'humidité à point (système de recirculation de l'humidité) -Réservoir de lixiviat - recueille le liquide -Les températures de fonctionnement élevées tuent les mauvaises herbes et les agents pathogènes -Le système est rapide, facile et gratifiant à utiliser et aucune intervention manuelle n'est nécessaire.

Processus de préparation du compost



Mélange initial

BFS déshydratées et stabilisées par la chaux éteinte

Mélange des agents structurants

La sciure est mélangée avec les cendres de bois et le biochar

Incorporation du mélange de structurants dans le mélange initial

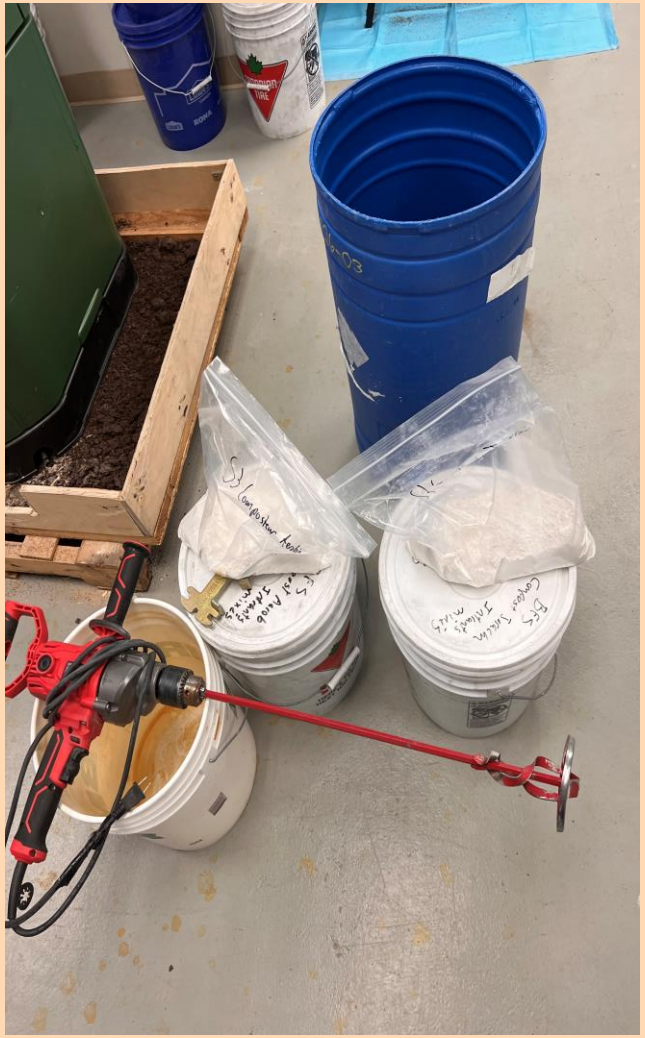
Le mélange des agents structurants est ajouté au mélange initial graduellement

Homogénéisation

Les intrants sont bien homogénéisées =compost initial

Échantillonnage et caractérisation

Caractérisation initiale du compost. Suivi pour contrôler le bon déroulement de l'activité de compostage.



Étapes pour démarrer les composteurs JORACAN et AEROBIN

Ajouter les intrants

Incorporer 1,7 kg de sciure de bois, 340 g de cendres et 340 g de biochar sapin.

Préparer le mélange BFS

Combiner 6,75 kg de BFS avec 675 g de chaux hydratée pour créer la base.



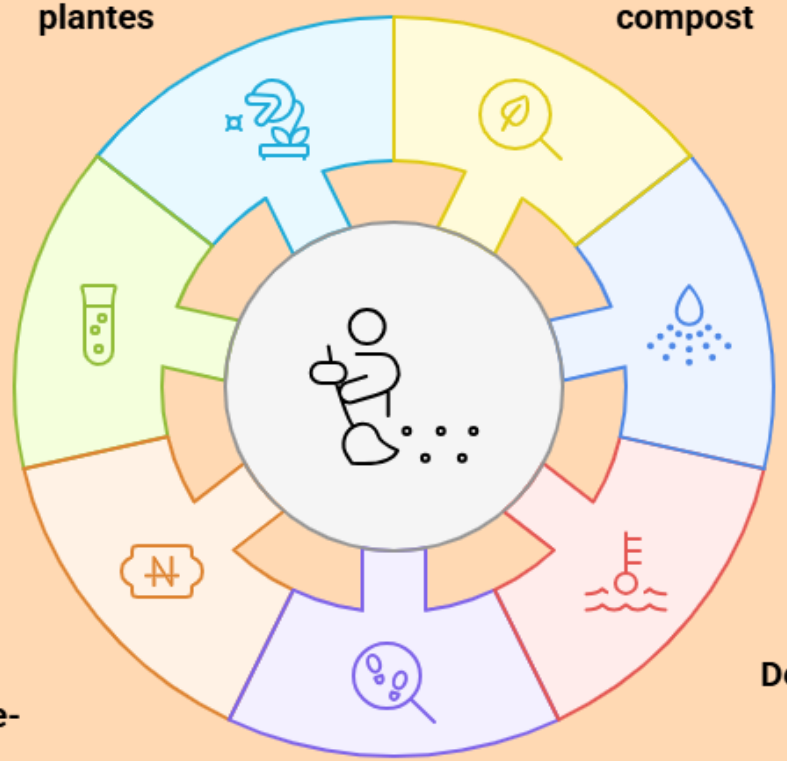


-Ce mélange de 9,8 kg fera l'objet d'une homogénéisation et d'une caractérisation initiale avant d'être chargé dans le composteur. Pendant 7 semaines, les 2 composteurs ont été alimentés afin d'accélérer le processus et d'assurer une activité biologique active.

Caractérisation du compost

Indice de germination
Test de la toxicité pour la germination des plantes

Aspect visuel
Évaluation de l'apparence physique du compost



Métaux traces
Détection de métaux lourds dans le compost

Pourcentage d'humidité
Mesure du niveau d'humidité dans le compost

Ratio C/N
Analyse du rapport carbone-azote

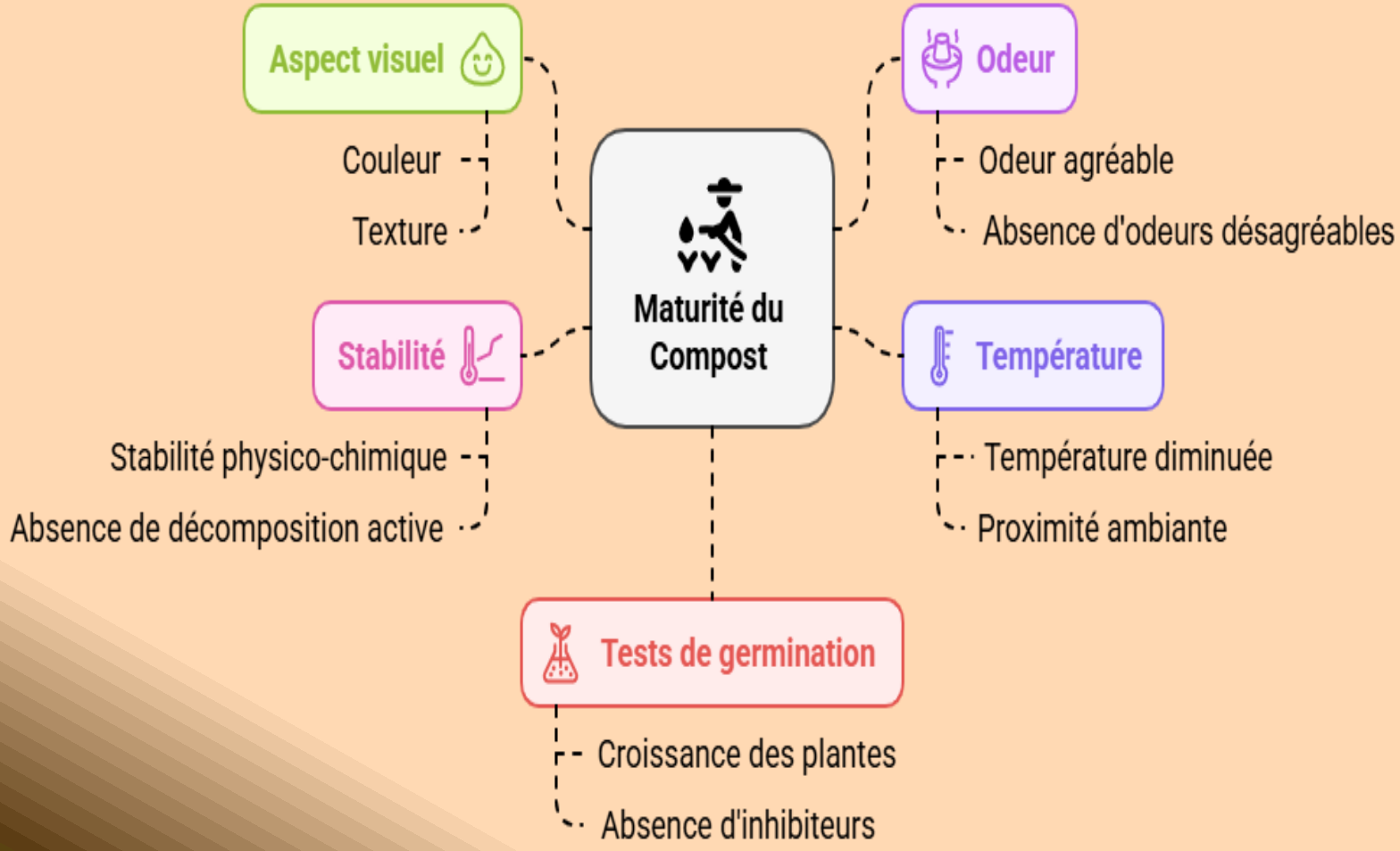
pH
Détermination de l'acidité ou de l'alcalinité du compost

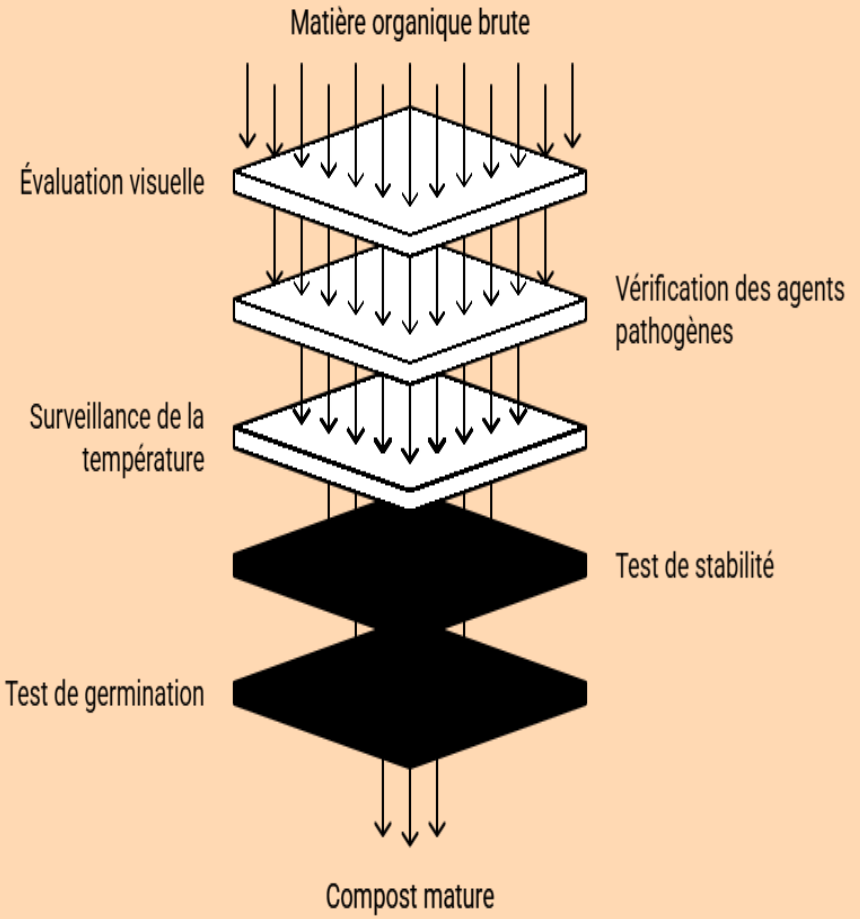
Analyse microbiologique
Détection de microbes nocifs (pathogènes) dans le compost





Évaluation de la maturité du compost

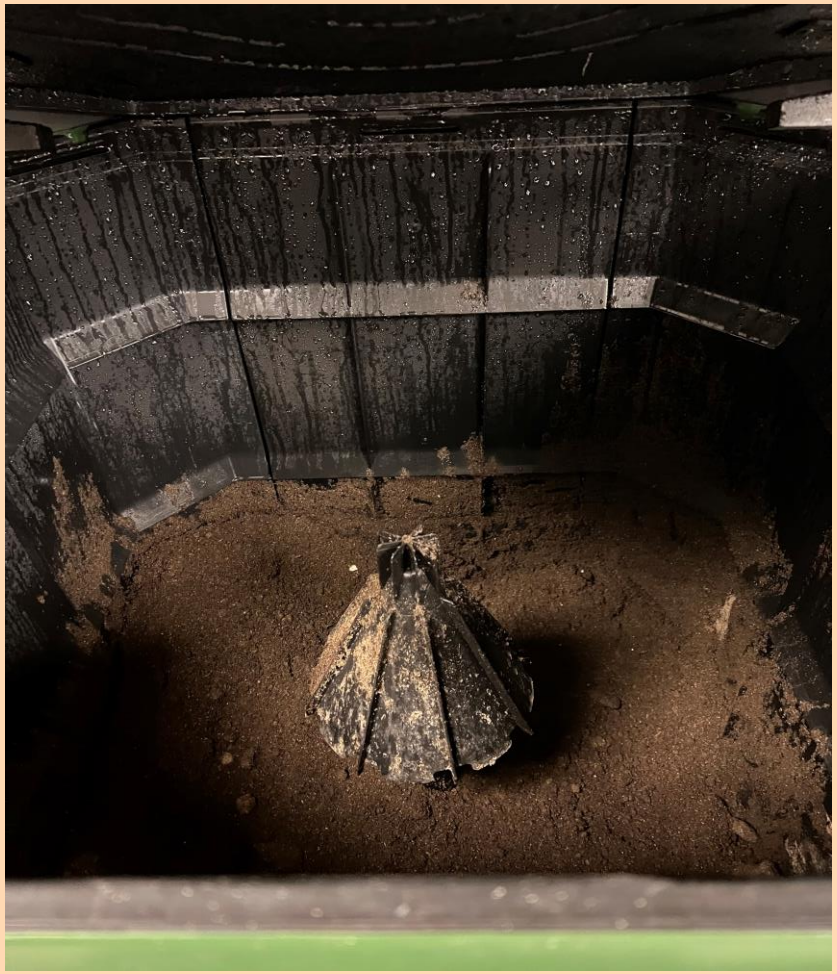




Résultats clés



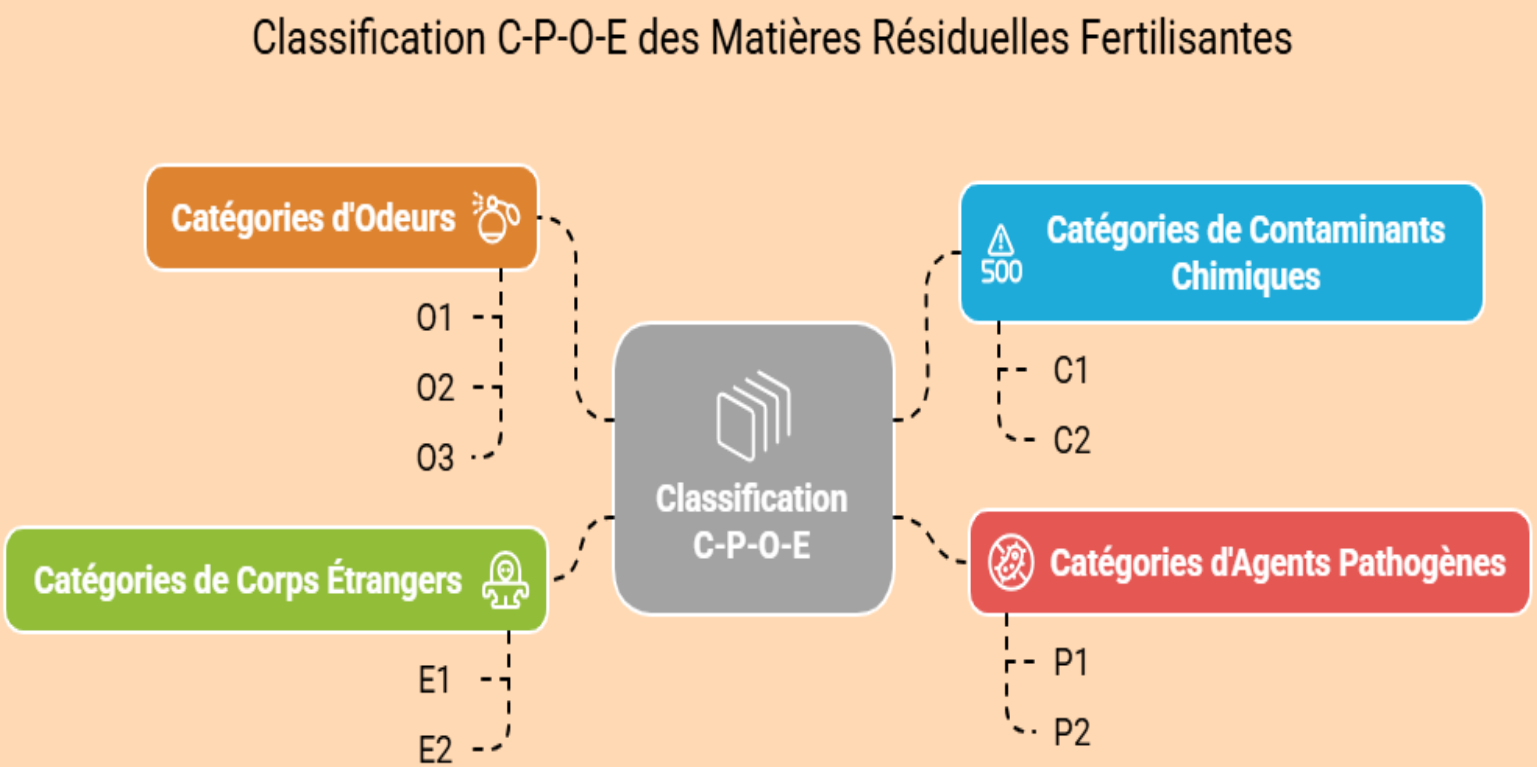
Compost mature issu du composteur JORACAN

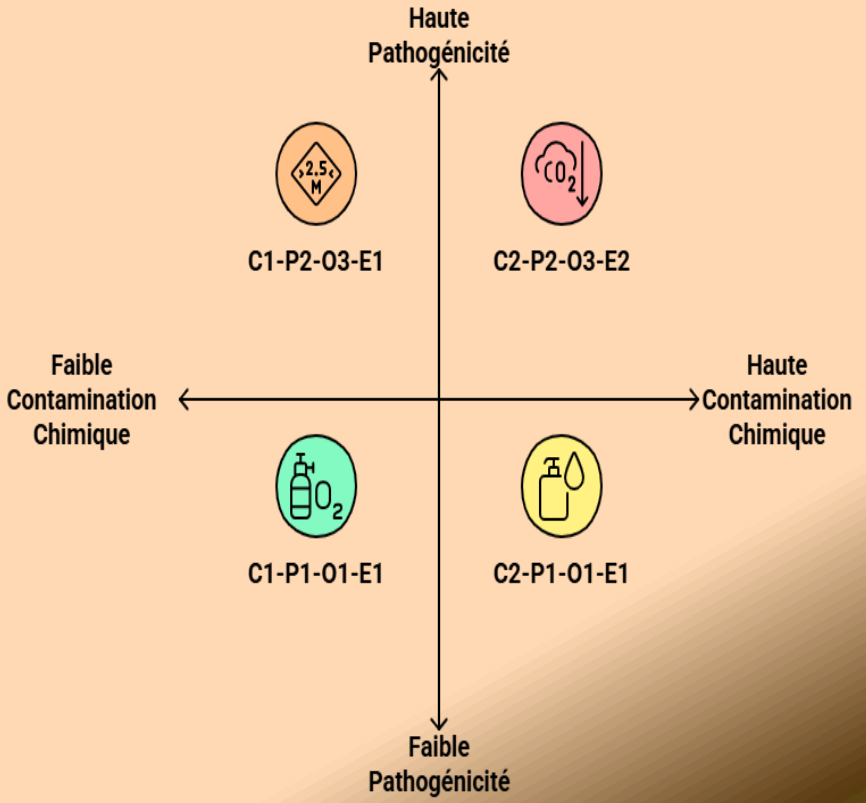


Compost mature issu du composteur AEROBIN

Indicateurs de la qualité du compost

Selon le guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes (MRF), divers critères ont été sélectionnées pour déterminer la qualité d'un compost.

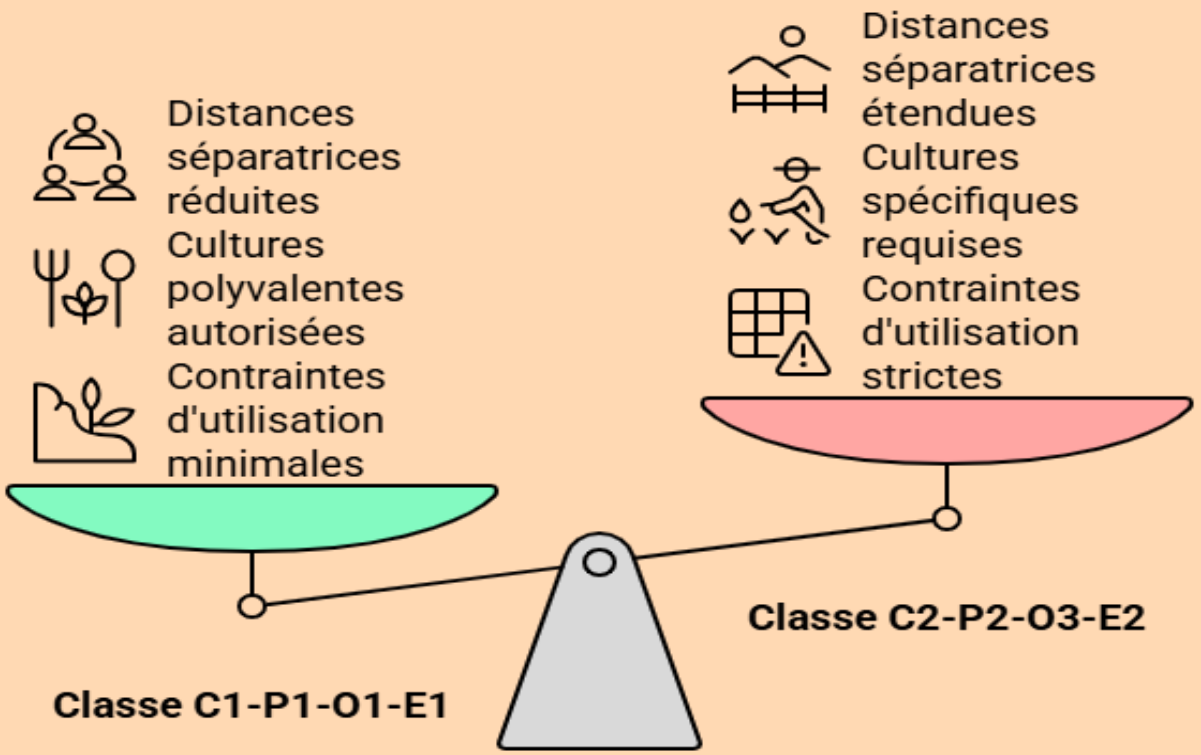




Hébert, Marc, 2015. Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes : Critères de référence et normes réglementaires – Édition 2015. Québec.

Indicateurs de la qualité du compost

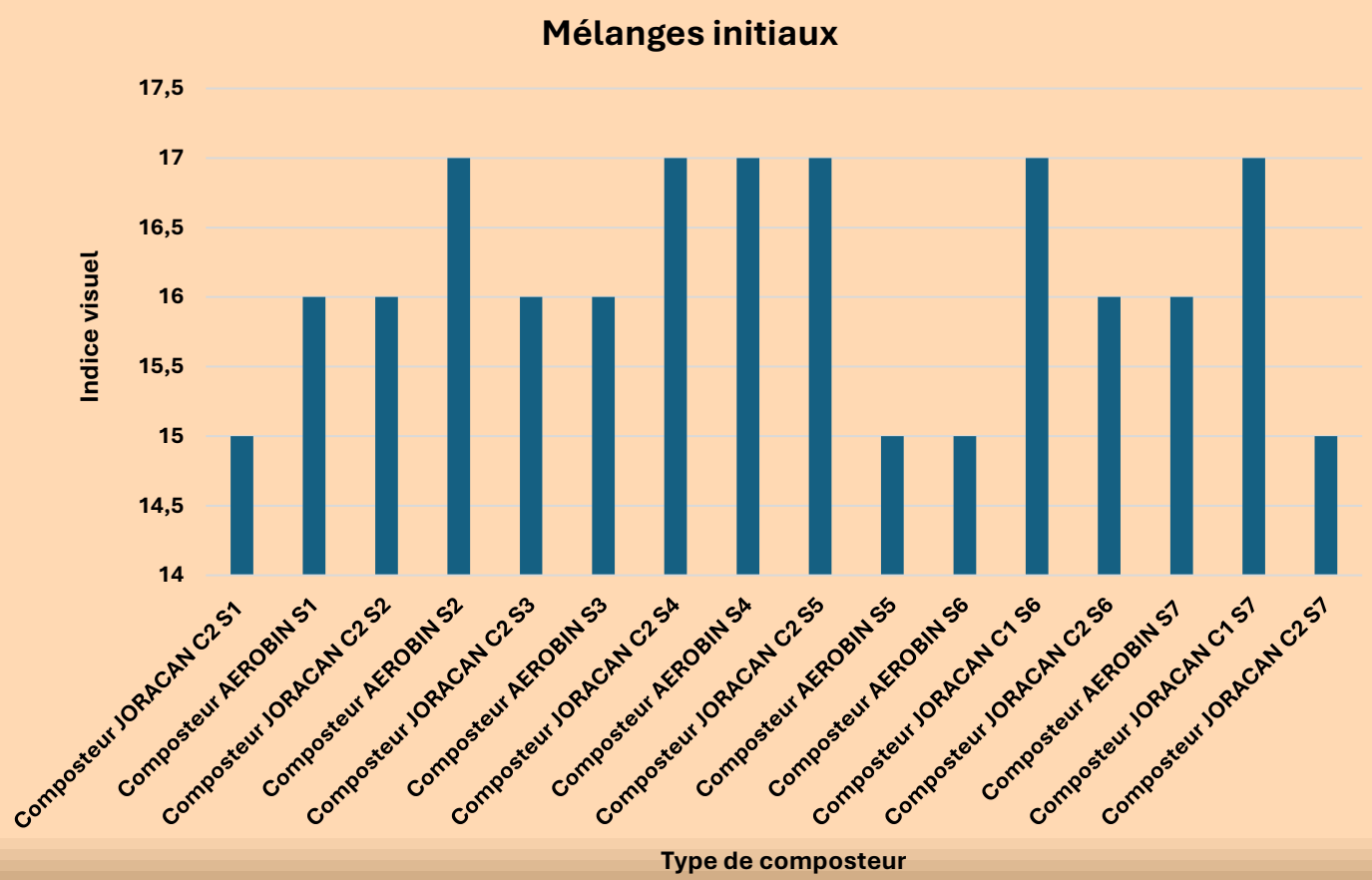
Selon le guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes (MRF), divers critères ont été sélectionnées pour déterminer la qualité d'un compost.

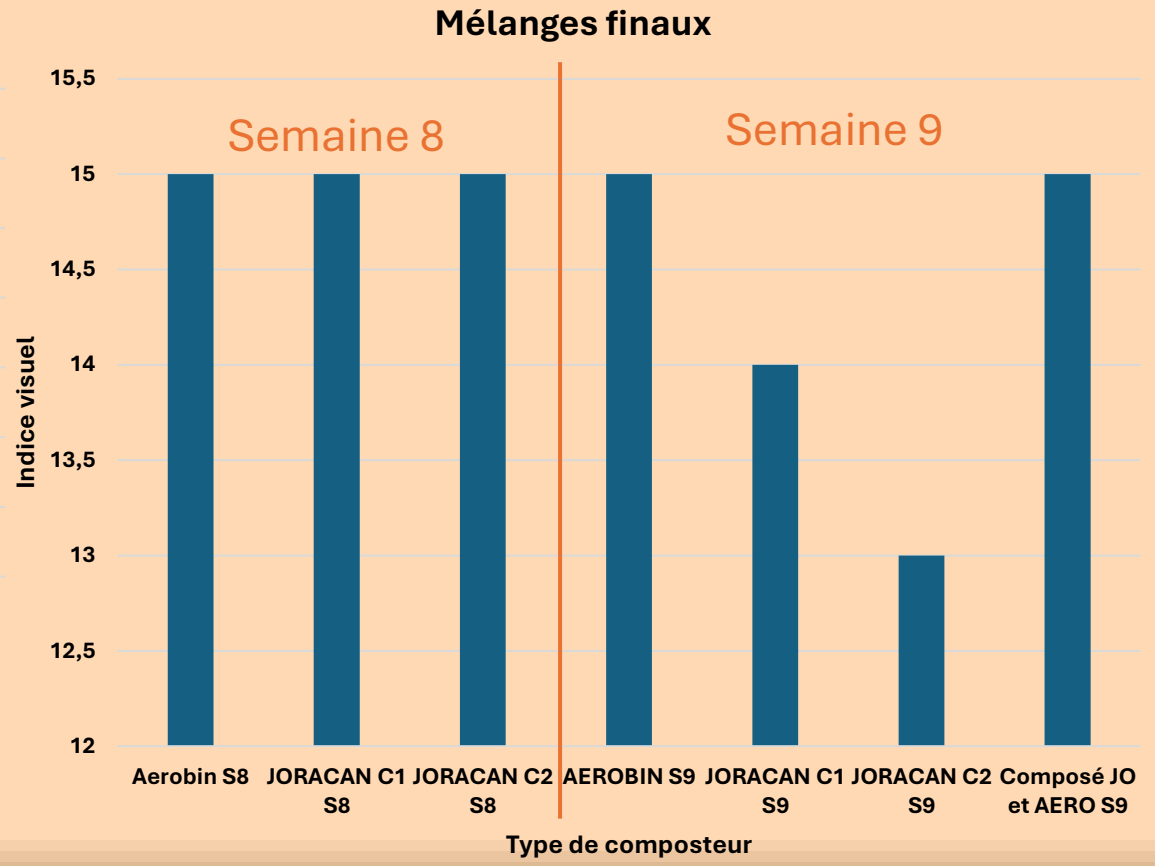


Évaluer les contraintes de recyclage des MRF.

Aspect visuel

C’est un test qualitatif qui doit être bonifier par d’autres essais de maturation pour confirmer le résultat.

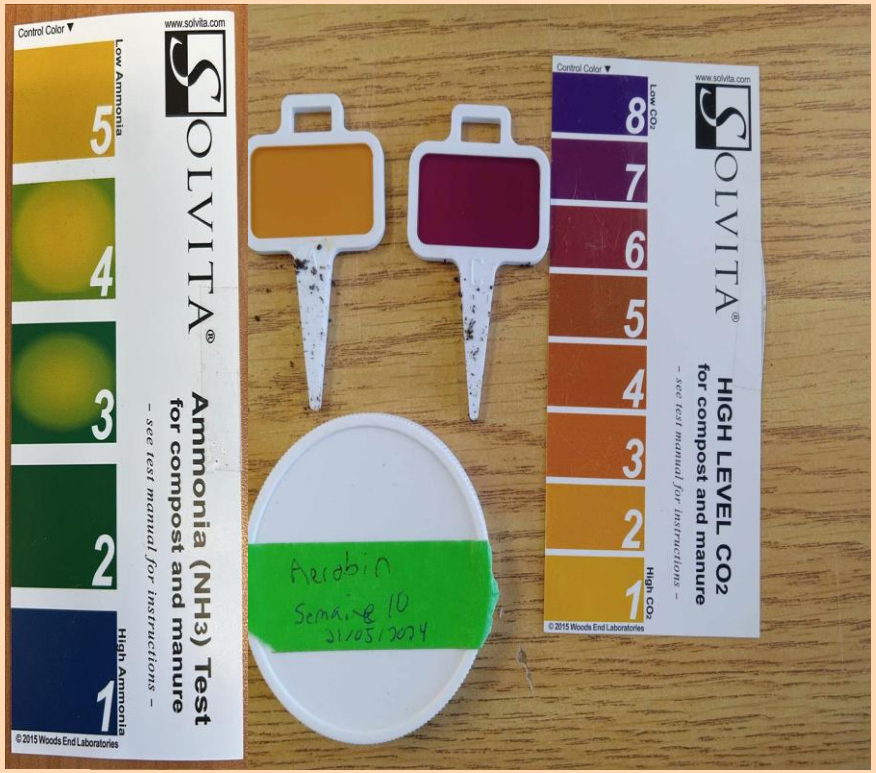




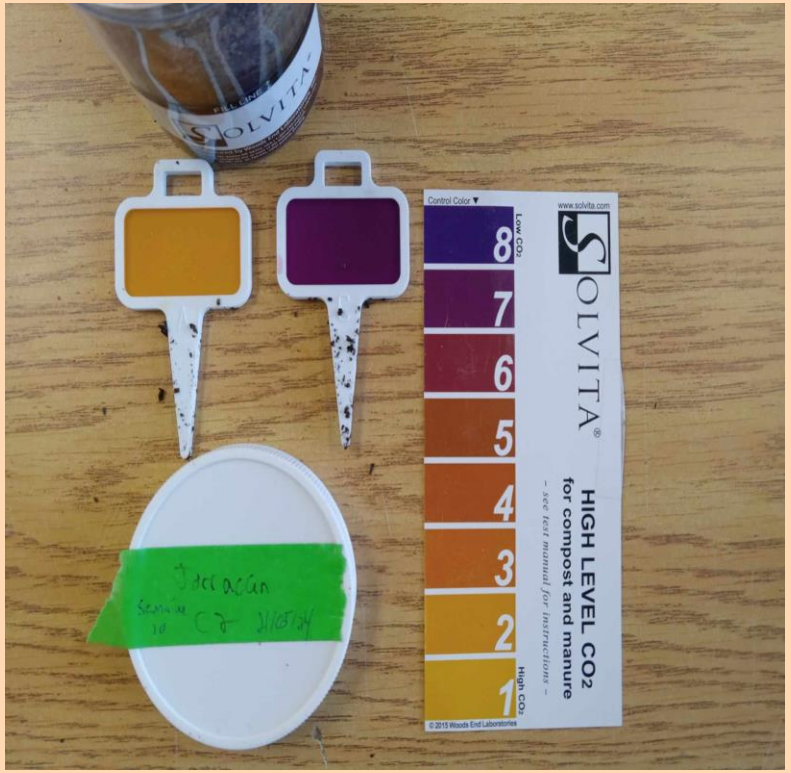
Un indice faible situé en 9 et 14 indique que le compost est mature selon l’échelle de Levasseur et Kraeutler .

Test SOLVITA

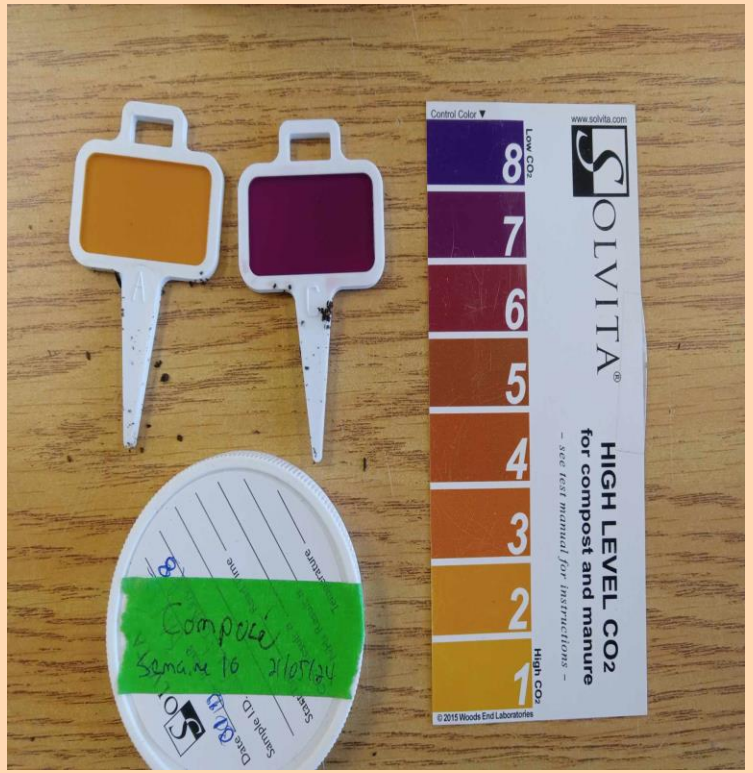
La maturité du compost est marquée par une activité lente des microorganismes et la diminution du taux d'azote. Ce test permet de déterminer l'évolution du dioxyde de carbone (CO2) et de l'ammoniac volatil (NH3).



Résultat test compost AEROBIN S10



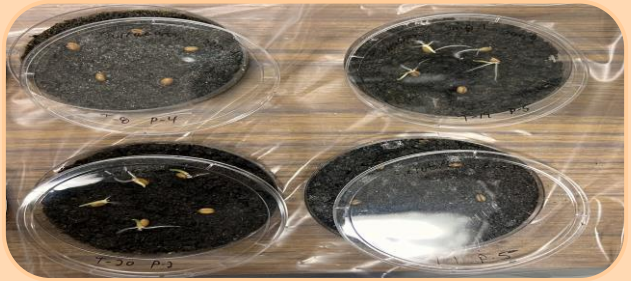
Résultat test compost JORACAN S10

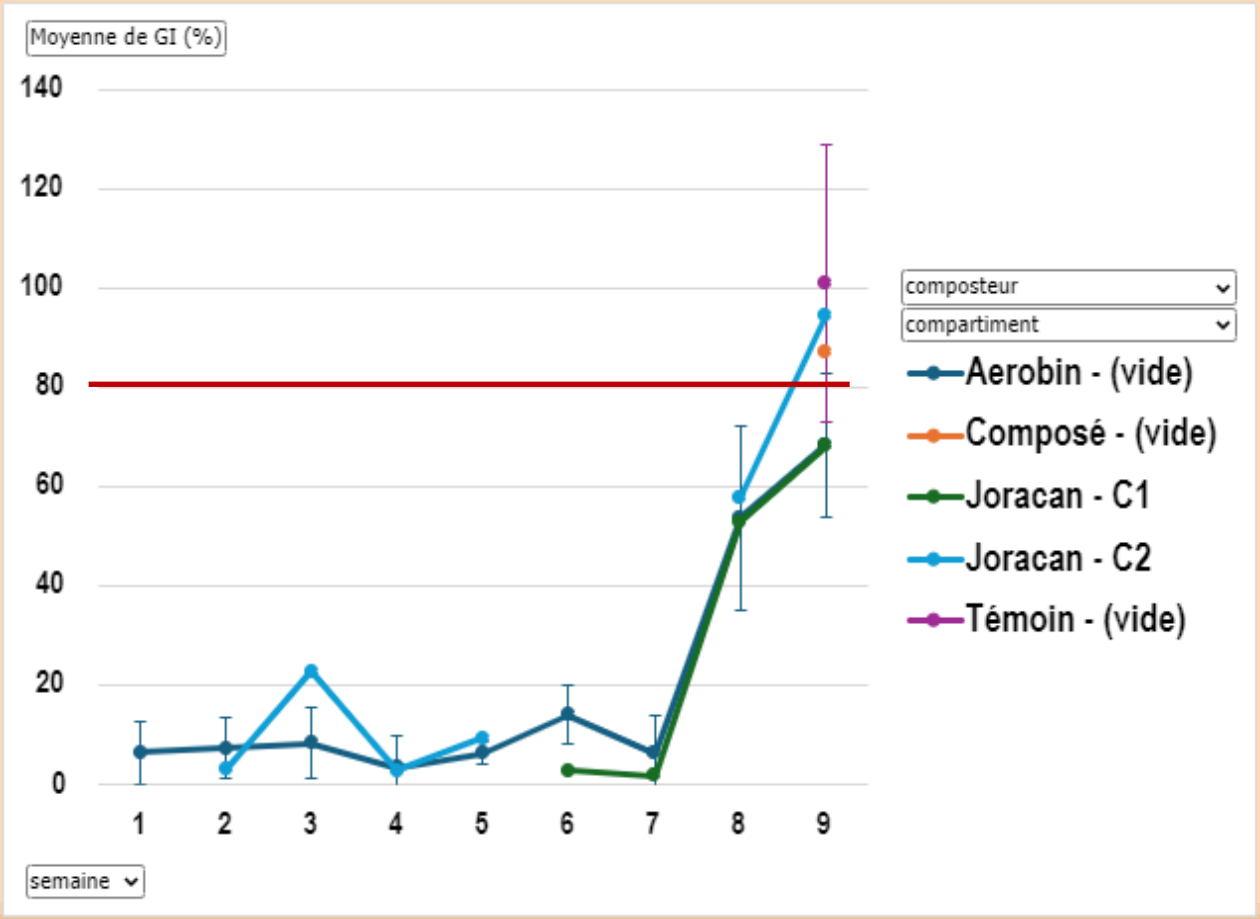


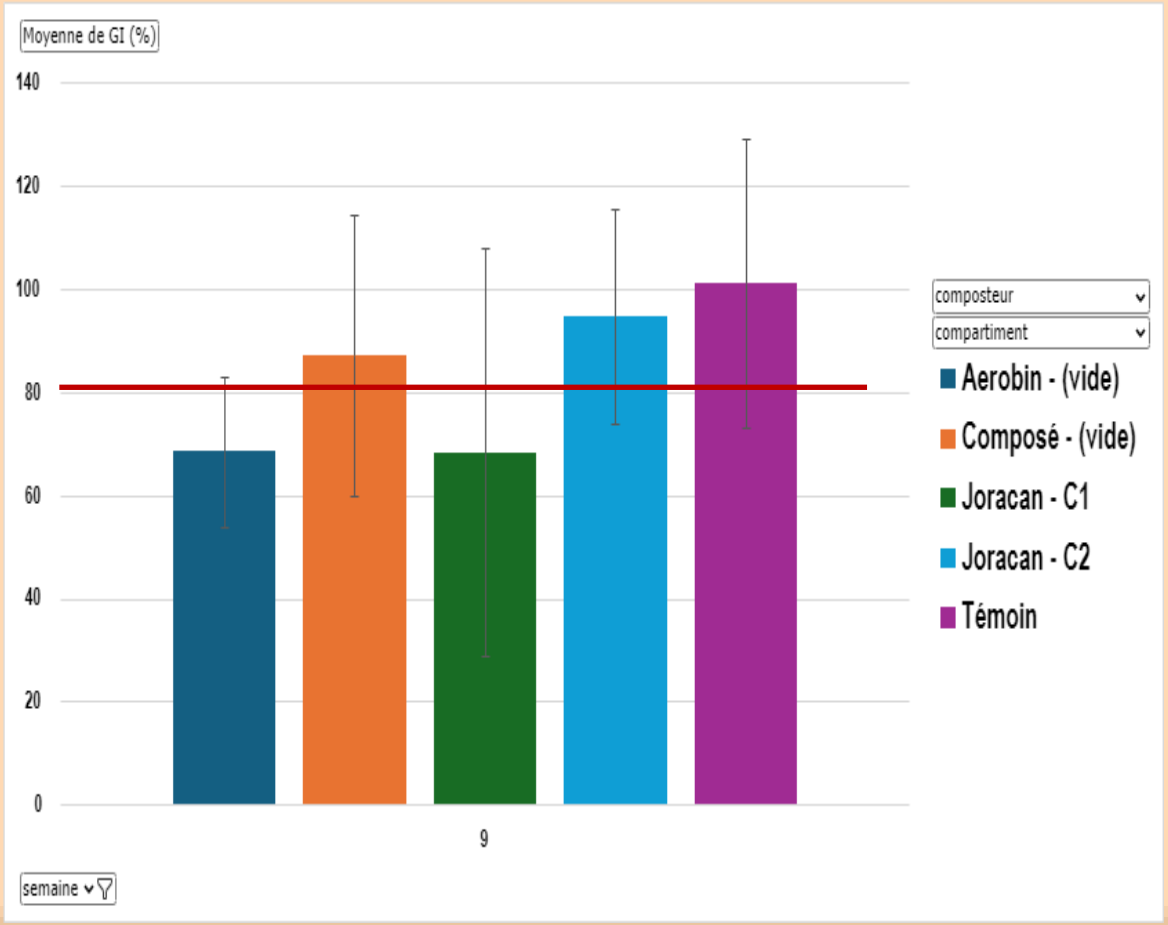
Résultat test composé AEROBIN et JORACAN S10

Test rapide se fait sur le terrain, la sonde de dioxyde de carbone est violette et la sonde d'ammoniac est jaune. Plus l'indice est élevé, plus on s'approche de la maturation.

Phytotoxicité : indice de germination







➔L'indice de germination supérieur à 80% indique que le compost est non phytotoxique et qu'il peut être appliqué en domaine agricole (Xue et al., 2021; Zhong et al., 2023).

Agents pathogènes

Identification	Coliformes fécaux (UFC/g b.sèche)	*E.coli* (UFC/g b.sèche)	*Salmonelles* (/50 g humide)
Composteur JORACAN Semaine 10	11000000	<210000	Absence
Composteur AEROBIN Semaine 10	>13000000	<210000	Absence
Compost mixte	9700000	<210000	Absence

- Selon le guide des MRF, un compost dont la maturité est confirmée selon un des tests de la norme BNQ, et qui est exempt de salmonelles, sera pour sa part de catégorie P1(si les *Salmonelles* ne sont pas détectées pour au moins 2 échantillons sur 3 (tiré de la norme BNQ (2005a)).

- Selon le guide des MRF, *E. coli* < 2 000 000 UFC/g (b.s.), un traitement biologique aérobie et un taux d'assimilation de O_2 ≤ 1 500 mg O_2/kg matière organique/heure est considéré comme P2.

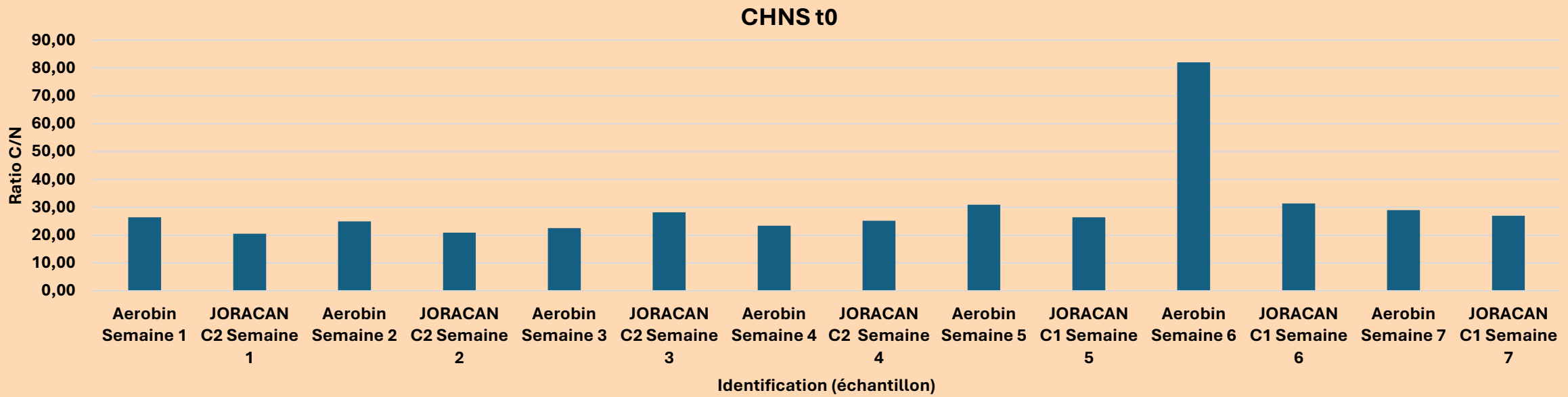
- La concentration pour *E. coli* était inférieur à 210000 (UFC/g (b.s)).

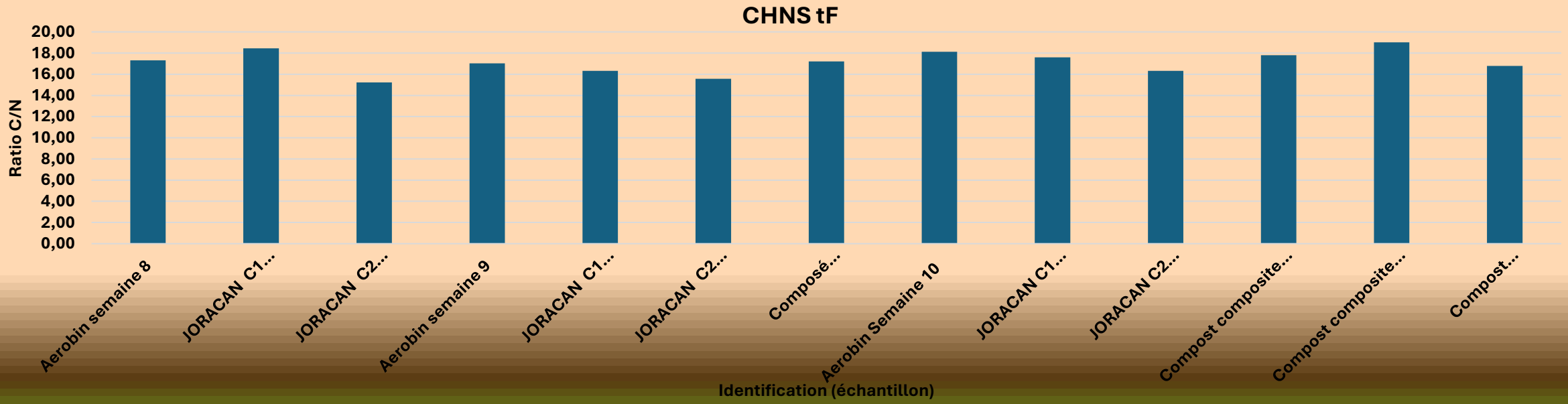
- Selon le critère pathogène, on peut classer le compost mature en catégorie P2, et ainsi, on se trouve avec des restrictions au niveau de l'épandage du compost.

➔ Le type de compost issus de ces traitements est de catégorie **P2**, pour les pathogènes une limitation doit être prise en compte **qui est le type de culture.** Pour notre cas de figure, le compost est dédié pour la restauration des sites miniers dégradés.

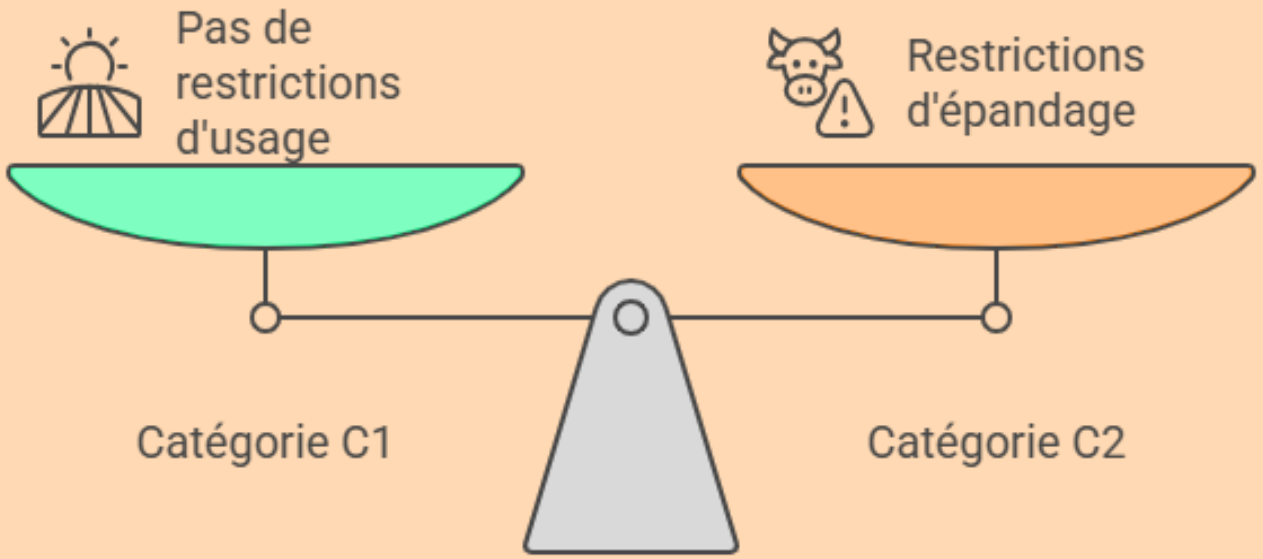
Ratio C/N

Le ratio C/N est considéré comme l'indice de biodégradabilité d'un substrat organique solide. Le ratio C/N optimal est situé entre 25 et 30. Après la maturation, ce ratio diminue jusqu'à 15-20.



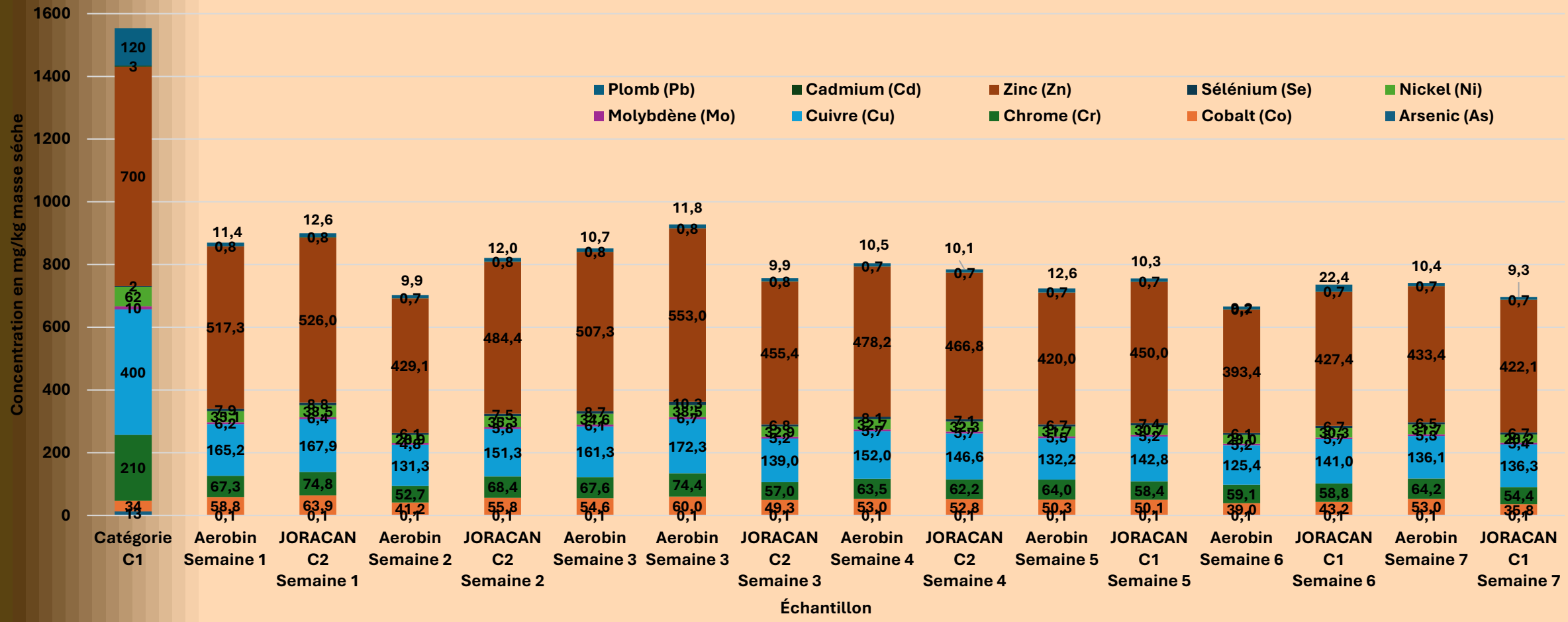


Contaminants chimiques: métaux lourds



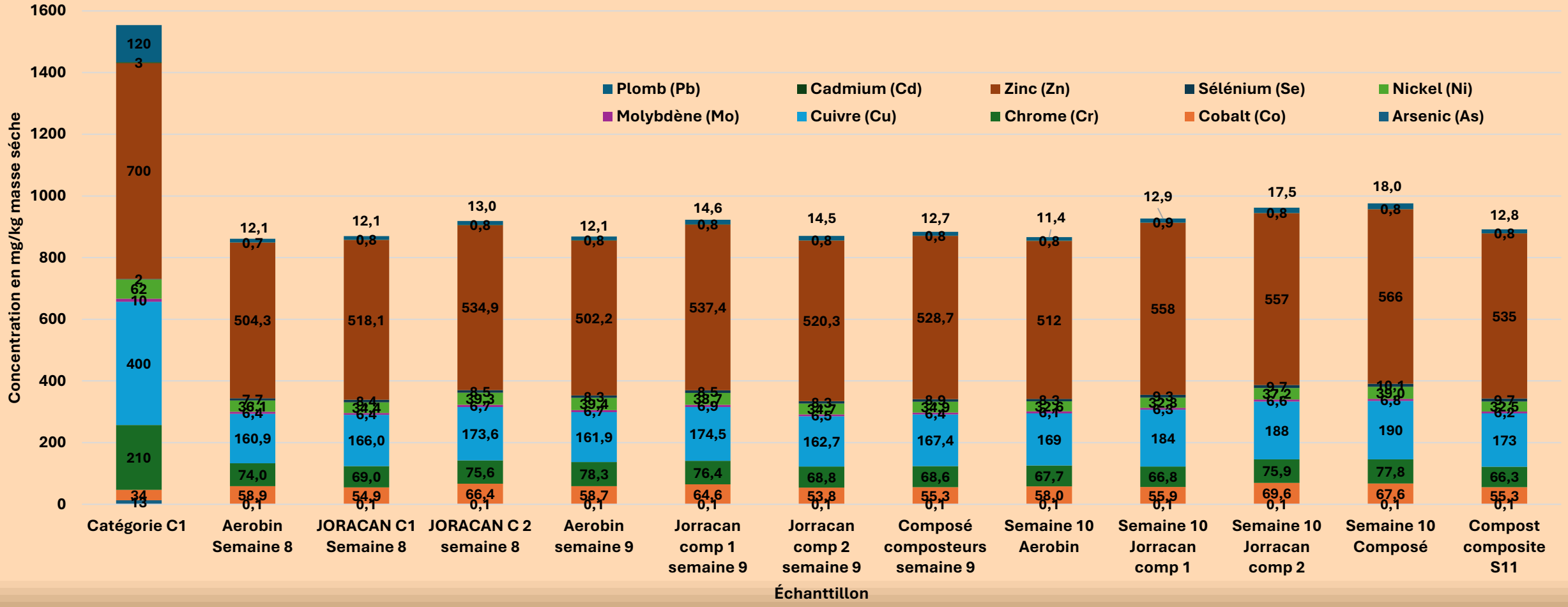
Évaluer les catégories d'usage et d'épandage des traitements.

Contaminants chimiques: métaux lourds



➔Tous les traitements sont de catégorie C1 (sans restriction d'usage), sauf pour les éléments Co et Se qui sont considérés de catégorie C2(restriction d'usage; pour restauration).

Contaminants chimiques



➔ **Le type de compost issus de ces traitements est de classe C1-P2-O1-E1, majoritairement conforme à la catégorie C1**.Pour le Co et Se (C2), il y restriction d'usage qui doit être prise en compte **qui est le type de culture et dans notre cas, ça sera la végétalisation de lieux dégradés**.

Valorisation du compost produit: épandage sur un site dégradé

- **Implantation du dispositif terrain**
- 🗓️ **Dates** : 17 juin au 19 juin 2024



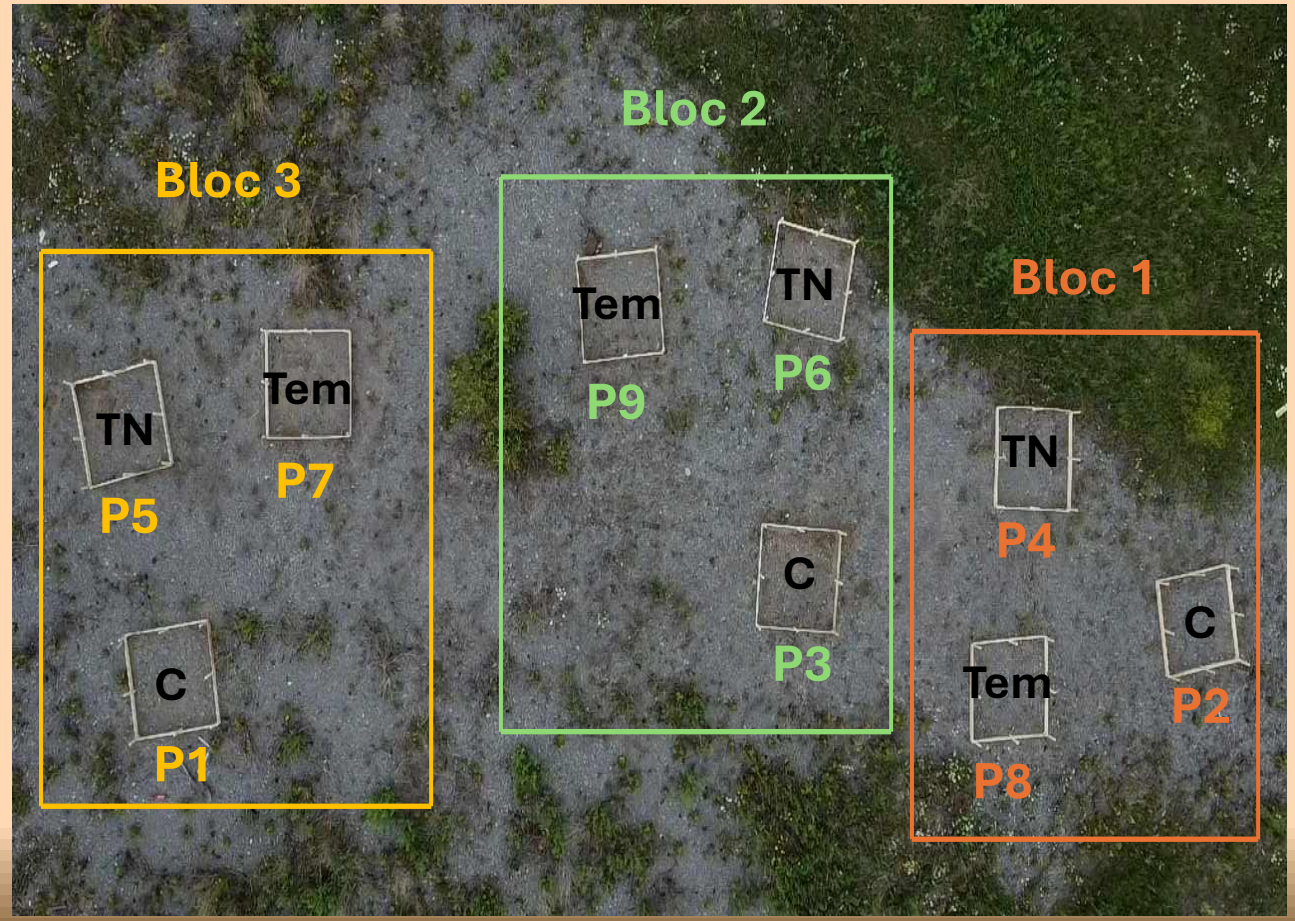




Dispositif terrain

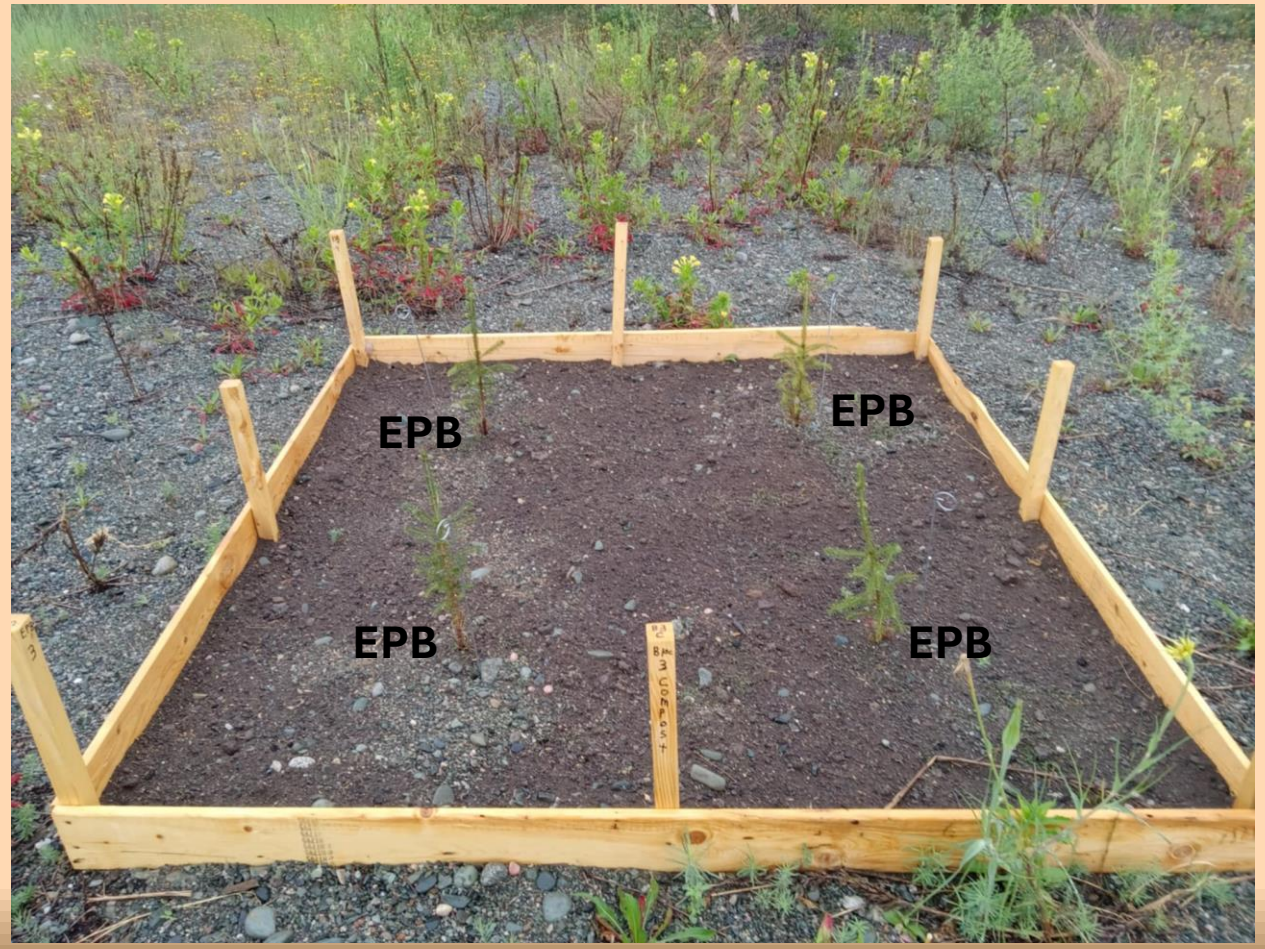
Identification des parcelles

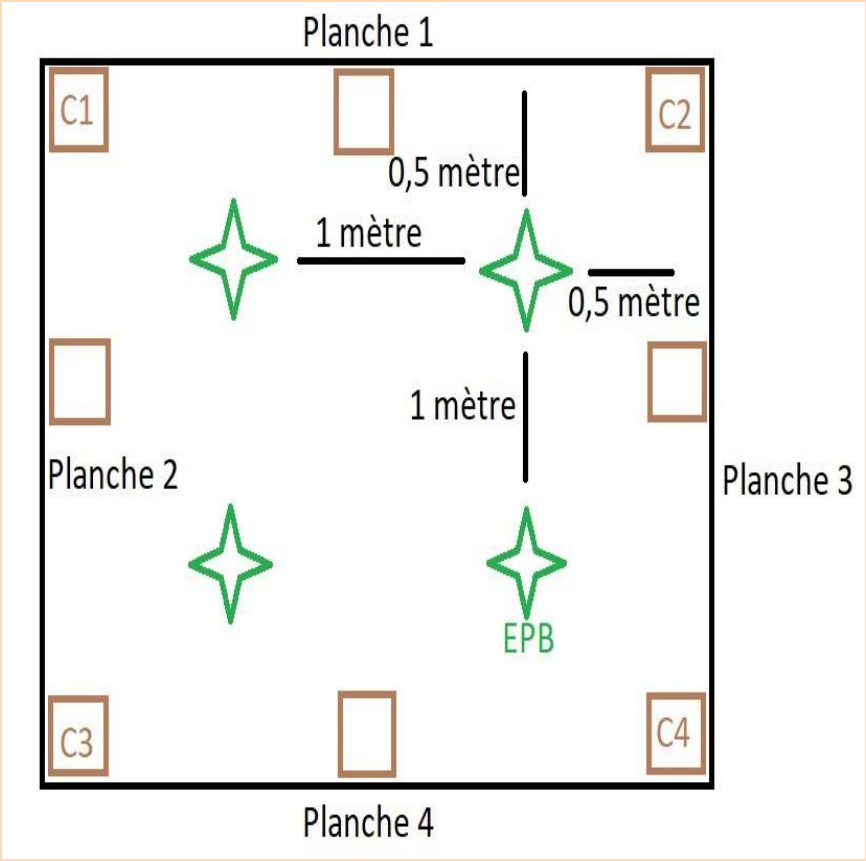
Identification	Traitement	Compost (C)	Terre noire (TN)	Témoin (Tem) Substrat site sable/gravier	Parcelles
Bloc 3 - C	1	√	0	√	1
Bloc 1 - C	1	√	0	√	2
Bloc 2 - C	1	√	0	√	3
Bloc 1 - TN	2	0	√	√	4
Bloc 3 - TN	2	0	√	√	5
Bloc 2 - TN	2	0	√	√	6
Bloc 3 - Tem	3	0	0	√	7
Bloc 1 - Tem	3	0	0	√	8
Bloc 2 - tem	3	0	0	√	9



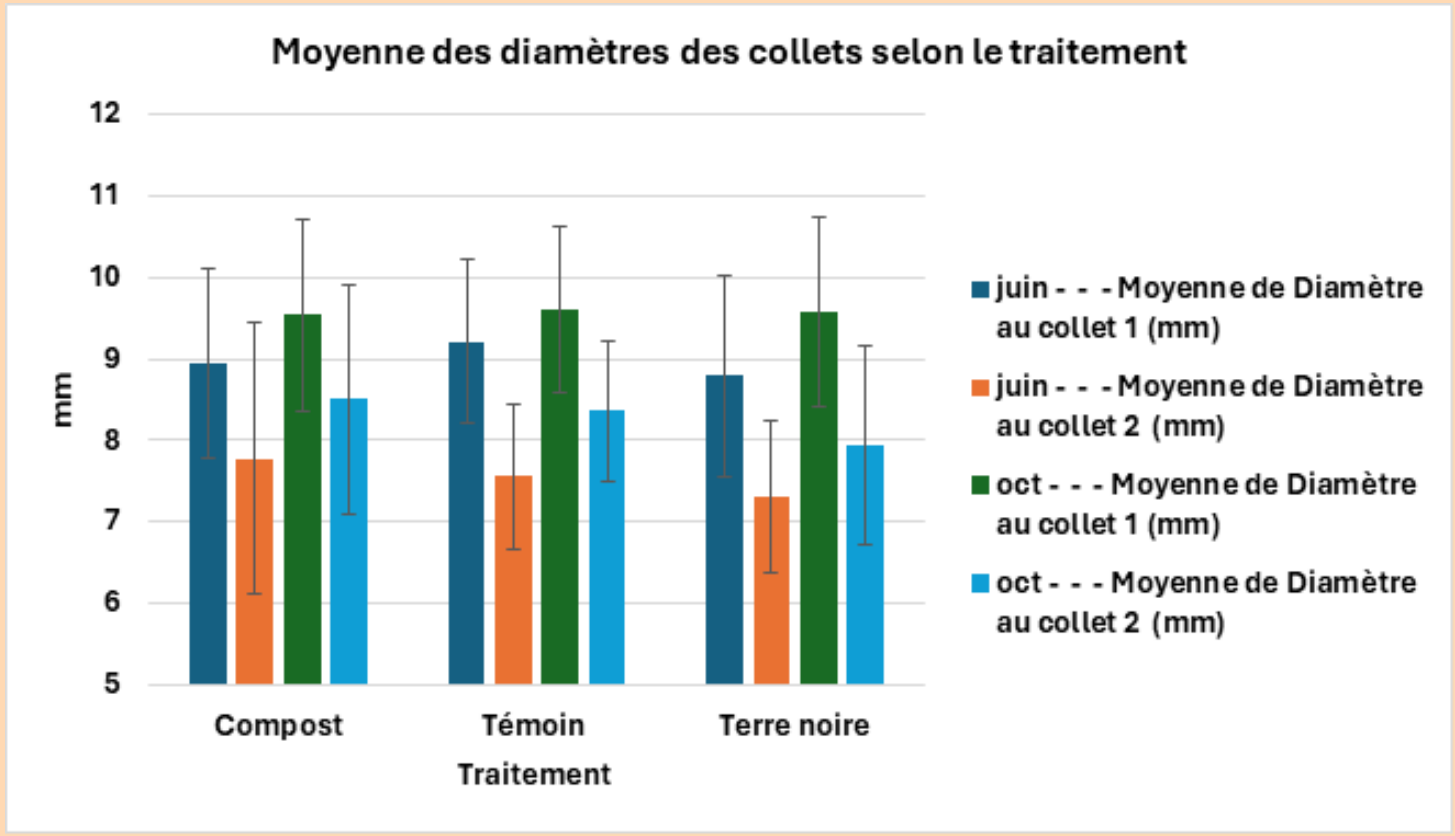
Plan des parcelles

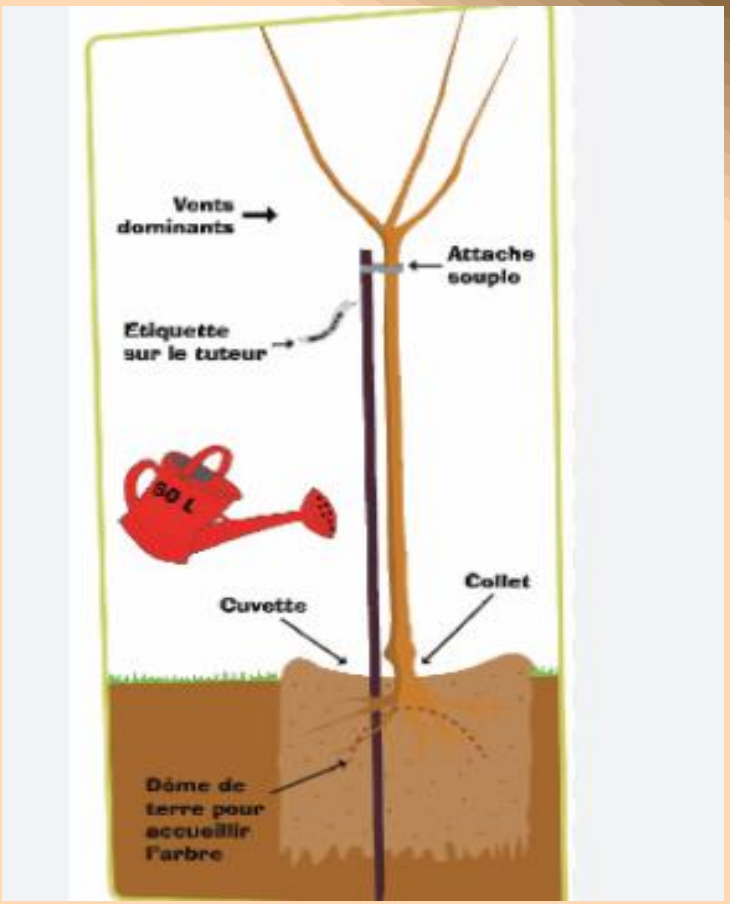
3 cm (épaisseur) de compost, mélange minier Gloco (des graminées) , Épinette blanche (EPB)





📊 Graphique 1 : moyenne des diamètres des collets



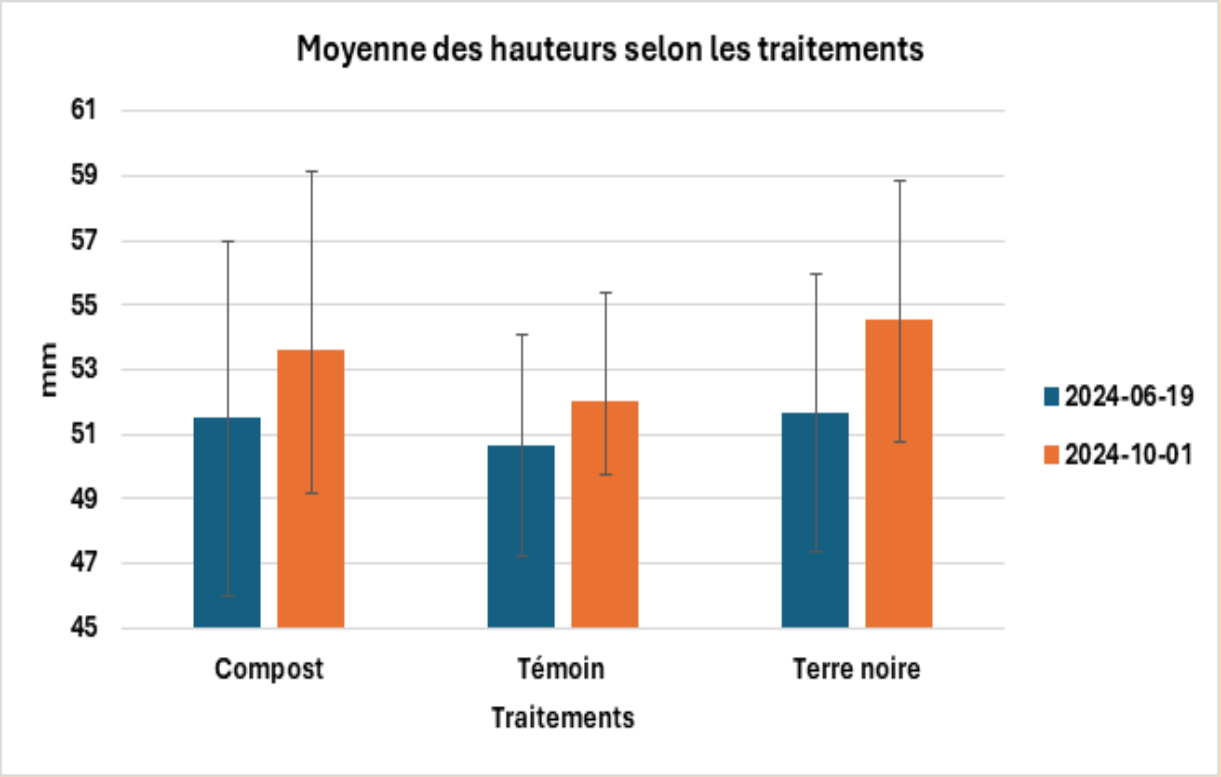


- Aucune différence significative entre les traitements.
- Croissance minimale entre le mois de juin et le mois d'octobre.

📊 Graphique 2 : moyenne des hauteurs des plants

- Légère croissance observée malgré les conditions difficiles.

- Sécheresse et stress de repiquage potentiellement responsables de la croissance limitée.



📊 Tableau 1: taux de recouvrement végétal des parcelles (date du 10 octobre 2024)

- **Parcelles compost :** bonne couverture par les plantes indigènes.
- **Parcelles terre noire :** forte croissance des espèces spontanées.
- **Parcelles témoins :** peu ou pas de développement.

Traitements	Taux de recouvrement végétal			
	A (0-25%) peu de végétation	B (25-50%) recouvrement partiel	C (50-75%) recouvrement dense	D (75-100%) sol entièrement couvert
Compost		1 parcelle	2 parcelles	
Témoin	2 parcelles	1 parcelle		
Terre noire			3 parcelles	

📌 **Limite de l'interprétation : l'absence de suivi sur les espèces indigènes limite la fiabilité des conclusions.**

Parcelle témoin entre 3 juillet 2024 et 25 septembre 2024



3 juillet 2024



25 septembre 2024

Parcelle terre noire entre 3 juillet 2024 et 25 septembre 2024



3 juillet 2024



25 septembre 2024

Parcelle compost entre 3 juillet 2024 et 25 septembre 2024



3 juillet 2024



25 septembre 2024

Conclusion

- 🔹 **Objectifs atteints partiellement** :
  L’expérimentation a permis de tester la faisabilité du dispositif terrain, mais plusieurs contraintes ont limité son efficacité.
- 🔹 **Facteurs limitants** :

  La sécheresse, l’érosion éolienne et l’absence d’un système d’irrigation ont freiné la croissance des plants d’épinettes blanches et des semences.
- 🔹 **Recommandations** :
  ✔️ Prévoir un système d’irrigation ou choisir un site moins exposé au vent.
  ✔️ Augmenter l’épaisseur des couches de compost et de terre noire.
  ✔️ Améliorer le suivi des espèces végétales spontanées pour mieux interpréter les résultats.

Travaux à venir

- Production du compost à échelle plateforme de compostage(7 tonnes).
- Épandage du compost produit et plantation des végétaux sur un site dégradé.
- Suivi de la croissance des plantes et du stockage du carbone dans le sol.



Conclusion

- **Le compostage des boues est une solution durable et innovante qui permet de réduire les émissions de GES et d'améliorer la qualité des sols dégradés tout en séquestrant le carbone à long terme.**

- **Afin de surmonter les défis liés à la gestion des BFS, il est nécessaire d'avoir une collaboration étroite entre les parties prenantes.**



Période de questions



Merci pour votre attention

