



Production et utilisation des biochars dans les OP du groupe Fifata

Capitalisation des expériences et conditions
de déploiement durable



Synthèse issue d'enquêtes terrain, entretiens et expérimentations menées en 2025 dans
les régions Vakinankaratra, Haute Matsiatra, Itasy et Analamanga à Madagascar

Auteures :

- Emma Gross, Fert
- Sylvia Laurencien, stagiaire Ceffel

Décembre 2025

Table des matières

1.	Contexte de l'étude	3
2.	Méthodologie de l'étude.....	3
2.1	Approche générale	3
2.2	Zones d'étude et partenaires impliqués	3
2.3	Objectifs du rapport	4
2.4	Dispositif d'enquête mis en œuvre	4
2.5	Limites et biais possibles	6
3.	Les biochars : généralités, usages agronomiques et état des connaissances au sein des OP du groupe Fifata.....	6
3.1	Caractéristiques principales des biochars	7
3.2	Les Sichars : biochars riches en silice.....	8
3.3	Etat des connaissances et des formations sur les biochars au sein du groupe Fifata.....	8
4.	Résultats des entretiens et des enquêtes terrain	10
4.1	Expérimentations menées et début des productions	10
4.2	Pyrolyseur et fabrication	12
4.3	Organisation de la production au sein des groupements.....	16
4.4	Pyrolyse et rendement	17
4.5	Biomasse utilisée, disponibilité et prix	18
4.6	Usages et application	23
4.7	Résultats observés	25
5.	Analyse transversale de l'adoption du biochar au sein des OP	27
5.1	Contraintes majeures à la production et à l'utilisation des biochars	27
5.2	Besoins en formation et en accompagnement technique	28
5.3	Faisabilité technique et économique	28
5.4	Facteurs d'adoption et conditions de réussite pour le biochar	29
5.5	Chiffres clés et ordres de grandeur de la production des biochars au sein des OP du groupe Fifata.....	29
6.	Perspectives opérationnelles pour le déploiement de la production et de l'utilisation de biochars	32
6.1	Recherches sur un nouveau modèle de pyrolyseur	32
6.2	Construction du pyrolyseurs TLUD et premiers résultats	34
6.3	Capacité d'adoption du nouveau pyrolyseur par les groupements	36
7.	Conclusion.....	37
8.	Annexes	38

1. Contexte de l'étude

Depuis 2020, des recherches et essais sur les biochars ont été engagées afin de valoriser les biomasses issues notamment des balles de riz, très disponibles dans plusieurs régions, et particulièrement en région Vakinankaratra. Ces travaux, menés avec les OP du groupe Fifata, en particulier par Ceffel, ont montré des résultats prometteurs sur les plans agronomique et économique, en termes d'amélioration de la fertilité des sols et de protection des cultures.

Cependant, l'usage des biochars demeure une technologie émergente, encore peu maîtrisée, présentant de nombreuses zones d'ombre et certaines controverses, notamment en lien avec les effets différenciés selon les contextes pédoclimatiques, les risques de rétention de certains nutriments, les incertitudes économiques ou encore le bilan carbone.

Face à ces incertitudes, une étude approfondie est apparue nécessaire pour éviter une adoption non maîtrisée susceptible de mettre en difficulté les producteurs. Il s'agissait également d'identifier les conditions nécessaires à un déploiement sécurisé, durable et structuré d'une éventuelle filière biochar.

2. Méthodologie de l'étude

2.1 Approche générale

L'étude a été conduite à partir de documents internes, d'entretiens semi-directifs, de visites de sites et d'échanges avec l'ensemble des acteurs des OP du groupe Fifata impliqués dans les activités liées aux biochars à Madagascar.

L'objectif est d'intégrer simultanément les dimensions techniques, agronomiques, économiques, organisationnelles et environnementales.

L'étude s'appuie notamment sur :

- Une revue bibliographique préalable des travaux scientifiques existants sur les biochars ;
- L'analyse des expérimentations déjà menées au sein du groupe Fifata ;
- Une collecte de données qualitatives et quantitatives réalisée au cours de missions dans trois régions d'étude ;
- Des échanges réguliers avec les partenaires locaux.

2.2 Zones d'étude et partenaires impliqués

L'étude s'est concentrée sur trois régions clés :

- **Vakinankaratra** : région où la production de biochars a débuté en 2020 sous l'impulsion de Ceffel. C'est la région où la production de biochars est la plus régulière, et comptant le plus de pyrolyseurs. Le Vakinankaratra est une région de forte production rizicole, disposant d'importants volumes de balles de riz et d'autres résidus agricoles mobilisables.
- **Haute Matsiatra** : la production de biochars y a récemment débuté sous l'impulsion de l'OP régionale Sahi. Les premiers essais paysans ont démarré en 2025. C'est également une région rizicole, avec une forte disponibilité en balles de riz.
- **Analamanga** : région périurbaine où la production de biochars a démarré en 2025. Également rizicole, elle est soumise à une forte pression urbaine et agricole.

Ces trois régions des Hautes Terres de Madagascar ont été sélectionnées à la fois parce qu'elles comptent des sites de production de biochars par leur nature rizicole mais aussi en raison du dynamisme des OP régionales qui y sont implantées.

Les partenaires mobilisés sont Fert, Ceffel, Cap Malagasy, les OP régionales de Fifata, ainsi que des OP de base et unions locales, avec leurs responsables et paysans relais (PR), producteurs expérimentateurs et techniciens agricoles.

Ceffel, au cœur de ces travaux sur les biochars, est une organisation paysanne spécialisée, créée en 2006 à l'initiative de Fifata et Fert, pour répondre à la demande des producteurs de diversifier leurs revenus dans les exploitations par la production de fruits et de légumes.

Depuis une quinzaine d'années, Ceffel s'est fait reconnaître comme un acteur majeur en matière d'agroécologie et de recherche-développement à Madagascar. Son pilotage par la profession et son ancrage au sein du groupe Fifata lui permettent de répondre de manière concrète aux besoins des producteurs malgaches. Son Centre d'expérimentation et de formation en fruits et légumes dotée d'une exploitation de 20 ha et situé à Andranobe sur la commune d'Antsirabe dans la région Vakinankaratra, sert de support essentiel à l'expérimentation, la formation et l'apprentissage par la pratique.

2.3 Objectifs du rapport

Ce rapport vise à :

- Synthétiser les résultats des missions terrain réalisées dans les trois régions ciblées, afin de comprendre les pratiques actuelles, les perceptions des acteurs, ainsi que les difficultés et besoins exprimés ;
- Dégager les conditions d'un développement durable de la production et de l'usage des biochars, en intégrant les dimensions techniques, agronomiques, économiques, organisationnelles, environnementales et sociales ;
- Contribuer à la préparation des prochaines étapes du projet, notamment la mise en place d'essais renforcés avec un pyrolyseur amélioré, ainsi que le potentiel déploiement de cette technique à plus grande échelle.

2.4 Dispositif d'enquête mis en œuvre

Les enquêtes ont été réalisées auprès d'un éventail d'acteurs impliqués dans la production, l'usage ou le conseil sur l'utilisation des biochars (Annexe 1 : liste des acteurs interrogés) :

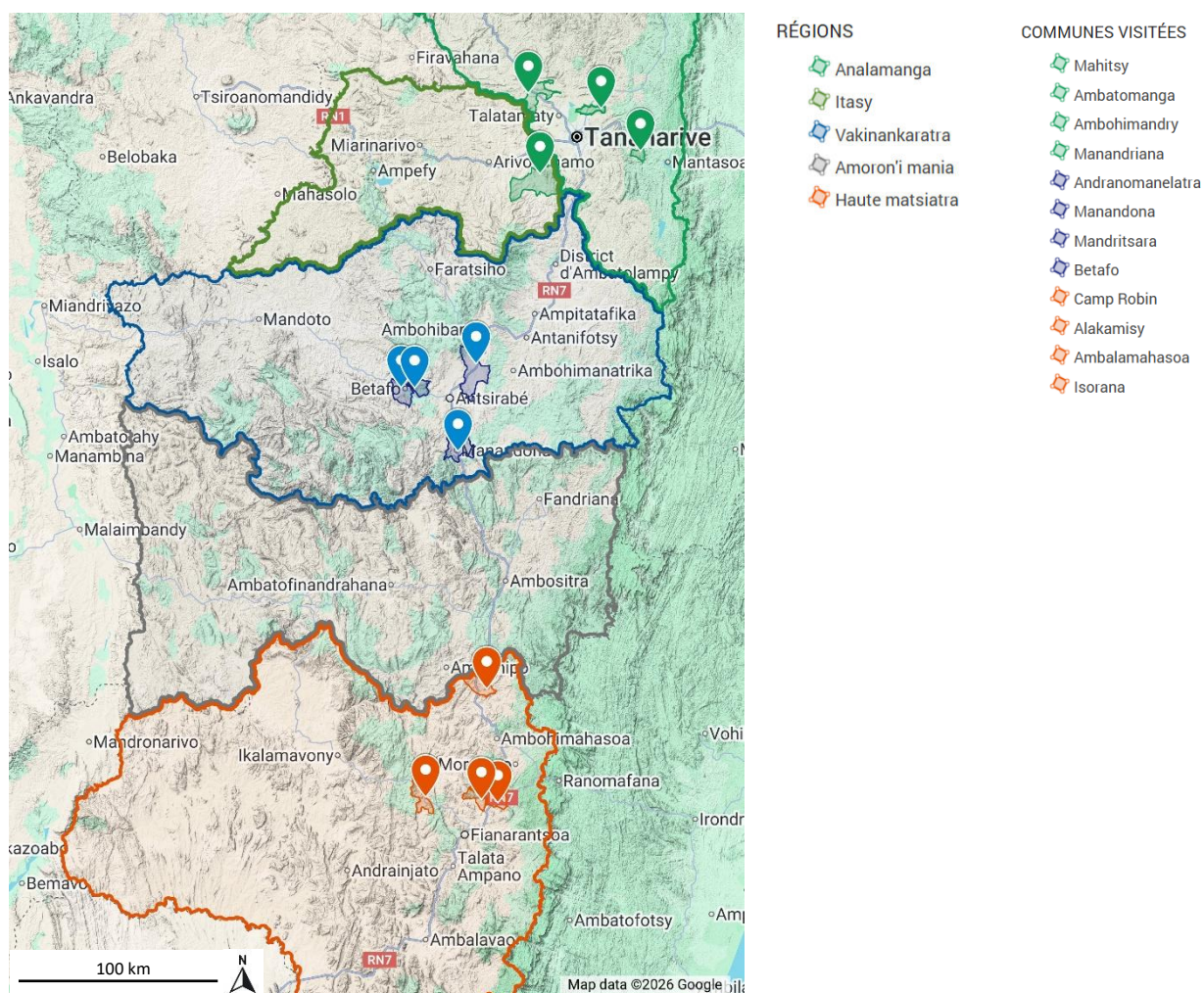
- Fournisseurs de biomasse (notamment des producteurs possédant des décortiqueuses à riz, ainsi qu'une rizerie en Haute Matsiatra) ;
- Producteurs et expérimentateurs de biochars (OP, groupements, unions, coopératives, PR) ;
- Conseillers Agricoles de Proximité (CAP) des groupements visités ;
- Représentants des OPR, techniciens et élus, dans les régions étudiées ;
- Techniciens Ceffel engagés dans la construction et la diffusion des pyrolyseurs ;
- Acteurs institutionnels ou techniques impliqués.

Un guide d'entretien semi-directif, adapté à chaque type d'acteurs, a servi de fil conducteur pour les enquêtes (Annexe 2 : guides d'entretien).

Les missions de terrain se sont déroulées de mi-septembre à mi-novembre 2025, à raison d'environ une semaine par région, complétées par plusieurs visites au centre Ceffel.

Les communes rurales et groupements visités ont été les suivants :

Analamanga / Itasy	Haute Matsiatra	Vakinankaratra
Septembre et novembre 2025	Novembre 2025	Septembre et octobre 2025
<ul style="list-style-type: none"> - Ambohimandry - Manandriana (OP Avotra) - Mahitsy (OP Miaramandroso) - Ambatomanga (OP Santatra) 	<ul style="list-style-type: none"> - Camp Robin, - Ankazondrano (OP Ezaka) - Alakamisy, Ambohimimaha - Ambalamahasoa (OP Mamafy) - Isorana (Union Soafianatra) 	<ul style="list-style-type: none"> - Betafo (coopérative Kokami) - Manandona (coopérative Fanilo) - Andranomenelatra, Mahandraza (coopérative Tafita) - Mandritsara, Ankabahaba



L'étude et son suivi ont été pilotés par un comité regroupant des membres de Fert, de Ceffel, ainsi qu'un représentant des OP du groupe Fifata dans les régions concernées par l'étude. L'étude a été mise en œuvre par un binôme composé d'une conseillère technique Fert et d'une étudiante à l'Institut Supérieur de Technologie d'Ambositra et stagiaire au sein de Ceffel, qui réalisait en parallèle son mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master II en sciences agronomiques sur les biochars.

2.5 Limites et biais possibles

Plusieurs éléments ont pu influencer la collecte et l'analyse des données :

- Des contraintes logistiques, notamment liées aux déplacements, à l'accessibilité de certains sites d'étude et à la disponibilité variable des acteurs concernés ;
- Des effets de saisonnalité susceptibles d'affecter les volumes de biomasse disponibles, les pratiques de pyrolyse ainsi que les observations agronomiques ;
- Un recul encore limité sur les expérimentations menées dans les régions Haute Matsiatra et Analamanga, les résultats devant donc être interprétés avec prudence ;
- Une forte hétérogénéité de l'ancienneté des pratiques selon les régions, rendant certaines comparaisons interrégionales délicates.

3. Les biochars : généralités, usages agronomiques et état des connaissances au sein des OP du groupe Fifata

Le biochar est un charbon végétal stable, matériau carboné obtenu par chauffage de biomasse (déchets agricoles, forestiers ou organiques), appelé pyrolyse. La pyrolyse est un procédé thermochimique consistant à chauffer la biomasse à des températures élevées, généralement comprises entre 300 et 700 °C, en absence totale ou en présence très limitée d'oxygène.

Ce traitement provoque la décomposition des constituants organiques de la biomasse (cellulose, hémicellulose et lignine) et conduit à la formation de trois fractions principales :

- Un résidu solide : les biochars¹, caractérisé par une forte teneur en carbone, une structure poreuse et une grande stabilité chimique ;
- Une fraction gazeuse : une pyrolyse de biomasse produit en moyenne 30 % de biochars et 70 % de gaz très polluants qui peuvent, et même qui doivent, être brûlés et peuvent produire de l'énergie. Ces gaz sont notamment composés de monoxyde de carbone (CO), de dihydrogène (H₂), de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂) ;
- Une fraction liquide, appelée biohuile, constituée de composés organiques condensables, utilisée comme combustible ou comme matière première en chimie verte.

Contrairement au charbon de bois destiné à la combustion, les biochars sont principalement produits dans un objectif agronomique et environnemental, notamment pour l'amélioration des sols, la gestion durable des nutriments et la séquestration du carbone à long terme.

¹ Le terme "biochars" est souvent utilisé au pluriel, car les caractéristiques (composition, porosité, stabilité, etc.) diffèrent selon la biomasse utilisée et les paramètres de pyrolyse (température, vitesse de chauffage, etc.), ce qui rend chaque biochar unique.

3.1 Caractéristiques principales des biochars

3.1.1 Propriétés physicochimiques

Les propriétés physicochimiques des biochars varient fortement selon les conditions de production et les matières premières utilisées.

- **Type de biomasse** : issus de résidus agricoles, les biochars obtenus présentent généralement une stabilité carbone faible à modérée et une porosité moyenne. Leur teneur en cendres est souvent élevée, mais ils se distinguent par une riche composition en nutriments et un faible risque de contamination.
- **Teneur en humidité de la biomasse** : une teneur en humidité comprise entre 10 et 20 % est considérée comme optimale pour la pyrolyse. Une humidité excessive augmente la consommation énergétique, réduit le rendement en biochars et peut entraîner une pyrolyse incomplète.
- **Type de pyrolyseur** : Les systèmes artisanaux (fours simples, fosses) permettent un contrôle limité de la température et de la qualité des biochars, ce qui augmente la variabilité du produit et des émissions.
- **Paramètres de production** :
 - **Température de pyrolyse** : une plage de 400 à 600 °C est généralement optimale pour éviter une pyrolyse incomplète ou une carbonisation excessive entraînant des pertes de carbone.
 - **Temps de résidence** : une pyrolyse lente favorise la formation de biochars plus riche en carbone stable.
 - **Taux de chauffage**² : un rythme de 5 à 10 °C/min maximise le rendement tout en préservant la qualité des biochars.

3.1.2 Intérêts agronomiques des biochars

En agriculture, les biochars sont principalement utilisés comme amendements du sol, en raison de leurs propriétés physiques et chimiques :

- **Structure poreuse et rétention d'eau** : leur porosité élevée leur confère une capacité importante de rétention en eau et en nutriments, améliorant notamment la rétention hydrique des sols sableux.
- **Disponibilité des nutriments et pH** : les biochars agissent comme une « éponge à nutriments », retenant phosphore et potassium, et les restituant progressivement. Leur pH alcalin (7–10) permet de neutraliser l'acidité du sol.
- **Stimulation de la vie microbienne** : leurs pores fournissent un habitat favorable aux microorganismes bénéfiques.
- **Stabilité chimique et séquestration du carbone** : le carbone des biochars se dégrade très lentement, constituant ce qu'on appelle un « puits de carbone ».

² Vitesse à laquelle la biomasse est chauffée pendant la pyrolyse. Un taux de chauffage lent favorise la formation de biochar riche en carbone et plus stable, tandis qu'un taux de chauffage rapide peut augmenter le rendement des sous-produits volatils (gaz, huile). Pour une production optimale de biochar, des vitesses de chauffe plus lentes sont préférées.

3.2 Les Sichars : biochars riches en silice

Les Sichars constituent une catégorie particulière de biochars caractérisés par une teneur élevée en silice amorphe, généralement comprise entre 15 et 25 % du poids sec. Ils sont principalement issus de biomasses naturellement riches en silicium, comme les balles de riz, les tiges de céréales ou certaines graminées.

3.2.1 Propriétés et effets spécifiques

Les Sichars conservent les propriétés générales des biochars classiques, tout en présentant des effets supplémentaires liés à la présence de silicium :

- Un apport en silicium biodisponible, renforçant la résistance des plantes aux stress biotiques et abiotiques ;
- Une amélioration de la structure du sol et de la rétention en eau ;
- Une meilleure absorption du phosphore et une réduction du lessivage des nutriments ;
- Des effets protecteurs indirects contre les pathogènes et les insectes, via le renforcement des parois cellulaires végétales.

Les effets des Sichars reposent sur plusieurs mécanismes complémentaires :

- Rôle direct du silicium dans la physiologie végétale ;
- Modification de la composition et de l'activité du microbiote du sol ;
- Induction des défenses naturelles des plantes ;
- Amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol.

3.2.2 Limites et précautions d'utilisation

Malgré leurs avantages, les Sichars présentent certaines limites potentielles :

- Adsorption excessive de l'azote et du silicium, pouvant réduire temporairement leur disponibilité pour les plantes ;
- Interaction négative possible entre l'absorption du silicium et celle de l'azote, entraînant un compromis entre protection contre les stress et performance de croissance ;
- Nécessité d'un ajustement des doses et d'une combinaison avec des fertilisants organiques ou minéraux pour maximiser les bénéfices agronomiques.

3.3 Etat des connaissances et des formations sur les biochars au sein du groupe Fifata

3.3.1 Essais et expérimentations menées jusqu'à présent

Depuis 2020, des recherches sur les biochars ont été initiées par l'association Ceffel à la suite d'une formation suivie en Belgique en 2019 par Andry Rasamimanana responsable du centre Ceffel. L'objectif principal est d'évaluer l'impact de cet amendement sur l'amélioration de la fertilité des sols et la protection des cultures.

Les premiers essais ont été conduits au Ceffel en 2020 sur des cultures maraîchères, fraise, tomate et oignon, avec des résultats très satisfaisants, tant agronomiques qu'économiques. Ils montrent une amélioration notable de la production, une meilleure gestion de l'humidité et une réduction de certains ravageurs et maladies, dont *Ralstonia solanacearum*.

Un processus de pyrolyse artisanale a été développé, dit pyrolyse en tas ou meule, atteignant un rendement d'environ 75 % pour un coût de production estimé à 108 Ariary/kg. Trois types de biomasse ont été testés : la balle de riz, qui a présenté les meilleures performances, la coque d'arachide et la sciure de bois. Une caractérisation des biochars produits devait être réalisée avec l'unité de recherche BioWooEB du Cirad à Montpellier. Une étude de longue durée a également été engagée avec le Cirad et le Fofifa, aujourd'hui terminée ou interrompue selon les volets concernés.

Ces différents travaux ont conduit les OP du groupe Fifata à mettre en œuvre un déploiement opérationnel de la production et de l'utilisation des biochars, désormais étendu à plusieurs régions : Vakinankaratra, Haute Matsiatra et Analamanga/Centre.

3.3.2 Travaux académiques menés au Ceffel

Deux mémoires de fin d'étude réalisés au Ceffel ont porté sur les biochars :

- Effet de l'amendement en biochars sur la culture de tomate (*Solanum lycopersicum*). Cas de la commune rurale d'Andranomafana Betafo. Mémoire soutenu en février 2021 par Robin ANDRIANANTENAINA.
- Étude des effets de l'ajout d'amendement en biochars sur la culture d'oignon (*Allium cepa*). Cas du Ceffel Antsirabe. Mémoire soutenu en mars 2023 par Cédric FRANCKLIN MANANJARA.

Robin ANDRIANANTENAINA, aujourd'hui chargé de relations terrain au sein de Fekama et Cédric FRANCKLIN MANANJARA, Conseiller spécialisé en agroécologie au Ceffel, poursuivent la diffusion de la pratique des biochars auprès des paysans accompagnés, ayant été parmi les premiers à l'introduire dans les OP du groupe Fifata.

Sylvia LAURENCIEN a soutenu son mémoire de fin d'étude en décembre 2025, portant sur l'utilisation des biochars, réalisé au Ceffel.

3.3.3 Formations et diffusion des connaissances sur les biochars

Ceffel organise régulièrement des formations pratiques dès que de la biomasse est disponible pour réaliser une pyrolyse. Les sessions de formation sont dispensées au Ceffel lors de visites d'échanges ou de formations spécifiques, elles ne concernent pas forcément et uniquement les biochars mais abordent plusieurs pratiques agroécologiques. Une pyrolyse est en générale effectuée en cas pratique.

Ceffel anime plusieurs sessions dans l'année et s'appuie notamment sur des vidéos d'Initiative Climat issues d'expériences en Côte d'Ivoire (Source : [Le biochar, un amendement pour les sols - YouTube](#)). Un support PDF est utilisé en formation et partagé aux CAP formés.

La formation présente d'abord le contexte d'usage des biochars, en rappelant les difficultés liées à la culture intensive de tomate à Madagascar, pour laquelle les producteurs utilisent fréquemment des doses très élevées de fertilisants NPK. L'objectif est de proposer des alternatives permettant de réduire ces apports tout en maintenant ou améliorant les rendements, en complément des fertilisations organiques.

Le module explique ensuite ce que sont les biochars en rappelant leur origine inspirée de la Terra Preta amazonienne, et en détaillant leurs propriétés. La formation décrit ensuite de manière pratique la fabrication des biochars, les matériaux nécessaires (pyrolyseur, balle de riz, bois, compost liquide) et les étapes du processus : mise en feu, recouvrement progressif, extinction, stabilisation et maturation. Elle fournit également des repères quantitatifs, comme le rendement (175 kg de biochar pour 250 kg de balle de riz) et les dosages pour la stabilisation (1 litre de compost liquide pour 1 kg de biochar). La dose minimale d'application recommandée est de 20 kg/are.

La formation insiste sur l'importance de la stabilisation : une macération d'au moins 30 jours est nécessaire, avec un ajout de compost liquide tous les dix jours. Un biochar insuffisamment stabilisé absorbe les nutriments, notamment l'azote, au lieu de les restituer, alors qu'un biochar mature améliore significativement leur libération.

Ceffel vise désormais à améliorer et actualiser ses recommandations techniques, optimiser les pyrolyseurs pour limiter la fumée, et systématiser la capitalisation des résultats afin de guider les prochaines actions des OP du groupe Fifata.

4. Résultats des entretiens et des enquêtes terrain

4.1 Expérimentations menées et début des productions

Les premières initiatives liées à la production de biochars à Madagascar se sont développées progressivement dans plusieurs régions, à partir d'expérimentations isolées qui ont ensuite inspiré d'autres groupements paysans. Les entretiens menés sur le terrain permettent de retracer l'historique et les dynamiques propres à chaque zone.

4.1.1 Vakinankaratra

Les premières expérimentations de biochars dans le Vakinankaratra remontent à 2019. Elles ont été initiées dans le cadre du stage de Robin au Ceffel, portant sur l'utilisation des biochars pour la culture de tomate. Les premiers essais ont été menés avec un agriculteur de la commune de Betafo, Mamy, puis poursuivis avec son frère Arsène — notamment sur l'oignon — lors du stage de Cédric. Au fil du temps, Arsène est devenu l'un des producteurs de biochars de référence dans la région. Il a rapidement convaincu plusieurs agriculteurs de son entourage et de son groupement d'adopter cette pratique.



Figure 2 : Production d'une trentaine de sacs de biochars pour 10 ares de culture de tomate (Source : Ceffel, 2021)

À la suite de visites d'échanges et de formations agroécologiques dispensées par Ceffel, d'autres groupements du Vakinankaratra se sont également engagés dans la production. La majorité de ces nouvelles initiatives a émergé au cours de l'année 2023.

La proximité géographique avec le centre Ceffel facilite le partage d'informations techniques et la diffusion des bonnes pratiques.



Figure 3 : Formation réalisée par les PR auprès de leurs membres et accompagnée de techniciens Ceffel (Source : Ceffel, 2021)



4.1.2 Analamanga

La production de biochars en tant que telle ne fait que débuter en Analamanga, les paysans utilisaient cependant depuis longtemps les cendres de balle de riz pour des usages agricoles.

L'introduction des biochars dans la région Analamanga est plus récente et s'est principalement appuyée sur la mobilisation des CAP (conseillers agricoles de proximité), à la suite d'une visite d'échange et d'une formation organisée au Ceffel en février 2025.

Dans un premier temps, dès juillet 2024, certains groupements ont tenté de produire des biochars de manière artisanale, sans disposer de pyrolyseur. Ces essais préliminaires — basés sur des conseils informels circulant entre techniciens — aboutissaient le plus souvent à un mélange de cendres et de biochars.

Les premiers pyrolyseurs ont été installés dans la zone à partir de juillet 2025. Lors de nos enquêtes, l'équipement n'était utilisé que depuis quelques mois voire quelques semaines. Les premières expérimentations demeurent encore en phase exploratoire, tant sur les modalités de production que sur les usages agronomiques envisageables.

4.1.3 Haute Matsiatra

En Haute Matsiatra, la dynamique autour des biochars s'organise principalement dans le cadre du projet Raitra (Recherche-Action Inclusive pour une TRansition Agroécologique des cultures maraîchères dans trois régions des hautes terres de Madagascar), mis en œuvre par Fert, Fifata et Ceffel en soutien aux organisations paysannes régionales (OPR), sur financement UE/DeSIRA dans le cadre du programme FoRi coordonné par AgriCord. Plusieurs producteurs avaient déjà entendu parler du biochar avant le lancement du projet, notamment à la suite d'essais réalisés par Ceffel en 2022 sur la fraise et de visites d'échange qui ont suscité un intérêt initial.

Un premier lot de pyrolyseurs artisanaux a été distribué en juin 2025 à des agriculteurs sélectionnés selon des critères de dynamisme et de capacité d'expérimentation : producteurs de semences, arboriculteurs, agriculteurs engagés dans des essais rizicoles avec le Cirad, etc. Quatre d'entre eux ont été formés, soit lors de visites d'échange au Ceffel, soit à travers des sessions de formation organisées par Ceffel dans la région. Ces producteurs réalisent donc les premières expérimentations, avant un élargissement progressif aux groupements et unions membres de l'OPR. Afin de faciliter l'accès au matériel et d'accélérer les retours techniques, les équipements ont été installés le long de la RN7, dans des zones aisément accessibles.

Une formation spécifique a été organisée par Cédric dans la commune d'Ambohimahasoa : une journée théorique réunissant quatre communes, suivie d'essais pratiques à Camp Robin. Le premier essai encadré remonte à mai 2025. Alexandre — un jeune agriculteur relais — avait découvert le biochar dès 2018 alors étudiant au collège agricole Fekama d'Ambalavao. Ses premières expérimentations concrètes n'ont cependant commencé qu'en 2025 dans le cadre du projet Raitra.

4.1.4 Amoron'i Mania

À Ambositra, une productrice expérimentatrice, Béryl, s'est illustrée par une démarche autonome : elle a construit son propre pyrolyseur et a commencé à produire des biochars par elle-même avec les conseils du CAP. Nous n'avons pas eu l'occasion de visiter le site.

4.2 Pyrolyseur et fabrication

4.2.1 Modèle de pyrolyseur en tas

Plusieurs types de pyrolyseurs ont été testés au Ceffel avant de diffuser le modèle de pyrolyseur en tas utilisé actuellement. Les techniciens et conseillers ont visionné plusieurs vidéos YouTube ou via d'autres ressources en ligne pour élaborer ces pyrolyseurs. Cependant, aucune expérimentation documentée spécifique à Madagascar n'a été identifiée, malgré l'abondance de ressources disponibles sur le sujet

Le pyrolyseur en tas ou meule, aussi dit "Kunthaniya" au Sri Lanka, est considéré comme la méthode la plus simple pour pyrolyser de la balle de riz, mais aussi la moins coûteuse à la construction, pour une quantité de biochar produite assez importante. Robin et Cédric ont également tenté de construire un pyrolyseur avec un demi-fût muni d'une cheminée (type TLUD- Top lit up draft), mais le feu ne se propageant pas jusqu'au fond du fût et la durée de la pyrolyse étant jugée trop importante, cette technique a été abandonnée.

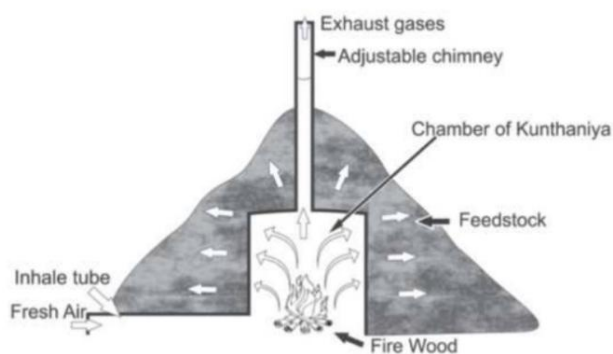


Figure 4 : Pyrolyseur Kunthaniya, (Source : International Biochar Initiative)

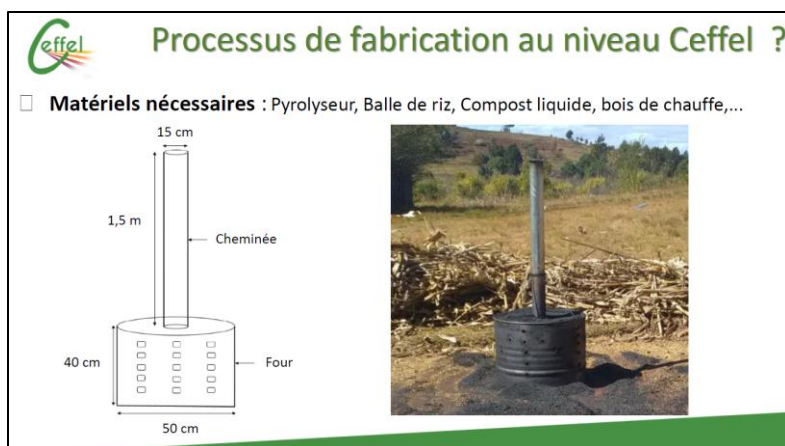


Figure 5 : Modèle de pyrolyseur construit au Ceffel et plan de construction (Source : Ceffel, 2020)

Le Ceffel et les conseillers ont également informé les paysans d'une technique de pyrolyse directement au sol, sans utiliser de pyrolyseur, lorsque ce dernier n'est pas disponible.

Le principe reste le même, on démarre un feu qu'on recouvre de cendre de riz et on retourne le tas très régulièrement, cependant il y a de grands risques que la balle de riz se transforme directement en cendre en contact direct avec le feu. Cette technique demande plus d'attention et un retournement plus régulier du tas de balles de riz.

En Haute Matsiatra et Analamanga, une enceinte en brique est construite autour du pyrolyseur afin de prévenir la dispersion des biochars s'il y a du vent. Cela permet également de délimiter la zone de production et de faciliter le retournement des biochars. Des paravents en bois ou à l'aide d'une bâche ont également été observés lors des journées venteuses.



Figure 6 : Fabrication de biochars avec la méthode au sol (Source : Auteure, Vakinankaratra, 2025)



Figure 7 : Pyrolyseur avec enceinte de briques, Analamanga (Source : auteure, Analamanga, 2025)

4.2.2 Processus de fabrication

Ci-après, le support de formation du Ceffel pour la production de biochars, avec les différentes étapes à suivre pour la fabrication avec le modèle de pyrolyseur en tas.



Figure 8 : Diapositive sur la production de biochar présentée lors de la formation du Ceffel (Source : Ceffel, 2020)

4.2.3 Coût de construction et caractéristiques des pyrolyseurs

Les pyrolyseurs fabriqués directement au Ceffel suivent un modèle standard et présentent une structure homogène. Leur coût se décompose comme suit :

Matériel	Prix (Ariary)
Fût métallique coupé en deux (marché d’Antsirabe)	75 000 (150 000 le fût entier)
Cheminée achetée en quincaillerie spécialisée	15 000
Main-d’œuvre du soudeur (perçage des trous et ouverture pour la cheminée)	15 000
Transport	5 000
TOTAL	110 000 Ar

Dans les zones où les groupements ont construit eux-mêmes les pyrolyseurs — sous supervision des CAP — les matériaux nécessaires sont accessibles localement (tôle plane noire en quincaillerie, briques de production locale, ciment, soudure artisanale). Les coûts varient selon la disponibilité des matériaux, la distance à la quincaillerie, le recours à un soudeur local et le besoin éventuel d’aménagement en briques.

Ces pyrolyseurs présentent des caractéristiques similaires au modèle du Ceffel, bien que la réalisation dépende du soudeur (parfois des trous trop grands dans le fût entraînent des pertes de balle de riz). Les constructions nécessitent également un emplacement en briques et un minimum de maçonnerie.

Les coûts pour ces constructions observées sur le terrain sont les suivants :

- Pyrolyseur (matériaux, construction et transport) : entre 250 000 Ar et 350 000 Ar
- Enceinte en briques (matériaux et construction avec main d’œuvre éventuelle) : 50 000 à 120 000 Ar

Ces coûts ont souvent été partiellement ou totalement couverts grâce à l’appui de projets, notamment Ambioka en Analamanga, Raitra en Haute Matsiatra. En Vakinankaratra, les pyrolyseurs ont été distribués gratuitement par Ceffel.

4.2.4 Retour des enquêtes terrain

Comme précisé ci-dessus, la diffusion des pratiques liées au biochar s’est étendue grâce au Ceffel. Tous les pyrolyseurs construits au sein du groupe Fifata sont donc basés sur le même modèle, avec des différences mineures possibles liées aux plans suivis ou au soudeur ayant réalisé l’ouvrage.

Ceffel a distribué plusieurs pyrolyseurs construits sur site aux groupements du Vakinankaratra et de Haute Matsiatra ; ces équipements sont donc homogènes au sein des organisations concernées.



Figure 9 : Modèles de pyrolyseurs en Vakinankaratra (Source : auteure, 2025)



Figure 10 : Modèles de pyrolyseurs en Analamanga (Source : auteure, 2025)



Figure 11 : Modèles de pyrolyseurs en Haute Matsiatra (Source : auteure, 2025)

Un cas de casse a été signalé dans le Vakinankaratra au niveau de la cheminée d'un pyrolyseur : la tôle, trop fine, s'est fissurée. Le groupement concerné n'a pas souhaité en reconstruire un autre, jugeant le modèle trop fragile ; ils ont donc adopté une méthode de production au sol.



Figure 12 : Pyrolyseurs cassés ou endommagés (Source : auteure, 2025)

Les groupements n'envisagent pas nécessairement de construire d'autres pyrolyseurs pour étendre la production, le coût restant élevé pour une technologie encore récente. Ils ont en revanche développé des méthodes alternatives de fabrication de biochar, n'exigeant pas de matériel spécifique ou utilisant des équipements déjà disponibles.

Dans le Vakinankaratra, un groupement utilise un four local de cuisson, spécialement adapté à la balle de riz, pour produire du biochar. Ce type de four, disponible sur le marché pour environ 90 000 Ar, peut être fabriqué ou modifié sur mesure par un soudeur. Les membres du groupement, déjà équipés, ont constaté que leur four générait du biochar mélangé à des cendres. En optimisant leur méthode (notamment en remuant plus régulièrement la balle de riz), ils ont réussi à augmenter la quantité de biochar récupéré et ont commencé à l'utiliser pour des usages agricoles.



Figure 13 : Plan et four de cuisson à balles de riz (Source : auteure, 2025)

Les enquêtes montrent une capacité d'innovation des groupements dans le processus de production de biochars, en fonction des matériels disponibles, de leurs moyens financiers et des conseils techniques reçus. L'accompagnement de Ceffel et des CAP favorise cette appropriation en mettant l'accent sur la maîtrise du procédé plutôt que sur un modèle unique de pyrolyseur, facilitant ainsi la diffusion de la pratique malgré les contraintes locales.

4.3 Organisation de la production au sein des groupements

Les pyrolyseurs sont généralement mis à disposition des groupements par don ou prêt. Leur utilisation est collective : les paysans se les partagent en fonction de leurs besoins, notamment lorsqu'ils disposent de balles de riz à transformer. La gestion de l'outil est souvent confiée au président du groupement ou à un membre particulièrement actif et expérimenté dans la production de biochars.

Dans certains groupements du Vakinankaratra, les pyrolyseurs sont déplacés d'une exploitation à l'autre pour faciliter l'accès à tous les membres. Cependant, dans la majorité des cas, l'outil reste fixe, surtout lorsque les groupements ont construit une enceinte en brique maçonnée pour délimiter un espace dédié à la production.



Pour les groupements ayant récemment acquis un pyrolyseur, l'organisation de la production est encore en phase d'expérimentation. Certains envisagent une production centralisée à l'échelle du groupement, avec un achat collectif de balle de riz financé par la trésorerie commune.

Figure 14 : Pyrolyseur dans l'enceinte d'une maison
(Source : auteure, 2025)

4.4 Pyrolyse et rendement

4.4.1 Retour des enquêtes terrain

La pyrolyse de la balle de riz et d'autres biomasses mobilise des méthodes simples, mais exige une surveillance constante et un minimum de matériel : pelle, râteau, arrosoir et parfois une toile pour protéger du vent. Le rendement et la durée dépendent de la biomasse, de son humidité, de la maîtrise du feu et de la disponibilité du bois de chauffe.

Dans le Vakinankaratra, les producteurs utilisent soit des pyrolyseurs en tas, soit la méthode au sol. Pour 10 sacs de balle de riz, le rendement varie de 40 à 70 %, soit 4 à 7 sacs de biochars. La pyrolyse au pyrolyseur est plus régulière mais demande une demi-journée complète de travail avec des retournements fréquents du tas de pyrolyse, tandis que la méthode au sol dure de 4 heures, par temps venteux, à une journée complète sans vent. Le bois de chauffe est facilement mobilisable sur les parcelles ou remplacé par de la paille ou du charbon acheté, et la quantité utilisée est comparable entre les deux méthodes.



Figure 15 : Mise en sacs des biochars après production (Source : auteure, 2025)

Au Ceffel, où les ressources en biomasse sont abondantes, la pyrolyse de 10 sacs de balle de riz donne un rendement constant de 70 % (7 sacs de biochar) en 5 à 6 heures. Le bois est facilement disponible, ce qui simplifie l'organisation.

En Haute Matsiatra, pour la balle de riz, le rendement se situe entre 50 et 70 %, avec des durées de pyrolyse de 3 à 6 heures selon le feu et le bois utilisé. La sciure, plus difficile à carboniser, demande jusqu'à 9 heures pour un rendement équivalent, tandis que la paille produit seulement 20 % de biochar. Le bois provient d'essences locales comme l'eucalyptus, le goyavier, le manguier, le pêcher ou le lantana, parfois complétés par des plastiques pour accélérer la combustion, malgré les dangers que cela peut représenter.

La production peut se faire en deux cycles par jour selon la météo, mais s'interrompt en période de pluie. Les pratiques sont encore expérimentales, les producteurs n'ayant que peu d'expérience.

En Analamanga, les pyrolyses portent sur 2 à 4 sacs de balle de riz (250 kg chacun), donnant un rendement d'environ 70 % (1 à 2,5 sacs de biochar). La durée est d'environ 2 heures avec retournements réguliers. Le bois est souvent rare et en concurrence avec la cuisine : branches d'eucalyptus, de sapin, de pêcher, tiges de goyavier ou rafles de maïs sont utilisés, parfois complétés par du bois acheté ou des sacs plastiques. Le rendement et l'efficacité dépendent fortement de la qualité de la balle de riz et du bois disponible.

4.4.2 Bilan et limite

Dans l'ensemble, la pyrolyse de la balle de riz présente des rendements élevés et relativement homogènes entre les régions étudiées, généralement compris entre 50 et 70 % lorsque les conditions de production sont maîtrisées.

Ces valeurs apparaissent toutefois surprenantes au regard de la bibliographie existante, qui indique généralement des rendements en biochar compris entre 20 et 40 % de la masse sèche initiale, avec une moyenne de 30 à 35 % pour une pyrolyse lente réalisée à des températures de 350 à 400 °C. Cet écart soulève des interrogations quant à la fiabilité des rendements observés sur le terrain.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette différence, notamment des imprécisions dans les méthodes de mesure (sacs de volume variable, absence de pesée systématique, humidité résiduelle de la biomasse ou du biochar). Bien que ces résultats soient cohérents avec ceux rapportés par Ceffel, ils gagneraient à être consolidés par de nouvelles mesures plus rigoureuses, reposant sur des pesées avant et après pyrolyse.

4.5 Biomasse utilisée, disponibilité et prix

Dans les trois régions étudiées, la balle de riz constitue la biomasse principale pour la production de biochars. Elle est la plus accessible, bien maîtrisée et largement mobilisée par les agriculteurs, tant pour la production de biochars que pour d'autres usages domestiques et agricoles.



Figure 16 : Balles et chaumes de riz (Source : auteure, 2025)

Cependant, certains producteurs expérimentent également d'autres biomasses, en fonction de leur disponibilité locale, de leur coût ou de leur gratuité. Les formations dispensées par le Ceffel ont montré qu'il est possible de produire du biochar à partir de divers résidus agricoles, ce qui a conduit les producteurs à tester des matériaux tels que :

- Sciure de bois
- Coques d'arachide
- Gousses de haricot ou de maïs
- Tiges de tomates
- Paille et foin (Aristida)

D'autres résidus du vannage, notamment ceux que les producteurs décrivent comme la première enveloppe du paddy, gratuits et plus secs, sont également utilisés dans plusieurs groupements pour des tests ou des productions ponctuelles plutôt que de la balle de riz.

4.5.1 Autres usages et concurrence

La pratique habituelle pour se débarrasser des tas de balle de riz est de s'en servir comme combustible, par exemple dans des fours à briques, puis d'amender les sols avec la cendre.

Les autres acheteurs de balles de riz cités dans toutes les régions sont les suivants :

- Briquetiers : comme mentionnés ci-dessus, ce sont les principaux acheteurs de cette biomasse, ils utilisent de grandes quantités de balle de riz pour alimenter leurs fours pour la confection locale de brique. La fabrication de briques à Madagascar est principalement concentrée dans les régions des Hautes Terres Centrales et de l'Est. Les briquetiers peuvent acheter l'intégralité de la production d'une rizerie ou d'un décortiqueur parfois en avance, exerçant une pression sur la disponibilité et les prix locaux lorsque leurs fours sont en service.
- Éleveurs : utilisent la balle de riz comme litière pour zébus, bœufs, porcs et volailles, intégrée ensuite dans le fumier.



Figure 17 : Fours à briques dans le Vakinankaratra (Source : auteure, 2025)

D'autres usages identifiés incluent :

- Combustible pour la cuisine, avec des fours adaptés à sa combustion
- En cendres, utilisées comme amendement dans les rizières pluviales en raison de leur richesse en phosphore et en potasse (cendres récupérées chez les briquetiers)
- Brut incorporé aux sols, pour améliorer la macroporosité, notamment pour la culture de patate douce
- Stabilisation de routes boueuses et bouchage des trous en mélangeant la balle de riz à la terre

Cette concurrence explique à la fois les variations saisonnières et géographiques de disponibilité et de coût.

4.5.2 Décortiqueuse, disponibilité saisonnière et transport

Les décortiqueuses de riz permettent de séparer le grain de riz de sa balle ; elles fonctionnent tout au long de l'année. Leur activité est plus intense pendant et juste après la moisson, mais elles fonctionnent selon la demande des villageois, qui peuvent stocker leur paddy pour le décortiquer au moment voulu.

- **Localisation** : Dans ces villages, où la production de riz est importante, le maillage est assez dense, rares sont les OP qui ne disposent pas d'une décortiqueuse à proximité dans un rayon de 5 km, mais en général on parle plutôt en centaines de mètres. Elles sont généralement situées dans les chefs-lieux de commune, Fokontany, ou dans n'importe quelle maison dans les villages. Certaines OP ont même des membres possédant une décortiqueuse, ce qui constitue un avantage considérable pour la production de biochars.
- **Modalité de décortilage** : Le paysan se rend directement chez le propriétaire de la décortiqueuse. Il vient généralement avec un sac vide de 250 kg de paddy, et repart avec le riz blanc ainsi que le son. La balle de riz reste en possession du propriétaire de la décortiqueuse, qui peut la vendre ou la conserver selon ses besoins. Certains propriétaires possèdent également une mélangeuse pour produire de l'alimentation animale (provende) à partir du son de riz. Le coût est de 100 Ar/kg de paddy décortiqué lorsque le producteur récupère le riz blanc et le son, 40 Ar/kg de paddy lorsque le son n'est pas récupéré.
- **Gestion de la balle de riz par les décortiqueuses** : Le prix de la balle de riz est fixé par le propriétaire en fonction de la demande du marché, de l'énergie utilisée (coût du gasoil lorsque l'électricité n'est pas disponible), des réparations et entretiens réalisés sur la machine sur l'année. Toute la balle de riz est vendue ou utilisée dans l'exploitation du propriétaire. Les seules pertes possibles concernent les cas de pourriture lorsque la balle de riz est humide, très rare.
- **Transport** : La localisation des décortiqueuses influence directement la logistique, les producteurs proches ayant un accès plus rapide et moins coûteux, les zones éloignées devant supporter des frais de transport supplémentaires. Le transport constitue l'une des principales difficultés mentionnées dans les trois régions. Il s'effectue en général à pied, à vélo ou en charrette, sur des distances allant de quelques centaines de mètres jusqu'à 5 km dans certaines communes de Haute Matsiatra. Les frais de transport peuvent représenter une part importante du coût total : jusqu'à 1 500 Ar supplémentaires par sac en cas de transport motorisé, 15 000 à 20 000 Ar par livraison en charrette, dont la capacité variable permet toutefois de transporter un nombre plus élevé de sacs par trajet.

- **Disponibilité saisonnière** : La disponibilité suit un même schéma dans les trois régions de production rizicole :
 - Forte disponibilité pendant la moisson (avril à juin), période la plus favorable à la production de biochars.
 - Variation de disponibilité le reste de l'année, selon l'activité journalière des décortiqueuses.
 - Forte concurrence avec les briquetiers pendant la basse saison des cultures, lorsque les rizières ne sont pas en exploitation.
 - Surplus ponctuel en période d'arrêt des briqueteries (janvier–février), avec des prix plus bas.



Figure 19 : Décortiqueuses à riz dans le Vakinankaratra et en Haute Matsiatra (Source : auteure, 2025)



Figure 18 : Balle et son de riz (Source : auteure, 2025)

4.5.3 Prix de la biomasse

De manière générale, dans l'ensemble des trois régions :

- Le prix de la balle de riz varie entre 500 Ar et 3 000 Ar par sac transport compris, selon la saison, la distance à la rizerie et la concurrence des briquetiers.
- Le prix peut être très bas (500 Ar/sac) pendant les périodes creuses ou dans les zones proches des décortiqueuses.
- Il peut être élevé (2 000 - 3 000 Ar/sac) en saison sèche lors de forte concurrence avec les briquetiers ou dans les zones plus isolées.
- La balle de riz peut même être gratuite lorsque les rizeries ou décortiqueuses cherchent à s'en débarrasser.

Fourchettes de prix par région :

Analamanga	Vakinankaratra	Haute Matsiatra
2 000 Ar/sac : prix courant en zones rurales 500 Ar/sac : prix minimum en ville ou en période sans activité de briqueterie	2 000–3 000 Ar/sac : zones avec forte concurrence des briquetiers 1 000–1 500 Ar/sac : zones éloignées des rizeries 700–900 Ar/sac : directement chez les OP pour les membres	2 000 Ar/sac : prix cité fréquemment 500 Ar/sac : période creuse (janvier–février) Gratuit : en cas de surplus au niveau des rizeries

4.5.4 Stabilisation des biochars

Les pratiques de stabilisation des biochars varient selon les groupements et le niveau de maîtrise technique des producteurs.

Dans la méthode la plus complète, le biochar est d'abord arrosé à l'eau ou au purin liquide, puis mis en sac avant d'être laissé en maturation. Durant environ un mois, il est arrosé deux fois par semaine avec du purin, même si, dans certains groupements, la fréquence est plus irrégulière et peut varier de 2–3 fois par semaine à seulement 2–3 fois par mois. La dose recommandée est de 10L de purin liquide par sac, et une maturation pendant trois semaines. Les doses observées, lorsque le biochar est stabilisé, varient de 10 à 25L de purin liquide par sac de 18 à 22kg de biochar, équivalent à environ 0,5 à 1,4 L de purin par kg de biochar.

De manière générale, les biochars ne sont pas stockés longtemps : la durée varie d'un à trois mois, et leur utilisation dépend des besoins au champ. Les dosages appliqués varient fortement d'un groupement à l'autre et ne sont pas toujours bien maîtrisés.

Le purin liquide utilisé est un mélange de plusieurs des plantes suivantes : tephrosia, tithonia, neem, consoude, absinthe, tiges et feuilles de bananier, sisal, crotalaire et d'autres plantes ou matières vertes à propriétés biopesticides ou légumineuses, macérées dans le bac à compost avec de la bouse de vache (si disponible). Lorsque la matière verte vient à manquer (notamment en juin–juillet), le biochar est arrosé exclusivement avec un purin de bouse de vache.

D'autres producteurs adoptent une approche plus simple : le biochar est arrosé à l'eau, mis en sac, mais sans phase de maturation. Il est ensuite mélangé soit à du compost classique, soit directement incorporé au sol environ sept jours avant la mise en culture.

C'est notamment le cas dans deux groupements de Haute Matsiatra où la production de biochar est récente et où les techniques de maturation restent encore mal maîtrisées.



Figure 20 : Arrosage du biochar avec du purin liquide (Source : auteure, 2025)

4.6 Usages et application

4.6.1 Logiques d'usage et priorisation des apports

L'utilisation de biochars n'est pas limitée à un type de culture spécifique. Toutefois, les volumes actuellement produits restent insuffisants pour permettre une application généralisée à l'ensemble des parcelles. En conséquence, les producteurs priorisent leur usage sur les cultures à forte valeur économique ou présentant des exigences agronomiques élevées, ainsi que sur les parcelles les plus dégradées.

Les biochars constituent ainsi un amendement complémentaire aux pratiques agroécologiques existantes (compost, lombricompost, purin liquide, etc.), et permettent donc de diversifier les sources de fertilisation selon les matières disponibles. Cette flexibilité est considérée comme un avantage majeur, permettant d'adapter les stratégies de fertilisation et de protection des cultures en fonction des disponibilités des intrants et des contraintes saisonnières.

4.6.2 Cultures concernées et types de milieux

Les principales cultures concernées par l'application de biochars sont, par ordre préférentiel d'utilisation par les producteurs :

- Cultures maraîchères : haricot, tomate, pomme de terre, oignon, ail, petits pois, légumes feuilles, patate douce.
- Riz pluvial (principalement) et riz irrigué.
- Arboriculture.
- Pépinières : cultures maraîchères et plants d'arbres fruitiers.

Sur les *tanety*, terrains en pente caractérisés par des sols pauvres, acides et à faible capacité de rétention en eau, le biochar est particulièrement recherché pour améliorer la structure du sol et limiter les effets de la sécheresse. Il est principalement utilisé pour les cultures de saison des pluies (haricot, riz pluvial).

Les bas-fonds concentrent les cultures de contre-saison (tomate, oignon, ail, pomme de terre, légumes feuilles). Dans certains cas, les résidus issus d'apports antérieurs de biochar et de fumier sont jugés suffisants pour assurer les cycles culturels suivants, notamment le riz.

Des usages sont également observés dans les zones intermédiaires, les *baiboho*, principalement pour les productions légumières, ainsi que dans les pépinières, où le biochar est intégré au substrat. Dans certaines zones, notamment en Analamanga, les producteurs privilégient la cendre de balle de riz pour le riz pluvial, jugée plus adaptée aux apports en phosphore et en potasse.

4.6.3 Dosages et fréquences d'application

Les dosages de biochars observés sur le terrain varient fortement selon les producteurs, les cultures et la disponibilité du biochar, ce qui traduit un stade encore exploratoire de son adoption. La dose minimale généralement recommandée est de 20 kg par are, sans limite maximale clairement définie. En pratique, les apports recensés s'échelonnent de 20 à 500 kg par are selon les contextes. Certaines pratiques sont exprimées en unités peu standardisées, telles que la charrette de fumier ou le sac de biochar de taille variable, ce qui limite la précision et la comparabilité des dosages réellement appliqués.

Dans le Vakinankaratra, les pratiques sont particulièrement hétérogènes. Les apports varient globalement de 20 à 500 kg par are. Pour les cultures maraîchères à cycle long, comme la tomate ou la pomme de terre, les doses les plus élevées sont observées, pouvant atteindre 200 à 500 kg par are, appliquées en plusieurs temps : au repiquage, puis lors des opérations de désherbage. Les légumes feuilles bénéficient généralement d'un apport unique et plus modéré. Pour le riz pluvial, les doses restent plus faibles, allant de quelques poignées ou seaux par poquet à des apports estimés autour de 100 kg par are, appliqués de manière localisée.

En Haute Matsiatra, les données disponibles concernent principalement la pomme de terre, avec des apports de 50 kg de biochars associés à 150 kg de compost par are, ou une charrette de compost complétée par 50 kg de biochar. Pour les légumes feuilles et les petits pois, les dosages observés sont d'environ 50 kg de biochar et 150 kg de fumier pour 5 ares. En pépinière de riz irrigué, un sac de biochar, soit environ 22 kg, est appliqué sur une surface d'environ 24 m², correspondant à un apport concentré. La fréquence d'application dépasse rarement une fois par cycle cultural, sauf pour la pomme de terre ou le chou, où un second apport peut être réalisé lors du buttage.

Les doses de biochars recommandées aux cultures varient largement selon les contextes pédoclimatiques, le type de culture et les objectifs recherchés dans la littérature scientifique. De manière générale, les taux les plus fréquemment recommandés se situent entre 5 et 20 t/ha, car ils permettent d'améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol ainsi que les rendements, tout en restant économiquement et techniquement réalistes. Des doses modérées comprises entre 5 et 10 t/ha améliorent significativement le pH, la capacité d'échange cationique, la rétention en eau et la matière organique du sol, avec des effets positifs sur la croissance et le rendement des légumes (Lehmann & Joseph, 2015 ; Jeffery et al., 2017). Une application d'environ 6–7 t/ha a été identifiée comme un seuil suffisant pour initier l'accumulation de carbone organique et améliorer les propriétés physiques du sol, idéalement combinée à des amendements organiques ou fertilisants pour maximiser l'efficacité agronomique (Major et al., 2010).

Le guide de l'agroécologie en pratiques publié par Agrisud en 2020, adapté aux contextes tropicaux (notamment en Afrique de l'Ouest) recommandent pour les cultures maraîchères un apport de biochar de 2 à 4 kg/m², soit environ 20 à 40 t/ha, à ajuster en fonction des exigences des cultures et de la qualité du sol. Le biochar est utilisé en fumure de fond, enfoui par un labour profond de 25 à 30 cm au moins quinze jours avant la mise en culture.

4.6.4 Modes d'application

Les modalités d'application sont globalement homogènes d'une région à l'autre. Le biochar est généralement préalablement mélangé à du fumier ou du compost, puis épandu sur sol labouré avant d'être incorporé par retournement, sans labour supplémentaire.

Dans les cultures en poquets, le mélange est déposé directement au fond du trou. En maraîchage, les apports peuvent être réalisés au repiquage ou lors des opérations d'entretien (buttage, désherbage). En pépinière, le biochar est intégré au substrat, tandis qu'en arboriculture, il est incorporé dans les trous de plantation.

4.7 Résultats observés

Dans plusieurs cas, le biochar est utilisé en combinaison avec d'autres pratiques agroécologiques et amendements, ce qui peut limiter l'attribution exclusive des effets observés.

4.7.1 Effets sur la structure du sol et l'arrosage

L'amélioration de la structure du sol constitue l'effet le plus fréquemment et le plus clairement rapporté par les producteurs. L'application de biochar est associée à une diminution du compactage, rendant les sols plus meubles, plus légers et plus faciles à travailler. Cette évolution se traduit notamment par un sarclage facilité et une meilleure stabilité des sols, dans les bas-fonds comme sur les tanety.

Plusieurs producteurs signalent également une augmentation de la porosité du sol, favorisant une meilleure infiltration de l'eau et limitant le ruissellement en surface. La meilleure infiltration de l'eau permet, dans certains cas, d'espacer les arrosages. Plusieurs producteurs ont indiqué une réduction de la fréquence d'arrosage, passant d'un arrosage tous les deux jours à un arrosage tous les quatre jours. Toutefois, certains producteurs notent que cette meilleure infiltration peut aussi conduire à un besoin d'arrosage plus fréquent, notamment en pépinière ou sur sols très drainants, du fait d'une absorption plus efficace de l'eau et des éléments nutritifs par les plantes.

Dans certains cas, une évolution progressive de la couleur du sol est observée (passage de teintes jaunâtres à brun foncé).

4.7.2 Effets sur les rendements et la qualité des productions

Les effets des biochars sur les rendements apparaissent variables selon les cultures, les doses appliquées et les modalités d'association avec d'autres intrants organiques. Dans plusieurs cas, les producteurs ne constatent pas de différence significative à court terme.

Cependant, des augmentations de rendement sont observées dans certaines cultures, en particulier la pomme de terre, avec des exemples de rendements passant de 100 à 200 kg pour 10 ares, ou de 300 à 400 kg/are selon les contextes. Des essais comparatifs menés par un producteur montrent également une progression des rendements lorsque le biochar est associé au compost et à des apports liquides.

Au-delà des volumes produits, une amélioration de la qualité est fréquemment rapportée : calibres plus importants et plus homogènes (pour la tomate et la pomme de terre), meilleure présentation des tubercules après récolte.

Pour le riz, les observations sont contrastées. En riz pluvial, une augmentation des rendements est mentionnée, tandis qu'en riz irrigué, les effets concernent principalement l'augmentation de la biomasse (paille et feuilles), sans impact systématique sur le rendement en grain.

4.7.3 Effets sur la santé des cultures

Les producteurs rapportent de manière récurrente une diminution des attaques de ravageurs du sol, en particulier les vers gris et les vers blancs (hannetons). Certains estiment l'efficacité du biochar contre ces ravageurs comme très élevée, notamment lors des phases sensibles suivant le repiquage.

Des effets positifs sont également mentionnés sur les pucerons, en particulier en pépinière, bien que ces résultats ne soient pas systématiques. Dans plusieurs cas, le recours à des traitements chimiques reste nécessaire.

Concernant les maladies, des réductions de l'incidence du flétrissement bactérien (*Ralstonia*), du mildiou, de la galle et de la rouille sont rapportées sur certaines cultures (pomme de terre, tomate, oignon). Néanmoins, ces observations restent hétérogènes et nécessitent un suivi plus long pour être confirmées.

4.7.4 Réduction de l'usage d'engrais minéraux

Le biochar est généralement associé à d'autres matières organiques et mobilisé en fonction des besoins des cultures et de la disponibilité des intrants. L'usage d'engrais minéraux (NPK, urée) n'est pas totalement abandonné, mais tend à diminuer chez les producteurs les plus engagés dans les démarches agroécologiques.

Plusieurs producteurs indiquent une baisse des quantités appliquées (par exemple de 5 kg/are à 1 kg/are de NPK pour la pomme de terre), ainsi qu'un remplacement partiel des traitements phytosanitaires de synthèse par des pratiques alternatives, telles que l'utilisation de purins ou de composts liquides.

4.7.5 Limites et précautions d'interprétation

Malgré des résultats globalement encourageants, les producteurs eux-mêmes soulignent plusieurs limites :

- Un recul encore insuffisant dans certains cas (premières campagnes d'utilisation),
- La difficulté d'isoler l'effet propre du biochar lorsqu'il est combiné à d'autres pratiques agroécologiques,
- Une variabilité des effets selon les sols, les cultures et les conditions climatiques.

Ces éléments confirment la nécessité de poursuivre les observations sur plusieurs cycles culturaux et de mettre en place des essais comparatifs plus systématiques afin de mieux caractériser les effets du biochar à moyen et long terme.

5. Analyse transversale de l'adoption du biochar au sein des OP

5.1 Contraintes majeures à la production et à l'utilisation des biochars

5.1.1 Contraintes techniques et logistiques

La production de biochar est identifiée comme la principale difficulté technique. Elle est jugée lente, exigeante en main-d'œuvre et fortement dépendante de la disponibilité d'équipements adaptés. Les pyrolyseurs actuellement utilisés présentent plusieurs limites :

- Capacité de production restreinte, insuffisante pour répondre à tous les besoins ;
- Dépendance à un nombre limité de pyrolyseurs, parfois partagés entre plusieurs groupements ou en mauvais état ;
- Surveillance constante nécessaire durant la pyrolyse, rendant l'activité consommatrice de temps et coûteuse lorsque de la main d'œuvre extérieure est mobilisée ;
- Problèmes de conception marginalement rapportés : cheminées trop courtes ou production excessive de fumée, affectant le confort et la sécurité.

Les conditions climatiques, notamment les pluies continues, compliquent la production du biochar en augmentant l'humidité de la biomasse. Certaines adaptations locales, comme la production matinale ou la protection contre le vent, permettent cependant de contourner partiellement ces contraintes.

Le stockage constitue un autre facteur limitant : le manque d'infrastructures adaptées empêche d'anticiper la production en période défavorable dans certain cas. Il pourrait toutefois être pertinent de stocker la biomasse pendant les périodes d'achat favorables afin de produire du biochar ultérieurement.

5.1.2 Contraintes d'accès aux ressources

L'approvisionnement en biomasse, principalement la balle de riz, est également évoquée comme une contrainte logistique. Bien qu'aucune rupture totale n'ait été observée, la disponibilité reste fortement saisonnière et dépend de la récolte et de la présence de rizeries locales.

Le coût élevé dans certaines communes, associé aux coûts de transport, parfois équivalents ou supérieurs au prix d'achat de la biomasse ainsi que la pénibilité de ce transport peuvent également représenter un frein.

D'autres groupements soulignent la difficulté à se procurer du bois de chauffe en quantité suffisante, les obligeant parfois à acheter du bois ou du charbon sur le marché, ce qui augmente le coût global de la production. Bien que les quantités nécessaires à la pyrolyse soient faibles (un tour de bras pour démarrer et alimenter le feu), on observe une réticence à produire du biochar dans les régions où le bois entre en forte concurrence avec la cuisine, notamment en Analamanga. Cependant, cette pression sur le bois de chauffe reste très inégale, non seulement entre les régions, mais aussi au sein d'une même région. Des réflexions émergent autour de l'optimisation énergétique de la pyrolyse (par exemple le couplage avec la cuisson), afin de réduire la pression sur le bois de chauffe.

5.2 Besoins en formation et en accompagnement technique

L'appropriation durable du biochar repose fortement sur la fréquence et la qualité de l'accompagnement technique. Les besoins en formation concernent aussi bien les producteurs que les conseillers agricoles et responsables techniques.

Les attentes exprimées portent principalement sur :

- Les méthodes de production, incluant des alternatives aux pyrolyseurs actuels ;
- L'amélioration de la qualité du biochar (maîtrise de la pyrolyse, stabilisation, maturation) ;
- Les modalités d'utilisation agronomique (dosages, fréquences, associations avec les cultures et autres amendements) ;
- L'adaptation des pratiques aux contextes pédoclimatiques et aux enjeux du changement climatique.

Les référents techniques et conseillers reconnaissent disposer de connaissances encore partielles, limitant leur capacité à accompagner efficacement les producteurs. Les formations existantes, souvent ponctuelles et généralistes, sont jugées insuffisantes. Le renforcement ciblé des compétences des conseillers apparaît ainsi comme un levier essentiel pour assurer une diffusion cohérente et homogène des pratiques.

5.3 Faisabilité technique et économique

Malgré les contraintes identifiées, la production de biochar est globalement perçue comme techniquement accessible, sous réserve de disposer d'un équipement fonctionnel et d'un minimum de formation. Plusieurs producteurs soulignent la simplicité du procédé une fois maîtrisé.

La mutualisation des équipements au niveau des groupements apparaît cependant comme une limite structurelle, soulignant l'intérêt de décentraliser les pyrolyseurs, d'en augmenter le nombre ou de mieux organiser la production au sein des groupements.

Sur le plan économique, l'utilisation du biochar est jugée pertinente principalement dans une logique d'autoconsommation agricole, en raison :

- De la réduction des dépenses en engrais minéraux ;
- De l'amélioration des rendements et de la qualité des productions ;
- D'une meilleure résilience des systèmes face aux aléas climatiques.

Les principaux coûts identifiés concernent :

- L'investissement initial dans les équipements de production (pyrolyseurs, aménagements), qui est quasi systématiquement pris en charge dans le cadre des projets ;
- L'achat et le transport de la biomasse, à charge des producteurs ;
- La main-d'œuvre mobilisée pour la production et la stabilisation, qui se limite le plus souvent aux producteurs eux-mêmes.

La vente de biochar est rarement envisagée, les coûts de production, de transport et la concurrence avec d'autres usages de la biomasse limitant fortement la compétitivité du produit. Le biochar apparaît ainsi davantage comme un levier d'optimisation des systèmes de production que comme un produit marchand.

5.4 Facteurs d'adoption et conditions de réussite pour le biochar

L'adoption du biochar au sein des OPR dépend de plusieurs facteurs favorables et de freins identifiés, ainsi que de conditions spécifiques pour garantir sa durabilité.

5.4.1 Facteurs favorables à l'adoption

- Résultats visibles sur les cultures et les sols dès les premières utilisations ;
- Réduction possible de l'usage des engrais et pesticides de synthèse ;
- Compatibilité avec les pratiques agroécologiques existantes ;
- Dynamiques collectives au sein des groupements, favorisant l'apprentissage entre pairs.

5.4.2 Freins à l'adoption

- Production jugée complexe et image négative du biochar comme produit issu de « déchets », pouvant freiner son adoption initiale ;
- Rareté ou coût élevé des biomasses ;
- Dépendance à un nombre limité de pyrolyseurs ;
- Manque de références techniques fiables et localisées ;

Dans de nombreux cas, les producteurs initialement réticents se déclarent convaincus après les premiers essais.

5.4.3 Conditions de réussite pour une adoption durable

Pour assurer une adoption durable du biochar, plusieurs leviers doivent être mis en œuvre :

- **Techniques** : amélioration et fiabilisation des équipements, maîtrise des paramètres de pyrolyse, généralisation de la stabilisation, clarification des recommandations de dosage et les pratiques à privilégier ;
- **Économiques** : sécurisation de l'accès à la biomasse, réduction des coûts de transport, maintien d'une logique d'autoconsommation ;
- **Organisationnelles** : clarification des règles d'usage des pyrolyseurs, rôle renforcé des responsables des groupements et PR, limiter la dépendance à un équipement unique ;
- **Sociales et formations** : formation continue, démonstrations pratiques, valorisation des retours d'expérience.

5.5 Chiffres clés et ordres de grandeur de la production des biochars au sein des OP du groupe Fifata

Cette section propose des estimations chiffrées de la production de biochar, établies à partir de calculs prenant en compte les conditions actuelles des OP du groupe Fifata. Elles visent à évaluer le potentiel de production réalisable dans le contexte actuel.

Les estimations présentées reposent sur des hypothèses moyennes issues des entretiens et des observations de terrain. Plusieurs éléments demeurent à consolider, notamment :

- Les volumes réels de biomasse utilisés par production
- La pesée systématique du biochar produit
- La valorisation du temps de travail mobilisé
- Le suivi comparatif des rendements et des intrants agricoles

5.5.1 Équipements de production et capacités

Indicateur	Ordre de grandeur observé
Nombre total de pyrolyseurs recensés	13 chez les producteurs (tous modèles confondus) 3 au Ceffel
Capacité de biomasse par cycle	2 à 10 sacs de balle de riz
Rendement par cycle	50 à 70 % (20 à 40 % selon la bibliographie), soit 1 à 7 sacs
Poids moyen d'un sac de biochar	18 à 22 kg
Durée d'un cycle de pyrolyse	3 à 6 heures
Nombre de cycles par jour	1 à 2 selon les conditions climatiques

La production est fortement saisonnière : elle se concentre durant la saison sèche. En saison pluvieuse, l'humidité de la biomasse et sa moindre disponibilité limitent fortement les pyrolyses.

5.5.2 Hypothèses retenues pour l'estimation des volumes

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour établir les estimations de volumes produits :

- Poids moyen d'un sac de biochar : 20 kg
- Production par cycle : 4 sacs de biochar
- Fréquence de production en saison sèche : jusqu'à 7 cycles par semaine dans des conditions optimales, en supposant un usage partagé des pyrolyseurs et une mobilisation suffisante du temps de travail
- Usage collectif des pyrolyseurs, permettant une utilisation proche de la capacité maximale
- Production hors saison sèche considérée comme marginale
- Durée de la saison sèche : 6 mois, soit environ 26 semaines

5.5.3 Estimation des volumes de biochar produits

Indicateur	Estimation
Production moyenne par cycle	≈ 80 kg de biochar (4 sacs), correspondant à un rendement moyen
Production hebdomadaire (saison sèche)	≈ 560 kg
Production annuelle par pyrolyseur	≈ 14,6 t
Production annuelle totale (16 pyrolyseurs)	≈ 235 t

Ces estimations correspondent à un scénario d'utilisation optimale, combinant une fréquence élevée de production (7 cycles par semaine) et un rendement intermédiaire jugé réaliste au regard des pratiques observées. Les volumes réellement produits peuvent toutefois varier en fonction de la disponibilité de la biomasse, de l'organisation collective, du temps de travail mobilisable et des conditions climatiques.

5.5.4 Coûts d'investissement : pyrolyseurs

Type de pyrolyseur	Coût unitaire estimé
Pyrolyseur fabriqué au Ceffel	≈ 110 000 Ar
Pyrolyseur construit localement	250 000 à 350 000 Ar
Enceinte en briques (optionnelle)	50 000 à 120 000 Ar

Les investissements initiaux ont majoritairement été financés par des projets. À ce stade, l'amortissement des équipements n'est pas formalisé par les producteurs.

Chaque pyrolyseur est utilisé par un groupe d'environ 5 à 20 producteurs. Le mode de gestion est pour l'instant collectif, avec une production destinée à l'organisation paysanne (OP), ou semi-individuel, dans le cas de paysans relais de production. Dans ce contexte, l'accès individuel au biochar reste limité pour les producteurs.

Par ailleurs, les coûts liés à la production des purins liquides utilisés pour la stabilisation du biochar ne sont pas inclus dans ces estimations d'investissement, bien qu'ils constituent un poste de coût supplémentaire à considérer pour une évaluation complète du système de production.

5.5.5 Coûts d'approvisionnement en balle de riz

Les coûts d'approvisionnement en biomasse comprennent l'achat éventuel de la balle de riz ainsi que son transport depuis les décortiqueuses jusqu'au site de production. Afin de faciliter la lisibilité, les estimations reposent sur des coûts moyens, bien que ceux-ci présentent une forte variabilité selon la distance (environ 1 à 5 km) et la saison.

Hypothèses retenues :

- Prix d'achat de la balle de riz : 1 500 Ar par sac
- Coût de transport : 5 000 Ar par production
- Forte variabilité selon la distance (environ 1 à 5 km) et la saison

Ordres de grandeur par production :

Poste	Coût estimé
Achat de la balle de riz	12 000 Ar
Transport	5 000 Ar
Coût total par production	17 000 Ar

Sur la base d'une hypothèse de production de 7 productions par semaine sur 26 semaines, soit 182 productions par an, les coûts annuels d'approvisionnement sont estimés comme suit :

Indicateur	Estimation
Coût annuel par pyrolyseur	≈ 3,1 millions Ar
Coût annuel pour 16 pyrolyseurs	≈ 50 millions Ar

Ces montants correspondent uniquement aux coûts monétaires directs liés à l'approvisionnement en biomasse. Le temps de travail nécessaire à la collecte, à la pyrolyse, à la manutention, ainsi que les coûts associés à la production des purins liquides utilisés pour la stabilisation du biochar, ne sont pas pris en compte à ce stade.

5.5.6 Éléments d'analyse coût-bénéfice

Élément analysé	Observation
Vente de biochar	Peu envisagée
Logique dominante	Autoconsommation
Économies réalisées	Réduction partielle des engrais minéraux
Effets sur les rendements	Positifs sur certaines cultures
Effets résiduels	Observés sur plusieurs cycles culturaux
Rentabilité globale	Positive à l'échelle de l'exploitation, mais difficile à chiffrer précisément

6. Perspectives opérationnelles pour le déploiement de la production et de l'utilisation de biochars

À court terme, les priorités portent sur :

- L'amélioration des pyrolyseurs (réduction des fumées) et la définition d'un modèle économique viable pour lever le principal frein financier ;
- Le stockage efficace de la biomasse pour sécuriser l'approvisionnement ;
- L'harmonisation des messages techniques et le renforcement des compétences des conseillers agricoles.

Des tests en laboratoire des biochars produits permettront également de valider leur qualité (teneur en carbone, pH, stabilité, présence éventuelle de contaminants) et de mieux caractériser leur adéquation aux usages agricoles envisagés.

La mise en place d'essais comparatifs plus systématiques, le suivi pluriannuel des parcelles et la capitalisation structurée des résultats permettent également de consolider les références techniques.

À plus long terme, la production de biochars pourra être intégrée de manière plus structurée dans les stratégies agroécologiques des OPR, à condition de sécuriser l'approvisionnement en biomasse, d'adapter les techniques aux contextes locaux et de maintenir une approche progressive.

6.1 Recherches sur un nouveau modèle de pyrolyseur

Des recherches complémentaires ont été menées sur des modèles de pyrolyseurs adaptés à la production de biochars à partir de balles de riz, dans l'objectif de limiter les émissions de fumée et d'améliorer l'efficacité du processus de pyrolyse.

La construction d'un prototype de pyrolyseur de type Kon-Tiki a été envisagée en raison de sa simplicité de construction et de sa facilité d'utilisation. Ce type de four est reconnu par certains cadres spécifiques, tels que le Global Artisan C-Sink Standard, qui intègrent explicitement la production artisanale de biochar avec des fours de type Kon-Tiki et permettent de générer des crédits carbone (C-Sink) pour des projets agricoles dans les pays à revenus faibles ou moyens. Cela ouvre des voies de financement carbone adaptées aux petits producteurs et aux petites chaînes de production de biochar, avec la possibilité de commercialiser ces crédits sur certains marchés volontaires. Toutefois, certaines limites ont été signalées par les concepteurs du modèle concernant son adaptation spécifique à la pyrolyse des balles de riz.

Le four Kon-Tiki fonctionne selon un principe de pyrolyse en flamme inversée. La biomasse est empilée sous forme de couche dans un four en forme de cône, chaque nouvelle couche brûle en surface et forme une flamme de couverture qui consomme l'oxygène.

Cependant, la balle de riz n'est pas bien adaptée à ce système. Sa très faible densité la rend difficile à compacter dans le four, elle brûle trop rapidement au contact de l'air et se volatilise facilement avec le vent ou les flammes. Ainsi, dans un Kon-Tiki, la balle de riz a tendance à se consumer plutôt qu'à se pyrolyser, ce qui réduit fortement le rendement en biochar. Pour l'utiliser, il faudrait la compacter ou la mélanger avec une biomasse plus dense, mais un four fermé reste préférable pour une pyrolyse efficace.

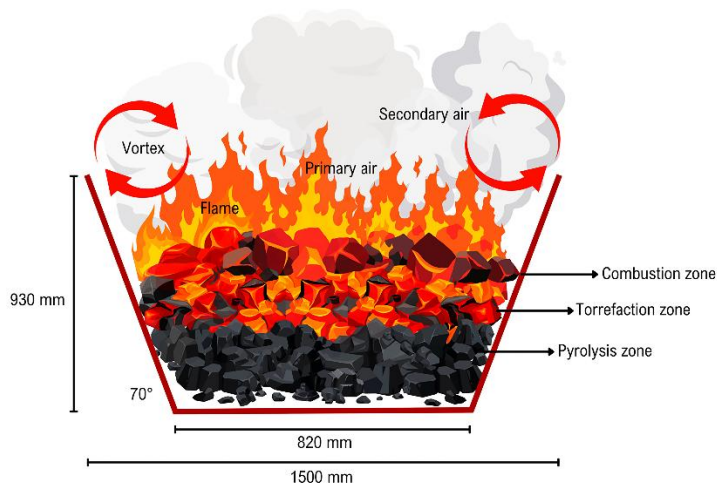


Figure 21 : Schéma simplifié des dimensions et du fonctionnement d'un four Kon-Tiki (Source : Ramírez López et al., 2024)

Un autre modèle a donc été retenu : le pyrolyseur TLUD (*Top-Lit Updraft Kiln*), ou four à tirage ascendant à allumage par le haut. Il s'agit d'un système de pyrolyse simple à construire, bien adapté aux petites exploitations agricoles, et permettant de réduire significativement les émissions de fumée grâce à la combustion des gaz issus de la pyrolyse.

Le principe de fonctionnement est le suivant : le four est rempli de biomasse, puis l'allumage se fait par le haut. À mesure que la combustion progresse, la chaleur libérée des gaz issus de la biomasse située en dessous. Ces gaz remontent et s'enflamment au niveau de la flamme, tandis que les couches inférieures se transforment progressivement en biochar. L'apport d'oxygène se faisant principalement par le bas, le charbon formé sous la zone de combustion est préservé et n'est pas réduit en cendres.

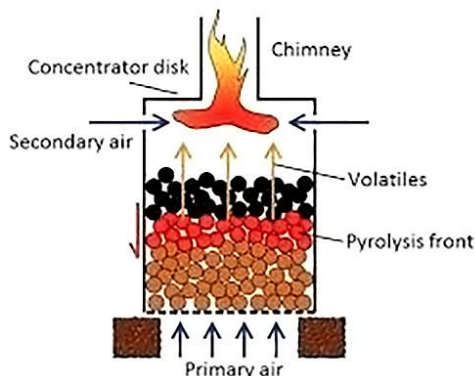


Figure 22 : Combustion dans un système à tirage ascendant allumé par le haut (TLUD) (Source : Birzer et al. 2013)

Les références techniques présentées ci-après ont été fournies par ECHO Asia³. Les données techniques ci-dessous, élaborées en 2025, portent sur l'efficacité du procédé de pyrolyse ainsi que sur les caractéristiques du modèle de pyrolyseur TLUD :

- Capacité du pyrolyseur : 18 à 22 kg de biomasse sèche (environ deux sacs de balles de riz, humidité < 20 %) ;
- Rendement : 30 à 40 % du poids initial (pour les balles de riz) ;
- Durée de pyrolyse : 60 à 100 minutes, variable selon le vent, l'humidité et le type de biomasse ;
- Qualité du biochar : couleur noir brillant, texture poreuse et faible teneur en cendres.
- Coût de construction : entre 150 000 Ar et 180 000 Ar.

Après des recherches complémentaires et des discussions avec les membres du Ceffel impliqués dans les travaux sur le biochar, les avantages et limites suivants ont été identifiés :

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none"> • Économique : Conception simple et utilisation de matériaux recyclés à moindre coût • Efficace : Temps de combustion réduit, économie de main-d'œuvre et de temps • Réduction significative des émissions de fumées noires 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de production limitée par rapport au modèle traditionnel en tas ; • Impossibilité de produire du vinaigre de bois.

6.2 Construction du pyrolyseurs TLUD et premiers résultats

Un pyrolyseur TLUD a été construit au Ceffel en s'appuyant sur le modèle fourni par EchoAsia et sur le tutoriel vidéo suivant : [How to Build a Rice Hull/Rice Husk Biochar Kiln - YouTube](#).

Dans un souci de réduction des coûts, un ventilateur manuel a été installé en remplacement du petit ventilateur d'ordinateur initialement prévu et conseillé dans le tutoriel. Par ailleurs, un support métallique a été conçu au-dessus du pyrolyseur afin de valoriser la flamme produite, notamment pour y poser une marmite destinée à la cuisson. Cette adaptation, suggérée lors des entretiens menés en régions, vise une double valorisation de la biomasse, en réponse aux contraintes liées à l'accès au bois de chauffe dans certaines zones.

Deux tests ont été réalisés avec des balles de riz, chaque essai utilisant un sac de balles de riz pour remplir le fût. Lors du premier test, l'intensité de la flamme a diminué jusqu'à environ 40 %. La qualité du biochar obtenu s'est révélée meilleure que celle produite avec l'ancien modèle. Lors du second test, la flamme a diminué jusqu'à 60 %, tout en maintenant une qualité de biochar satisfaisante.

Cependant, plusieurs problèmes techniques ont été rencontrés lors des deux essais. Le ventilateur s'est arrêté et le couvercle du fût s'est détaché, entraînant une forte émission de fumée. Des solutions ont déjà été testées pour remédier à ces dysfonctionnements ; leur efficacité sera évaluée lors des prochains essais.

³ ECHO Asia (Educational Concerns for Hunger Organization) est une ONG spécialisée dans l'amélioration de la sécurité alimentaire, des moyens de subsistance et de l'agriculture durable auprès des petits exploitants et des communautés rurales d'Asie du Sud-Est. Elle fournit des ressources techniques, des formations, des publications et des semences pour soutenir les agriculteurs et les acteurs du développement rural.

La durée de la pyrolyse s'est également révélée plus longue que prévu, avec environ 3 heures pour le premier test et 5 heures pour le second. Ces durées prolongées sont probablement liées aux problèmes techniques rencontrés au cours des expérimentations.



Figure 23 : Modèle de pyrolyseur TLUD avec ventilateur manuel (Source : auteure, Sylvia Laurencien, 2025)



Figure 24 : Pyrolyse et refroidissement (Source : Sylvia Laurencien, 2025)

6.3 Capacité d'adoption du nouveau pyrolyseur par les groupements

6.3.1 Rendements et avantages techniques

Les premiers essais ont montré que le TLUD permettait d'obtenir un biochar de bonne qualité, bien que des tests en laboratoire soient nécessaires pour valider ces améliorations. Les rendements se sont révélés satisfaisants et les émissions de fumée nettement réduites. La possibilité de coupler le four avec un système de cuisson constitue un avantage supplémentaire, offrant une double valorisation de la biomasse. Ces caractéristiques sont susceptibles d'attirer l'attention des producteurs intéressés par l'efficacité et la multifonctionnalité des outils.

6.3.2 Acceptabilité et coût

Le modèle en tas, diffusé par Ceffel et validé localement, reste très utilisé et apprécié par les producteurs. Il est donc légitime de se demander dans quelle mesure les producteurs déjà familiarisés avec cette méthode seront prêts à adopter un nouveau modèle. Le financement personnel du TLUD constitue un facteur déterminant : les groupements pourraient être réticents à investir dans ce pyrolyseur alors que le modèle traditionnel répond déjà à leurs besoins.

Le modèle de pyrolyseur TLUD fabriqué au Ceffel présente un coût total de 245 000 Ariary, réparti comme suit :

Matériel	Prix (Ariary)
Fût métallique	150 000
Tube 100	10 000
Ventilateur	50 000
Main-d'œuvre et soudure	35 000
TOTAL	245 000 Ar

6.3.3 Difficultés techniques et contraintes

La durée de pyrolyse plus longue que prévu et la nécessité d'une présence permanente pour actionner le ventilateur manuel risquent de décourager certains producteurs. L'option d'un ventilateur électrique présente également des limites, car l'accès à une source d'électricité constante est restreint dans plusieurs régions d'étude. Or, un flux d'air constant est essentiel pour assurer l'efficacité de la pyrolyse. Ces contraintes techniques peuvent réduire la motivation des producteurs à investir dans un modèle plus complexe que le traditionnel four en tas.

7. Conclusion

Les travaux présentés dans ce document montrent que le biochar constitue une innovation agroécologique, à condition d'être déployée de manière progressive, encadrée et adaptée aux contextes locaux.

Les expériences menées depuis 2020 montrent des effets globalement positifs sur la structure des sols, la gestion de l'eau, la santé des cultures et, dans certains cas, les rendements et la qualité des productions. Ces résultats, bien que parfois hétérogènes, confirment l'intérêt agronomique du biochar comme amendement complémentaire aux pratiques agroécologiques existantes.

Toutefois, le biochar demeure une technique encore en phase d'appropriation. Les pratiques de production, de stabilisation et d'application restent très variables selon les régions et les producteurs, et les références techniques demeurent insuffisantes. Les rendements de pyrolyse observés sur le terrain, parfois supérieurs aux données bibliographiques, soulignent la nécessité de renforcer les protocoles de mesure et de caractérisation des biochars produits. De même, les effets sur les ravageurs et maladies et la réduction des intrants minéraux, bien que fréquemment rapportés, nécessitent des suivis pluriannuels et des essais comparatifs plus systématiques.

Sur le plan organisationnel et économique, le biochar apparaît comme un levier d'optimisation des systèmes de production avec la valorisation de biomasses locales disponibles et la réduction des dépenses en intrants. Les contraintes identifiées — accès à la biomasse, coûts de transport, disponibilité et fragilité des pyrolyseurs — constituent toutefois des freins importants à une diffusion à grande échelle sans accompagnement renforcé.

L'adoption durable du biochar au sein des OPR du groupe Fifata dépendra ainsi de plusieurs conditions clés : l'amélioration et la fiabilisation des équipements de pyrolyse, le renforcement des compétences des conseillers et des producteurs, l'harmonisation des recommandations techniques, ainsi que la capitalisation rigoureuse des retours d'expérience. Les dynamiques collectives observées au sein des groupements, appuyées par le rôle central de Ceffel, constituent à cet égard un atout majeur pour structurer la diffusion de cette pratique.

Enfin, l'utilisation de biochar ne doit pas être envisagée comme une solution unique, mais comme une pratique agroécologique parmi d'autres qui permet aux producteurs de diversifier leurs leviers d'action pour améliorer la fertilité des sols et la résilience de leur système de production. Son intégration raisonnée, adaptée aux contextes pédoclimatiques, sociaux et économiques locaux, permettra de maximiser ses bénéfices tout en limitant les risques associés à une adoption non maîtrisée.

8. Annexes

Annexe 1 : Liste des acteurs rencontrés

Nom et fonction	Fonction	Organisation	Localisation
Andry Rasamimanana	Responsable du centre	Ceffel	Antsirabe
Cédric Francklin	Conseiller spécialisé en agroécologie	Ceffel	Antsirabe
Robin Andrianantenaina	Chargé de relations terrain	Fekama	Antsirabe
Mr Jean-Michel	Ouvrier, référent production biochar	Ceffel	Antsirabe
Mr Jean-Marc	Chef d'équipe agricole	Ceffel	Antsirabe
Mr Benna	Ouvrier, référent construction pyrolyseur	Ceffel	Antsirabe
Miary, Lanto, Daniel	CAP	Cap Malagasy	Vakinankaratra
Rodin, Daniel, André	CAP	Cap Malagasy	Haute Matsiatra
Johny et 2 autres	CAP	Cap Malagasy	Analamenga
Andry, Séraphin, Nicolas	Responsables techniques	Fifata	Analamenga
Olivier Razafimaharavo	Directeur Sahi - Fimpiama	Fifata	Fianarantsoa
/	Propriétaire décortiqueuse riz	Particulier	Ambohimandry
Mme Marceline	Propriétaire décortiqueuse riz	Particulier	Antsirabe
/	Responsable de production rizerie	Rizerie Le relais	Ambalamahasoa
/	Propriétaire décortiqueuse riz	Particulier	Ambalamahasoa
/	Responsable tests agronomiques	Entreprise Sun Farming	Antsirabe
Mr Arsène et membres	Agriculteurs	Coopérative Kokami	Betafo
Mme Noro	Agricultrice	Coopérative Fanilo	Manandona
/	Agriculteurs (5)	OP	Mandritsara
Président Justin, Mme Lanito, Mme Saholy	Agriculteurs (3)	Coopérative Tafita	Andranomenelatra
Président Armand et sa femme	Agriculteurs (2)	Union Soafianatra	Isorana
Président Joseph et membres	Agriculteurs	OP Ezaka	Camp Robin
Jeune relais Alexandre	Agriculteur	Union communale	Alakamisy
Président Philibert dit Rafily	Agriculteur	OP Mamafy	Ambalamahasoa
/	Agriculteurs (7)	OP	Ambohimandry
/	Agriculteurs (8)	OP Avotra	Manandriana
Mme Vero	Agricultrice	OP Miaramandroso	Mahitsy
/	Agriculteurs	OP Santatra	Ambatomanga

Annexe 2 : Guides d'entretien

Fournisseurs de biomasse

- **Objectif** : Comprendre la disponibilité et la logistique de la production de biomasse
- **Types d'acteurs à interroger** : Décortiqueuses, moulins à riz, rizeries

1) Disponibilité et caractéristiques de la biomasse

- Quels types de biomasse produisez-vous ?
Balles de riz, pailles, coques, autres
- Processus de production et origine de cette biomasse
- Taux d'humidité et variations saisonnières (difficile comme info, achat hygromètre ?)
- Quantités disponibles par mois/saison

2) Marché et valorisation actuelle

- Prix pour chaque type de biomasse
- Variations de prix au cours de l'année / selon la saison
- Principaux acheteurs et circuits de vente
- Part de biomasse vendue
- Comment la biomasse est-elle utilisée actuellement ?
Non valorisée / jetée, Amendement, alimentation animale, four à brique, combustion, autres

3) Collecte, stockage et transport

- Méthodes de stockage et transport
- Durée de conservation possible
- Distances parcourues

4) Intérêt pour la production de biochar

- Connaissance du biochar et de l'utilisation de la biomasse de balle de riz pour le produire
- Intérêt ou acceptabilité à rediriger une partie des ventes vers le biochar
- Conditions nécessaires
Volume régulier, prix, partenariat, logistique

Producteurs de biochars /expérimentateurs

- **Objectif** : Identifier les pratiques expérimentales, les résultats et les besoins techniques
- **Types d'acteurs à interroger** : Agriculteurs, Ceffel, Cap Malagasy, OP régionales, conseillers agricoles / animateurs

1) Projets et expérimentations menés

- Année des premiers essais et durée
- Projets/expérimentations réalisés sur le biochar
- Partenaires impliqués et objectifs

2) Pyrolyseur et fabrication

- Type de pyrolyseur et principe de fonctionnement
- Processus de fabrication du pyrolyseur
Conception, étape, main-d'œuvre mobilisée, plan
- Matériaux utilisés
Origine, coût, disponibilité, facilité d'approvisionnement
- Durabilité et entretien du pyrolyseur
Longévité, réparations, pièces de rechange
- Durée de de la pyrolyse et rendement

- Besoin en main-d'œuvre
- Matériel nécessaire pour la pyrolyse
Bois/charbon/tige pour le feu, pelle/râteau/ autre petit matériel

3) Biomasse

- Type de biomasse utilisée
- Lieu d'achat et prix
- Autres utilisations de cette biomasse
- Préparation nécessaire de la biomasse avant pyrolyse
Séchage, broyage

4) Stabilisation du biochar

- Stabilisation et arrosage du biochar
- Temps de stockage et de maturation avant incorporation au champ

5) Usages et pratiques techniques

- Type de terrain
Tanety, bas-fond
- Cultures concernées
- Méthode et moment d'application dans le cycle
- Fréquence et dosage d'application
- Associations avec autres amendements/pratiques culturales
Enfouissement/incorporation à la terre, mélange avec compost/engrais

6) Résultats observés

- Effets sur la texture du sol
- Effet sur la rétention d'eau
- Impact les rendements des cultures, baisse d'utilisation d'autres engrais
- Effets sur la santé des cultures : résistance aux maladies, ravageurs ou stress

7) Difficultés rencontrées

- Techniques : fonctionnement du pyrolyseur, qualité du biochar, stockage
- Logistiques : approvisionnement en biomasse, transport, matériel
- Contexte local : conditions météo, saisons
- Économiques : coûts de production, rentabilité, financement
- Acceptabilité sociale : perception et adoption par les agriculteurs

8) Besoins en outils et appuis techniques

- Équipements et matériels nécessaires
- Suivi technique et accompagnement agronomique
- Formation et renforcement de compétences
Construction du pyrolyseur, utilisation du biochar, connaissances agronomiques (ex : enrichissement biochar avec purin...) vulgarisation scientifique et diffusion des pratiques
- Soutien financier

9) Autres recommandations pour un déploiement efficace et durable



5 rue Joseph et Marie Hackin
75116 Paris

Tel: +33 1 44 31 16 70

fert@fert.fr

www.fert.fr

Agri-agence membre d'**AGRICORD**



Cette étude bénéficie d'un soutien de l'Agence française de développement. Les idées et les opinions qui y sont présentées ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'AFD.