



Etude de marché du biochar pour ENABEL – projet CIV2200111



Etude de marché (offre et demande) du biochar

Projet CIV2200111

Avril 2025

Julia Artigas-Sancho, Léo Godard, Dorgeles Gomeu, Etienne Perrier,
Matthieu Tiberghien

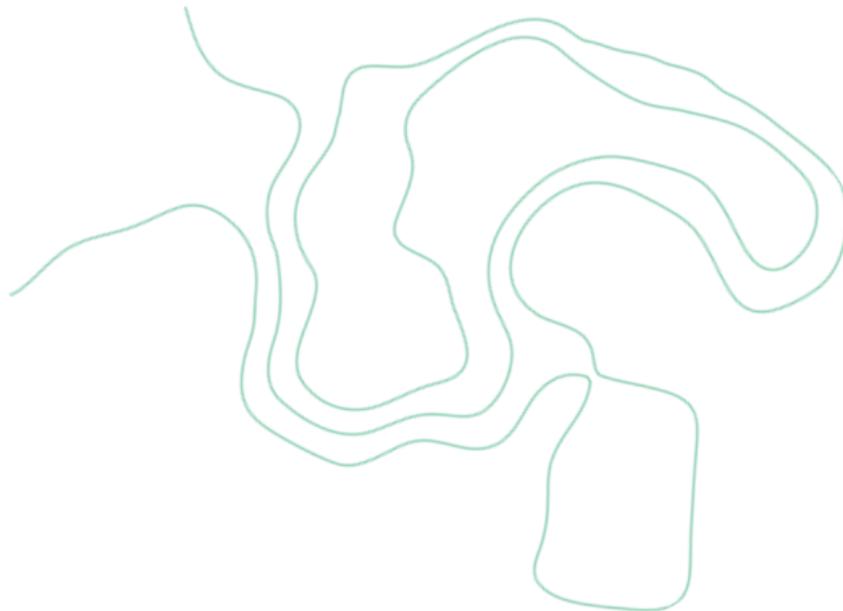




Table des matières

Table des figures et tableaux	3
1. Contexte et objectifs de la mission.....	5
2. Méthodologie.....	5
3. Le panorama mondial du secteur biochar.....	6
3.1 La production de biochar dans le monde.....	6
3.2 Les types d'acteur du secteur du biochar.....	9
4. Les modèles de production de biochar	11
4.1 La production industrielle : énergie et biochar en co-produit	12
4.2 La production industrielle : le biochar comme production principale	15
4.3 La production artisanale.....	18
4.4 Réflexions concernant les gisements de biomasse exploités pour le biochar.....	20
5. Les débouchés du biochar physique	22
5.1 Agriculture, foresterie et horticulture.....	23
5.1.1 Amendement du sol.....	24
5.1.2 Fertilisant combiné.....	25
5.1.3 Substrat / supports de culture	27
5.1.4 Alimentation animale.....	27
5.2 Paysagisme et dépollution/récupération de sols	28
5.3 Matériaux de construction	29
5.4 Filtration de l'eau et de l'air	29
5.5 Composant de substitution dans l'industrie chimique et la métallurgie.....	29
5.6 Nutraceutique et cosmétique	30
6. Les prix du biochar.....	30
6.1 Etat des prix actuels pour la vente de biochar.....	30
6.2 Méthodes de calcul du prix du biochar	30
6.3 Les limites principales de la demande pour le biochar	32
7. Stratégies de commercialisation	33
8. Défis et clefs de succès	35
8.1 Pour les projets industriels	36
8.2 Pour les projets artisanaux.....	37
Bibliographie.....	39
Annexe 1 : Liste (non exhaustive) des acteurs du secteur	40
Annexe 2 : Evolution du prix mondial des fertilisants.....	48



Table des figures et tableaux

Figure 1 : Cartographie des acteurs de la chaîne de valeur du biochar	5
Figure 2 : Production mondiale de biochar par continent (Source: IBI 2023).....	7
Figure 3 : Répartition des crédits carbone vendus par des projets de biochar selon les continents .	9
Figure 4 : Photos du projet biochar Agri Energy Vraa - Stiesdal SkyClean	13
Figure 5 : Photos du projet biochar Sonnenerde - NGE.....	14
Figure 6 : Sous-produits de la production de biochar via la pyrolyse.....	16
Figure 7 : Photos du projet biochar de NetZero au Brésil.....	16
Figure 8 : Photos du projet biochar de HUSK	17
Figure 9 : Photo de l'unité de PyroCCS en Namibie	18
Figure 10 : Photos de fours Kon Tiki en Namibie (Source : Omiti Biochar)	19
Figure 11 : Photos du projet de biochar artisanal de Recycoal au Rwanda.....	20
Figure 12 : Débouchés des producteurs de biochar.....	23
Figure 13 : Freins principaux à l'essor du biochar.....	23
Figure 14 : Promotions de biochar	25
Figure 15 : Annonce commerciale pour du biochar	25
Figure 16 : Gamme de produits de l'entreprise HUSK.....	26
Figure 17 : Produits les plus intéressants à explorer pour la vente de biochar	26
Figure 18 : Publicité biochar pour terreau	27
Figure 19 : Publicité pour du biochar comme additif en alimentation animale en Suisse	28
Figure 20 : Publicité pour du biochar ciblant le paysagisme	28
Figure 21 : Matériaux de construction avec biochar : béton (à gauche – Université de Californie) et asphalte (à droite – Hansa Asphalt en Allemagne).....	29
Figure 22 : Défis principaux de la filière biochar d'après les producteurs (Source : IBI).....	32
Figure 23 : Evolution de la recherche scientifique sur le biochar	32
Figure 24 : Evolution du prix de l'Urée (N = azote) sur les 5 dernières années	48
Figure 25 : Evolution du prix du DAP (Phosphate) sur les 5 dernières années.....	48
Figure 26 : Evolution du prix du KCl (Potassium) sur les 5 dernières années.....	48



Table des acronymes

BCR : Biochar Carbon Removal
BECCS : Bioenergy with Carbon Capture and Storage
CAPEX : Capital Expenditure
CC : Crédit Carbone
CDR : Carbon Dioxide Removal
CER : Certified Emission Reduction
CND : Contributions Nationales Désignées
CO₂ : Dioxyde de Carbone
tCO_{2e} : Equivalent 1 tonne de Dioxyde de Carbone
CORSIA : Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DACCS : Direct Air Capture with Carbon Storage
DFI : Development Finance Institution
dMRV : Digital Monitoring Reporting and Verification
EBC : European Biochar Certificate
ERW : Enhanced Rock Weathering
ESG : Environmental Social and Governance
ETS : Emissions Trading System = Système d'échange de quotas d'émission
GAFAM : Google Apple Facebook Amazon Microsoft
GES : Gaz à Effet de Serre
GHG : Greenhouse Gas
IBI : International Biochar Initiative
MDP / CDM : Mécanisme pour un Développement Propre / Clean Development Mechanism
MSR : Market Stability Reserve
NBS : Nature-Based Solutions
REDD+ : Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation
RGGI : Regional Greenhouse Gas Initiative
SBT : Science-Based Targets
SDGs : Sustainable Development Goals
VCS : Verified Carbon Standard
WCI : Western Climate Initiative



1. Contexte et objectifs de la mission

L'étude de la demande internationale et nationale et de l'offre du biochar commanditée par ENABEL rentre dans le cadre de l'implémentation du projet VABICUI dont l'objectif principal est de renforcer les secteurs de la valorisation des déchets organiques et de la cuisson propre et ainsi de diminuer les émissions de GES de la Côte d'Ivoire. Il existe diverses possibilités pour valoriser les déchets et sous-produits des filières agricoles et industrielles (et déchets urbains). Parmi ces options, le biochar est une solution intéressante et qui suscite beaucoup d'intérêt ces dernières années, notamment grâce à la consolidation apparente de la finance climat.

Le travail demandé est assez vaste et peut se résumer en une analyse à 360° de la thématique biochar, avec un focus particulier sur les évolutions de ce marché naissant au niveau mondial (offre et demande). Etant donné le périmètre d'action du projet VABICUI, la Côte d'Ivoire, cette étude de marché aura aussi pour but de situer la filière ivoirienne de biochar dans ce contexte mondial.

De façon plus détaillée, les objectifs de l'étude sont : évaluer et caractériser la production de biochar dans le monde, ainsi que les pôles de consommation, les contextes et évolutions réglementaires, les différentes technologies impliquées et innovations récentes, et enfin comment la Côte d'Ivoire se place dans ce paysage, avec quelle compétitivité et quelles opportunités. Des recommandations pour orienter l'appui de VABICUI à la filière biochar ivoirienne seront aussi présentées.

2. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour cette étude repose essentiellement sur une consultation étendue des acteurs du secteur du biochar mondial. Un listing et une catégorisation de ces acteurs a permis de fixer un agenda de consultations avec l'organisation d'une série d'interviews auprès des entreprises principales représentant chaque maillon de la chaîne de valeur. Une attention particulière a été apportée à la sélection des acteurs afin de couvrir un maximum de situations et modèles différents et ainsi recueillir des points de vue complémentaire sur l'évolution du secteur biochar.

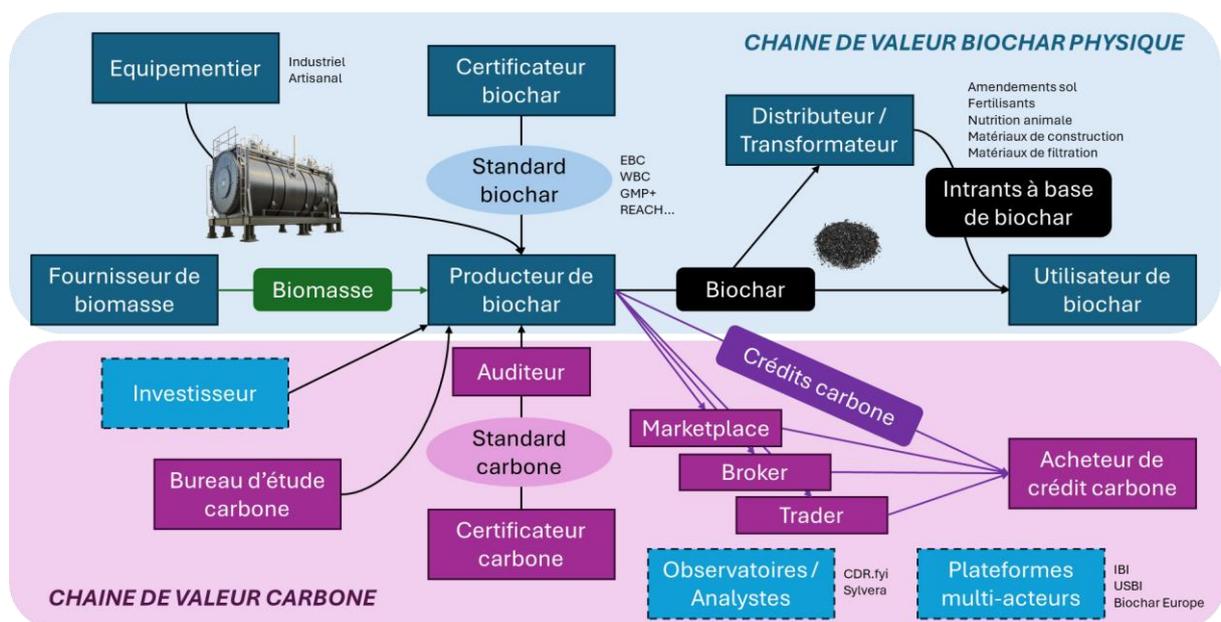


Figure 1 : Cartographie des acteurs de la chaîne de valeur du biochar



Une des complexités du secteur du biochar est qu'il recoupe deux chaînes de valeurs différentes : le biochar physique et les crédits carbone (Figure 1). Cela multiplie donc le nombre de catégories d'acteurs qui ont tous un rôle à jouer dans le bon développement du secteur.

Table 1 : Liste des acteurs consultés pour l'étude

Catégorie	Zone	Entreprise	Pays
Producteurs de biochar	Pays du Sud	WeAct (artisanal)	Inde, Madagascar
		Planboo (artisanal)	Thaïlande, Ghana, Namibie
		Recycoal (artisanal)	Rwanda, Ouganda
		PyroCCS (industriel & artisanal PRO)	Namibie, Inde
		NetZero (industriel)	Cameroun, Brésil
	UE	Interholco (industriel)	République du Congo
		HUSK (industriel)	Cambodge, Vietnam
		IED (industriel)	Sénégal, Cambodge
	USA	Carbon Emergente (industriel)	Espagne
		Athena recherche et innovation (industriel)	France
Equipementier	UE	Sonnenerde (industriel)	Autriche
		Circularity2 (industriel & négoce)	
		NGE	Autriche
		Stiesdal	Danemark
Certification	Mondial	Puro	
		CSI	
Fournisseur engrais et intrants	Mondial	Elephant vert	
		Bayer	
Bureau d'étude dMRV	Pays du Sud	DSS+	
		Koko networks	
	USA	Ithaka Institute	
	Mondial	Cula	
DD & assurances	Mondial	Artio	
Investisseurs	Mondial	ISF	
Plateforme multiacteurs	Mondial	International Biochar Initiative (IBI)	
	USA	US Biochar Initiative (USBI)	

Pour réaliser cette étude de marché, 26 acteurs ont été consultés sur la période de février 2025 à avril 2025, couvrant différentes géographies (une liste plus détaillée est ajoutée en **Annexe 1**: Liste (non exhaustive) des acteurs du secteur).

En plus de cette consultation, un travail de bibliographie scientifique et sectorielle a été réalisé afin de collecter les dernières informations disponibles (la liste des documents les plus pertinents est présentée dans la Bibliographie).

Les conclusions de l'étude sont présentées dans 4 rapports complémentaires :

1. Revue des pratiques de production du biochar
2. Etude de marché mondiale du biochar (offre et demande) – le présent document
3. Analyse des outils de la finance climat appliqués au biochar
4. Opportunités et défis du secteur biochar en Côte d'Ivoire

3. Le panorama mondial du secteur biochar

3.1 La production de biochar dans le monde

Le biochar est un secteur de niche émergent mais suscitant énormément d'intérêt, et donc profitant d'une importante dynamique ces dernières années grâce au marché porteur des crédits carbone. Cette dynamique s'est initiée depuis 2020 et on commence donc à voir se concrétiser les premiers projets de production industrielle de biochar, ainsi qu'un grand nombre de nouveaux projets.



La production mondiale a été estimée à 350'000 tonnes par l'IBI en 2023, alors qu'elle n'atteignait pas les 100'000 tonnes en 2021. On constate donc une croissance très rapide de la production (+100%/an), qui devrait atteindre plus de 2,5 millions de tonnes en 2025¹. Supercritical, marketplace carbone parmi les plus connus du marché, estime une production de 4,4 millions de tonnes de biochar physique (11M de crédits carbone, en appliquant un ratio de 1 tonne de biochar = 2,5 crédits carbone) en 2028².

Par ailleurs, il faut noter que le suivi de la production mondiale est assez complexe : les chiffres annoncés par l'IBI sont la source d'information la plus robuste, reposant sur leur large réseau de membre, mais une quantité significative de biochar n'est probablement pas intégrée, provenant d'acteurs n'ayant pas encore de schéma de certification carbone (traçabilité absolue des quantités) ou alors ne rapportant pas leurs volumes à l'IBI pour le moment.

Au niveau mondial, les USA et l'UE restent en tête de la production de biochar, avec respectivement 45% et 20% de la production mondiale en 2023 (**Figure 2**). Les pays du Sud (Afrique, Asie, Amérique latine) concentrent le reste de la production. Toutefois, comme dit précédemment, le taux de croissance de la production de biochar est énorme, ainsi les chiffres de 2023 sont aujourd'hui obsolètes.

On peut estimer que la production des USA va croître plus lentement, alors que celle de l'UE va continuer à augmenter sur les 5 prochaines années. Le potentiel des pays du Sud est très important, notamment via les projets de production artisanaux (voir paragraphe **4.3**), et représenteront sur le moyen terme probablement une beaucoup plus grande part de la production dans un futur proche (Supercritical prédit 80% en 2028).

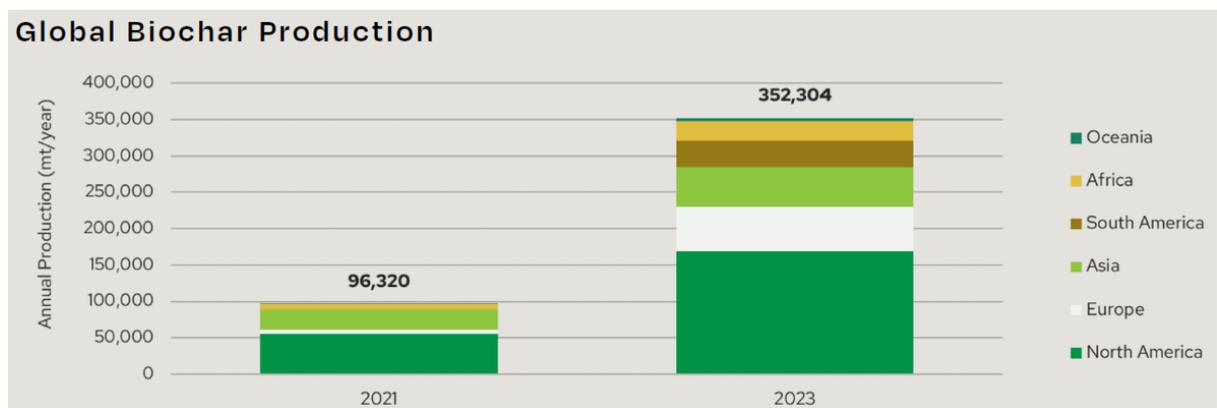


Figure 2 : Production mondiale de biochar par continent (Source: IBI 2023)

Il est important de noter que le contexte et les moteurs de développement des projets biochar, bien que reposant tous sur le marché des crédits carbone, varient selon la zone géographique :

[En Amérique du Nord :](#)

La filière biochar est une des plus anciennes (avec la Chine). C'est là-bas qu'on retrouve les premiers projets biochar de grande envergure. Le coût de la biomasse y est important alors que le coût de

¹ 2023 Global Biochar Market Report, IBI & USBI, 2024

² Boom or Bust, Biochar Market Outlooks, Supercritical, 2024



l'énergie est faible (comparé à l'UE), ainsi les projets de pyrolyse valorisent mal l'énergie produite, seule la vente du biochar peut compléter les revenus issus des crédits carbone. C'est pourquoi c'est aux USA qu'on retrouve le plus de recherche et d'innovation, ainsi que de connaissance et d'expérience concernant les débouchés physiques du biochar (agriculture, construction, métallurgie – voir partie 5). Les consommateurs potentiels de biochar (notamment agriculteurs) ont des ressources financières significatives, et consomment beaucoup d'intrants.

Dans les pays de l'UE :

Le contexte est différent de l'Amérique du Nord, avec un coût de la biomasse élevé, mais aussi un coût de l'énergie élevé, et aussi des attentes environnementales importantes concernant la décarbonisation du secteur de l'énergie. Ainsi les projets biochar sont poussés par la valorisation de cette énergie « décarbonée ». Le biochar peut y être considéré plus comme un co-produit de la production d'énergie et/ou de l'assainissement de déchets. Cela met moins de pression sur la nécessité de vendre le biochar. En ce qui concerne les utilisateurs de biochar, comme aux USA, l'agriculture y est plutôt intensive avec des producteurs reposant sur l'achat d'intrants.

Dans les pays du Sud :

Les contextes varient beaucoup étant donné que cette catégorie regroupe des pays sur 3 continents différents. Cependant certains éléments de contexte sont communs : certaines biomasses y sont plus abondantes et moins chères, et le coût de main d'œuvre est plus bas. Le coût de l'énergie est faible aussi mais on y constate des défis liés à la surutilisation des réseaux électriques entraînant des dysfonctionnements dommageables pour les industries. Ainsi, la production d'électricité décentralisée y est une solution intéressante. Par ailleurs, l'environnement des affaires et le faible soutien bancaire diminuent les capacités d'investissement. Dans ce contexte, les projets biochar sont moins coûteux (grâce au bas prix de la biomasse) mais ont moins de chance de se faire financer à grande échelle. De plus, la vente du biochar y sera plus compliquée, à part à certains acteurs ayant des moyens importants (voir partie 5, et le rapport dédié aux opportunités du biochar en Côte d'Ivoire). C'est pourquoi on y retrouve beaucoup de projets artisanaux, reposant uniquement sur les crédits carbone, et distribuant gratuitement le biochar.

L'Asie, et plus particulièrement l'Inde, sont des zones où le secteur du biochar est en pleine expansion, dû notamment aux grands besoins en énergie pour les diverses industries installées couplé à une grande disponibilité de biomasse et un faible coût de la main-d'œuvre.

En ce qui concerne le nombre et la répartition des projets de production de biochar, un recensement non exhaustif a été réalisé dans le cadre de cette étude de marché afin de compléter les données issues de la littérature :

- Europe : 125 projets dont 34 ont déjà émis des crédits carbone (CC)
- Amérique du Nord : 84 projets dont 19 ont émis des CC
- Afrique : 23 projets (15 artisanaux et 8 industriels) dont 9 ont émis des CC
- Asie : 22 projets (10 artisanaux et 12 industriels) dont 10 ont émis des CC
- Amérique du Sud : 9 projets dont 6 ont émis des CC
- Océanie : 4 projets dont 3 ont émis des CC



Un autre moyen de tracer la production de biochar est d'analyser les registres des standards de certification des crédits carbone. En effet, 1 CC représente 1 tonne équivalent CO₂ et en règle générale on considère qu'une tonne de biochar peut générer 1,0 à 2,5 CC³. Ainsi, les CC émis à ce jour apportent une vision certes incomplète car beaucoup de projets n'ont pas finalisé leur protocole de certification, mais robuste de la production de biochar issus de projets matures.

Les seuls registres pertinents aujourd'hui (car ayant réellement émis des CC échangés sur le marché volontaire) sont Puro.earth et CSI (EBC C-sink, Global C-sink, Artisan C-sink, Artisan Pro C-sink). D'autres standards tels que Verra, Riverse et Isometric sont en train d'être finalisés et des CC seront probablement générés en 2025 selon leur méthodologie⁴. On constate donc qu'il existe une grande différence entre le nombre de projets, la quantité de biochar produite, la quantité de CC générés et de CC vendus. Cela dépeint la grande variabilité entre les projets de biochar.

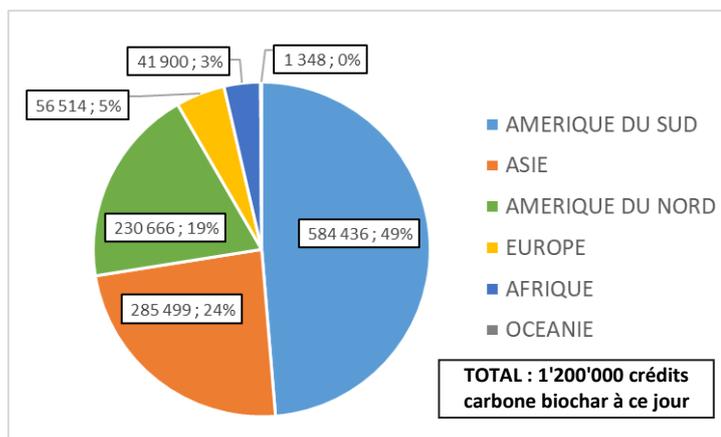


Figure 3 : Répartition des crédits carbone vendus par des projets de biochar selon les continents

3.2 Les types d'acteur du secteur du biochar

Comme expliqué dans le paragraphe **2. Méthodologie**, le secteur du biochar est complexe car il recoupe deux chaînes de valeur différentes : celle du biochar physique et celle des crédits carbone (**Figure 1**). Ainsi, 16 catégories d'acteur différentes ont été identifiées :

- **Fournisseur de biomasse** : Entité détentrice de biomasse disponible pouvant être transformée en biochar. Il peut s'agir d'agriculteurs familiaux, de grandes plantations, d'unités artisanales ou industrielles, de concessions forestières ou de réseaux d'assainissements communautaires par exemple. Le fournisseur peut soit vendre la biomasse, soit la mettre à disposition gratuitement, soit payer pour qu'on l'évacue. L'arrangement dépend du type de biomasse et d'éventuels avantages perçus par le fournisseur (production d'énergie, don de biochar, part de crédits carbone...). Il est fréquent que le fournisseur de biomasse ait son propre projet de production de biochar.
- **Equipementier** : Entreprise constructrice et distributrice d'équipements de pyrolyse ou autres technologies. La plupart du temps ces entreprises sont des filiales de groupes industriels spécialisés dans les équipements énergétiques. Sur un certain nombre de projets, l'équipementier détient lui-même le projet de production de biochar, souvent afin de démontrer la faisabilité de sa solution

³ Atmospheric carbon removal via industrial biochar systems: A techno-economic-environmental study, Fawzy et al. 2022

⁴ Plus d'informations concernant les méthodologies de certification, le marché des crédits carbone, et les potentielles évolutions de ce marché seront présentées dans le rapport dédié à cette thématique.



technologique. Les équipements artisanaux (foyers kon-tiki par exemple) sont souvent produits par des artisans ou de petites entreprises locales. *Ex : Stiesdal, NGE, PyroCCS, NetZero...*

- Producteur de biochar = développeur de projet : Entreprise en charge du projet de production de biochar. Elle se charge de collecter la biomasse et la transformer en biochar via la pyrolyse ou gazéification par exemple, avec des équipements adaptés. Les modèles de production peuvent être multiples (voir paragraphe 4). Cette entreprise se charge aussi de la commercialisation du biochar, ainsi que de l'obtention des certifications pour générer des crédits carbone et leur vente. *Ex : NetZero, Planboo, Interholco, Exomad Green, HUSK...*
- Certificateur : Ces entités mettent en place des standards, soit de « qualité », soit de crédits carbone. Pour cela elles publient des méthodologies affichant les exigences auxquelles il faut répondre, ainsi que les lignes directrices suivies par les auditeurs. *Ex : Puro.earth, CSI, Verra, Reverse, Isometric...*
- Auditeur : Ces entreprises réalisent les audits des projets de biochar selon un cahier des charges et des lignes directrices publiées par les certificateurs. La plupart du temps, les certificateurs font appel à des tiers pour la partie audit afin d'assurer un jugement neutre. *Ex : CERES-CERT...*
- Distributeur et/ou transformateur de biochar : Entreprises qui achètent du biochar brut soit pour le revendre via leur réseau (négoce), soit pour le transformer en un nouveau produit plus facilement commercialisable (voir paragraphe 5.1.1 et partie 7). *Ex : Circularity2, HUSK...*
- Bureau d'étude : Prestataires de services qui se chargent de monter tout le modèle du projet de biochar, de A à Z pour certains. Ils cumulent de l'expertise en ce qui concerne la technologie, les opérations, l'analyse de cycle de vie, le schéma de certification carbone, le système dMRV, et parfois même la commercialisation (physique et crédits carbone) et la recherche d'investisseurs. Ce sont donc des partenaires qui peuvent être pertinents pour des nouveaux entrants dans le secteur du biochar. Ces entreprises peuvent aussi être sollicitées pour réaliser les Due Diligences des acheteurs de crédits carbone et des investisseurs. *Ex : DSS+, Artio (compagnie d'assurance spécialisée en crédits carbone), Grain Ecosystem, Plant Village, CULA, PyroCCS, NetZero (peut proposer un montage de projet type « franchise »).*
- Marketplace / broker / trader carbone : Les marketplace sont des plateformes qui mettent en lien les producteurs de crédits carbone (CC) et les acheteurs. On peut parfois même acheter directement les CC sur la plateforme. Ces entreprises ont des experts qui analysent le besoin d'un acheteur et lui recommande un projet en particulier. Le broker est un acteur qui met en lien un projet de CC avec un acheteur. Le trader achète directement des CC pour les revendre aux acheteurs. Beaucoup d'entreprises cumulent ces 3 catégories. *Ex : Carbonfuture, Supercritical, Patch, Ceezer, Cloverly...*
- Utilisateur de biochar : Il s'agit de la personne/l'entreprise qui appliquera le biochar dans une « matrice ». L'option la plus évidente est l'application du biochar dans un sol agricole par un agriculteur, mais il peut aussi s'agir de l'incorporation du biochar dans un produit fertilisant par un producteur d'intrant, ou alors dans un substrat de plantation, ou un produit d'alimentation animale ou certains matériaux de construction (voir partie 5 pour toutes les applications). L'utilisateur achète ou alors reçoit gratuitement le biochar, la transaction doit être référencée dans le système de



monitoring du projet afin de pouvoir se conformer aux nécessités de traçabilité des standards de crédits carbone.

- Acheteur de crédits carbone : Entreprise ou groupe qui souhaite compenser son empreinte carbone en achetant des crédits carbone. Les acheteurs de CC biochar sont aujourd'hui surtout représentés par de grands groupes du secteur de la Tech. Ils préfèrent signer des contrats long-terme (offtake) sur de gros volumes de CC selon des critères spécifiques, et réalisent des Due Diligences afin de sélectionner des projets capables de délivrer des CC conformes à leurs attentes. On peut cependant aussi noter que de grands groupes de trading peuvent être intéressés de financer des projets biochar dans leurs chaînes de valeur, soit pour compenser leur empreinte carbone scope 3, soit pour augmenter la valeur ajoutée de leurs produits en communiquant sur leur aspect NetZero (ex : ECOM pour le café et le cacao).
- Observatoire / analyste : Entité en charge de l'analyse du marché du carbone et des évolutions des projets biochar. Certaines publient des bases de données (ex : CDR.fyi) et d'autres proposent des méthodologies d'évaluation comme des agences de notation (ex : Sylvera). On retrouve dans cette catégorie des acteurs de type marketplace/broker/trader qui publient aussi régulièrement des bulletins d'analyse et animent des conférences (Ex : Supercritical, Carbonfuture...).
- Plateforme multi-acteurs : Associations qui rassemblent tous les acteurs du secteur du biochar, comme une interprofession, et qui sont en charge d'apporter de l'information, de réaliser un lobby auprès des institutions et d'animer le réseau. Elles sont organisées au niveau national et rassemblées ensuite au niveau international (Ex : International Biochar Initiative – IBI, USBI, Biochar Europe, ANZBIG...).
- Investisseurs : Les investisseurs qui s'intéressent aux projets biochar ont des profils multiples. Il peut s'agir de fonds ou d'investisseurs privés spécialisés dans le secteur de l'énergie ou des infrastructures (Ex : le fonds STOA qui a investi chez NetZero), des fonds ESG (Environmental Social Governance) orientés sur les solutions climatiques et/ou l'agriculture (Ex : Carbon Removal Partners), ou alors des DFIs (Development Finance Institutions, Ex : Bio-invest, Proparco...).

Le secteur du biochar est donc complexe et implique un nombre important de types d'acteurs différents. Un listing détaillé, non-exhaustif, de ces acteurs est présenté en Annexe 1 : Liste (non exhaustive) des acteurs du secteur.

4. Les modèles de production de biochar

Le biochar est un produit issu de procédés thermo-industriels connus depuis déjà un certain temps (pyrolyse, gazéification). Ainsi avant de solliciter de l'attention médiatique et financière vis-à-vis de son potentiel de séquestration carbone, le biochar était avant tout un sous-produit de la génération d'énergie. Depuis l'avènement du marché des crédits d'élimination de CO₂ (*Carbon Removals*), permettant une source de revenus significative grâce à la vente de crédits carbone biochar (BCR – *Biochar Carbon Removal*), on voit l'apparition de modèles industriels avec le biochar comme production principale, et aussi des programmes visant à l'organisation d'un réseau de producteurs artisanaux. On peut classer les modèles de production de biochar selon ces 3 grandes catégories.



4.1 La production industrielle : énergie et biochar en co-produit

Les projets les plus anciens de biochar sont ceux faisant partie de cette catégorie, c'est-à-dire produisant du biochar comme un sous-produit de leur objectif principal : l'énergie. La pyrolyse et la gazéification sont des procédés permettant de produire de la chaleur et/ou de l'électricité.

On retrouve la plupart de ces projets en Europe étant donné que le coût de l'énergie et de la biomasse y sont importants. Ainsi valoriser les résidus agricoles, forestiers ou les boues d'épuration pour en faire de l'énergie s'y est vite développé.

Les plus gros projets de biochar rentrent aussi dans ce modèle car les installations pour produire de l'énergie doivent atteindre une certaine échelle pour être rentable, les quantités de biochar générées en co-produits sont proportionnellement importantes.

On retrouve 2 scénarios :

1. La collecte de biomasse aux alentours d'une centrale qui produit de l'énergie et la revend aux industries locales ou alors via un réseau de chaleur, ou sur le réseau électrique.
2. Un modèle circulaire ou « d'autoproduction » où une industrie utilise ses propres résidus pour produire de l'énergie qu'elle utilise ensuite dans ses propres procédés (chaleur pour des opérations de séchage ou de chauffe, électricité pour toute l'usine...).

Ce genre de modèle financier s'équilibre la plupart du temps de façon que les revenus liés à la production d'énergie payent les dépenses opérationnelles et permettent donc au projet d'être à l'équilibre, et les revenus issus de la vente des crédits carbone remboursent l'investissement et apportent les bénéfices sur le long-terme. Il faut aussi noter que ces projets peuvent aussi recevoir des financements Européens car ils participent à la décarbonation de l'industrie.

Il est rare que le biochar physique soit vendu, il est plutôt donné gratuitement. Cela est dû au fait que la commercialisation du biochar demande un investissement et une expertise supplémentaire qui ne sont pas incluses au projet initial. En effet, le *core business* de ces projets reste la production d'énergie, la gestion de la biomasse et la valorisation des CC.

Cas d'étude 1 : Agri Energy Vraa – Danemark

Il s'agit d'une usine de méthanisation qui collecte aux alentours à peu près 200'000 tonnes de biomasse issue de résidus agricoles et produit 13 millions m³ de biogaz. Les boues de la méthanisation sont séchées et transformées en pellets de fibre pyrolysés grâce à des réacteurs Stiesdal. Les syngaz ainsi générés sont utilisés dans le process de l'usine de biogaz et le biochar est redistribué aux agriculteurs.

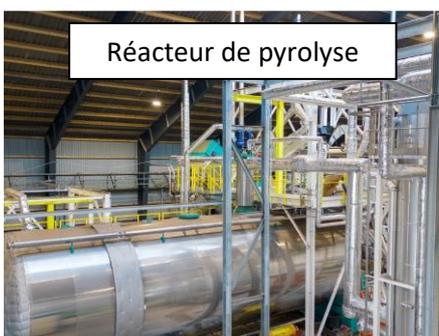
L'installation pourra transformer 40'000 t de fibre en 14'000 t de biochar par an, équivalent à 30'000 crédits carbone potentiels.



Vue aérienne du projet



Biomasse entrante



Réacteur de pyrolyse



Biochar en pellets

Figure 4 : Photos du projet biochar Agri Energy Vraa - Stiesdal SkyClean

Les avantages apportés par le projet de biochar à l'usine de biogaz sont multiples : des économies sont faites grâce à l'énergie produite par le syngaz, le biochar est plus simple à distribuer et à épandre pour les agriculteurs que les boues de méthanisation – surtout que le biochar est directement produit sous forme de pellets, très facilement distribué par les machines agricoles.

Cependant, un tel modèle repose sur la pyrolyse d'une biomasse très humide et difficile à traiter avant de pouvoir la pyrolyser. C'est la principale difficulté technique du projet qui pour l'instant a limité la production de biochar à 1'200 t par an. Mais les équipes sont confiantes d'atteindre les capacités totales de l'installation dans peu de temps. Une autre difficulté consistera à convaincre un assez grand nombre d'agriculteurs d'utiliser le biochar, mais cela ne semble pas un défi trop compliqué à relever d'après l'équipe du projet.

Cas d'étude 2 : Sonnenerde - Autriche

On peut aussi citer l'entreprise **Sonnenerde** qui est un des plus gros producteurs de compost et biofertilisants d'Autriche. L'entreprise collecte des résidus agricoles et des déchets verts municipaux pour la production de son compost. Elle a installé en 2023 des réacteurs de pyrolyse de l'équipementier NGE capables de transformer 4'000 t de biomasse qu'elle n'utilise pas pour son compost en chaleur utilisée pour le séchage de la biomasse et des boues, et en 1'200 t de biochar.

Sonnenerde a déjà réussi à vendre plus de 1'000 crédits carbone avec les certifications de Puro et CSI, via notamment la marketplace Carbonfuture et compte sur cela pour couvrir 20% de ses revenus.



Figure 5 : Photos du projet biochar Sonnenerde - NGE

La force de cette entreprise est qu'elle peut produire des intrants agricoles composés de compost et de biochar, et qu'elle bénéficie d'un savoir-faire et d'un réseau commercial déjà en place pour écouler des intrants agricoles. Le marché principal visé par Sonnenerde est le secteur des substrats (terreaux, etc.) notamment pour la plantation d'arbres pour le paysagisme urbain.

On peut aussi citer un des plus gros producteurs de biochar aux USA : Pacific Biochar, dont la production de biochar est réalisée par des centrales électriques à biomasse valorisant des résidus d'abattage forestiers en Californie. Le modèle est de modifier l'équipement des centrales pour permettre la production de biochar en même temps que la production d'énergie. Un billet d'information pour les investisseurs publiés par Blue Forest et Pacific Biochar propose un scénario financier de base pour un investissement de 4M\$ destiné à modifier une centrale biomasse de 25MW, avec un coût de la biomasse de 50\$/t et un prix de vente du biochar de 200\$/t et des CC de 80\$/t permettant de générer un TRI de 29%⁵. Ce scénario repose sur des hypothèses difficiles à valider (notamment le prix de vente du biochar et des CC) mais permet de se rendre compte de l'opportunité que représente la valorisation des résidus forestiers aux USA.

Observations sur le modèle industriel énergie/biochar

Ce modèle de production de biochar comme co-produit de la génération d'énergie présente comme avantages :

- ✓ L'équilibre financier est déjà atteint grâce à la valorisation de l'énergie ;
- ✓ La collecte de biomasse est assurée (si on utilise les déchets de l'usine) ;
- ✓ Peut bénéficier de subventions publiques en fonction des pays.

Mais il présente aussi les limites suivantes :

- ❖ Dépend d'un partenariat avec une usine / activité secondaire ;
- ❖ Potentiel manque de savoir-faire dans la commercialisation du biochar physique (car pas nécessaire à la santé économique du projet) ;
- ❖ Investissements importants car installations de pyrolyse sur mesure ;
- ❖ Selon les biomasses étapes parfois complexes de prétraitement avant pyrolyse.

⁵ Biochar Carbon Credit Market Analysis, Blue Forest Conservation, University of California, Pacific Biochar, Climate Action Reserve - 2022



4.2 La production industrielle : le biochar comme production principale

Comme indiqué en introduction de cette partie, les revenus générés par les crédits carbone de type BCR ont permis de rendre viables des business model reposant principalement sur la production de biochar (et non pas la production d'énergie comme en [4.1](#)). Les projets suivant ce modèle concentrent leurs efforts pour produire un maximum de quantités de biochar, tout en optimisant la logistique pour diminuer les coûts et augmenter la stabilité du biochar et donc le nombre de CC générés.

En effet, les standards de certification carbone pour le biochar reposent tous sur une Analyse du Cycle de Vie (ACV) du projet biochar pour calculer le nombre de crédits générés : on soustrait les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) associées à la logistique de collecte et prétraitement de la biomasse, la production du biochar et la logistique de distribution. Ainsi un élément clef des projets 100% axé sur la production du biochar est d'abaisser au maximum son empreinte carbone pour générer un maximum de CC. Pour cela :

- Logistique d'approvisionnement :
 - Limiter la zone de collecte de biomasse à un rayon proche de l'unité de pyrolyse (on parle d'une fourchette entre 60 et 200km) pour éviter les longs trajets ;
 - Optimiser la flotte de véhicules pour transporter un maximum de biomasse et/ou biochar avec un minimum de véhicules ;
 - Mettre en place un système d'économie circulaire où le fournisseur de la biomasse (par exemple un réseau d'agriculteurs) est aussi l'utilisateur du biochar afin d'éviter les trajets à vide : à l'aller le camion amène du biochar et il revient avec de la biomasse ;
- Production du biochar :
 - Utiliser des technologies avancées pour limiter les émissions de GES ;
 - Valoriser les syngaz issus de la pyrolyse pour alimenter les besoins en énergie du processus séchage de la biomasse et de pyrolyse, pour limiter la consommation d'énergie ;
- Logistique de distribution :
 - Limiter le nombre d'utilisateurs et la zone de distribution (même fourchette 60-200km) ;
 - Idem système d'économie circulaire cité plus haut.

Les clefs de succès de ce modèle de production sont d'assurer la **commercialisation du biochar physique** en investissant dans la création/pénétration des marchés de consommation (voir partie [5](#)) et la **commercialisation des CC**.

Une autre clef de succès est aussi de valoriser le mieux possible les sous-produits de la production de biochar : les syngaz (valorisation en chaleur) et la biohuile (production de biocarburants ou bien utilisations dans l'industrie chimique).



Ce sujet est cependant sensible étant donné qu'un des principes principaux de la finance climat (et donc des crédits carbone) est l'additionnalité. C'est-à-dire que les projets de biochar bénéficiant de CC doivent démontrer qu'ils ne seraient pas rentables sans les CC. Or la vente du biochar et de ses sous-produits apportent des sources de revenus qui peuvent être considérées comme trop importantes par les certificateurs.

Ainsi les projets reposant principalement sur la production du biochar dépendent d'un savant équilibre entre la maximisation des revenus issus des produits physiques (biochar, syngaz, biohuile) et des revenus issus des crédits carbone. Les entreprises contactées dans le cadre de cette étude ont indiqué que la vente des CC représente entre 20 à 60% de leurs revenus, selon leurs stratégies.

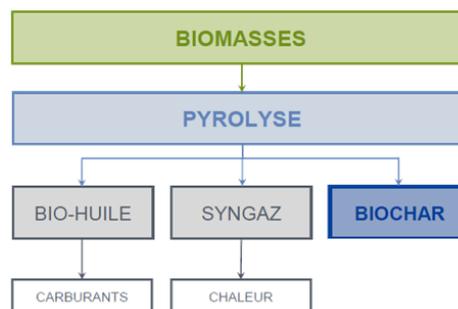


Figure 6 : Sous-produits de la production de biochar via la pyrolyse

Cas d'étude 3 : NetZero – Brésil (+ prospection dans les pays du Sud)

NetZero est une entreprise qui développe des projets de production de biochar, spécifiquement dans les pays du Sud. A ce jour elle a monté une unité au Cameroun, ainsi que 2 unités au Brésil. 2 autres unités sont prévues au Brésil, et des projets sont en développement dans d'autres pays tels que la Côte d'Ivoire. Le modèle mis en place par NetZero se veut le plus circulaire possible : il s'agit de collecter de la biomasse résiduelle d'une chaîne de valeur et de distribuer le biochar produit dans cette même chaîne de valeur, via des partenariats stratégiques.

Leur 1^{er} et 2nde unités au Brésil sont alimentées par de la parche de café, sous-produit de la transformation du café qui est normalement brûlé ou laissé en décomposition à l'air libre par les producteurs. Cette biomasse est récupérée gratuitement puis revendue sous forme de biochar aux mêmes caféiculteurs avec un prix abordable. Afin de sécuriser son approvisionnement et sa distribution, NetZero a réalisé un partenariat avec la plus grande coopérative de café de la zone, signant un contrat avec chaque caféiculteur stipulant les conditions du partenariat. En plus de cela, l'entreprise a investi dans un schéma d'expérimentations au champ pour obtenir des données robustes capables de convaincre les caféiculteurs.



Figure 7 : Photos du projet biochar de NetZero au Brésil

La 1^{er} usine de NetZero du Brésil a pour objectif de produire 4'000 t de biochar par an, et a déjà vendu plus de 1'000 crédits carbone, la 2nde usines aura à peu près la même capacité. L'usine du



Cameroun est plutôt un projet pilote. NetZero a pour ambition de démultiplier le nombre d'unités dans les pays du Sud, dans différentes chaînes de valeur pertinentes.

La force du modèle de NetZero repose dans son expertise à analyser les chaînes de valeur pour (i) identifier dans quelle chaîne de valeur le biochar apporte une solution pertinente (ii) avec quel partenaire monter le projet (iii) sous quelles conditions contractualiser le fournisseur de biomasse et les utilisateurs de biochar. NetZero a aussi développé sa propre solution technologique pour diminuer un maximum les émissions de GES lors de la production de biochar.

Cas d'étude 4 : HUSK – Cambodge et Vietnam

HUSK produit du biochar en Asie du Sud-Est depuis 2019, leurs opérations sont au Cambodge et au Vietnam. Au Cambodge l'entreprise récupère la balle de riz comme biomasse à 40\$/t et la transforme en biochar dans leurs 2 unités industrielles de pyrolyse chacune produisant 1'000 t par an et leurs volumes sont en croissance. Une 3^e unité est prévue pour 2025.

HUSK produit aussi du compost (même si ce n'est pas leur activité principale) afin de pouvoir concevoir et vendre des fertilisants composés de biochar et de compost (2'500 t par an), ayant de plus forts impacts agronomiques que du biochar pur. En effet, HUSK doit apporter une réelle solution rentable à court terme aux riziculteurs, et sans augmenter leurs coûts de production, pour les convaincre. Ainsi leurs produits permettraient d'améliorer les rendements et d'augmenter le revenu net du producteur. Ces produits sont destinés aux producteurs de riz, café, anacarde, maraichage, ou les cultures de type manioc ou canne à sucre.



Figure 8 : Photos du projet biochar de HUSK

Le business model de HUSK repose encore plus sur la vente de biochar (fertilisants à base de biochar) que sur celle des crédits carbone (seulement 10-20% de leurs revenus). La stratégie de l'entreprise est donc fortement orientée sur la commercialisation de leurs produits fertilisants, avec beaucoup d'investissements en R&D ainsi qu'en distribution.

Il s'agit ici d'un modèle nécessitant plus d'investissement et de temps avant d'atteindre la rentabilité, étant donné que le succès du projet repose sur le développement du réseau commercial. Cependant il est plus résilient que les modèles dépendant en grande partie de la vente des crédits carbone, puisqu'il repose sur un marché « physique » des fertilisants plutôt que sur le marché du carbone qui est très volatile).

On peut aussi citer d'autres exemples tels que :



Interholco (IHC) en RDC : Entreprise forestière valorisant ses résidus de scierie et d'exploitation forestière en biochar. Projet qui génère le plus de crédits carbone BCR en Afrique à ce jour, avec une stratégie et une compréhension avancée vis-à-vis du marché des crédits carbone. Leur modèle est peu coûteux car ils n'achètent pas leur biomasse, mais ne repose que sur les CC puisqu'ils ne vendent pas leur biochar mais l'épandent dans leurs plantations forestières.

PyroCCS : Entreprise ayant un projet de valorisation de la biomasse issue de buissons envahissants en Namibie (**Figure 9**). Utiliser les espèces invasives comme biomasse permet de s'assurer un gisement de grande ampleur et concentré dans un rayon géographique peu étendu. PyroCCS investit aussi beaucoup dans la commercialisation de produits de biochar en amendement de sol, réussissant aujourd'hui à vendre la totalité de leur production (2'000 t/an) à un prix avoisinant les 100\$/t. Ils ont aussi un projet artisan-pro en Inde (voir paragraphe suivant) ; et vendent leur solution technologique ainsi que l'expertise pour monter un projet de CC biochar à d'autres porteurs de projet.



Figure 9 : Photo de l'unité de PyroCCS en Namibie

Observations sur le modèle industriel 100% biochar

Les avantages de ce modèle sont les suivants :

- ✓ Modèle plus flexible que le précédent car ne reposant pas sur la nécessité d'un partenariat avec un industriel ou un opérateur réseau pour valoriser l'énergie ;
- ✓ Tous les efforts du projet sont concentrés sur les thématiques biochar, ainsi les équipes sont moins dispersées et plus spécialisées ;
- ✓ Modèle pouvant se décliner dans n'importe quelle chaîne de valeur et géographie ;
- ✓ Si la stratégie du projet est plus orientée sur la commercialisation du biochar physique, meilleure résilience face à la volatilité du marché du carbone ;
- ✓ Projet et technologie facilement répliquable = haut potentiel de scalabilité.

Ce modèle présente aussi certains défis :

- ❖ Les gisements de biomasse ne sont pas assurés, il convient donc de bien les analyser et de trouver des partenariats pertinents ;
- ❖ La logistique de collecte et distribution est déterminante (voir explications sur l'ACV) ;
- ❖ Pour les projets dont l'équilibre financier repose beaucoup sur les crédits carbone, il faut une maîtrise complète du sujet, et prévoir la volatilité des prix (probablement descendant dans les années à venir) ;
- ❖ Les débouchés du biochar physique sont variés mais aucun marché n'est aujourd'hui mature, c'est-à-dire qu'il faut créer la demande et faire face à un manque de connaissance et de confiance des acheteurs (voir partie 5). Il faut donc prévoir un budget important consacré à créer et pénétrer ces marchés (R&D, commercial, communication, marketing...).

4.3 La production artisanale

On qualifie « d'artisanale » la production de biochar en fonction du type de technologie utilisée (petit four type kon-tiki - **Figure 10**), du profil du producteur de biochar (un artisan ou agriculteur,



pas une entreprise) et du volume de biochar produit (varie beaucoup mais le maximum imposé par le certificateur CSI est de $100\text{m}^3 \approx 40\text{ t/an}$ par artisan).



Figure 10 : Photos de fours Kon Tiki en Namibie (Source : Omiti Biochar)

Mais avant tout, les projets de production artisanale se différencient des autres par leur type spécifique de certification de crédit carbone « Artisan C-sink » - standard détenu par Carbon Standard International (CSI – la même entreprise qui détient les standards EBC, EBC C-sink et Global C-sink, principal certificateur en volume de crédits carbone, mais derrière Puro en termes de valeur). Cette certification est moins stricte que les standards de CC pour les projets industriels, et cela alimente un débat concernant la « qualité » de ces crédits carbone et donc leurs prix futurs².

Le modèle des projets artisanaux est bien différent des projets industriels : il consiste en la distribution d'équipements de pyrolyse low-tech peu coûteux et la formation des utilisateurs de ces équipements. Le porteur de projet met aussi en place un système de suivi (dMRV = *digital Monitoring Reporting and Verification*) pour assurer la traçabilité des volumes de biochar produits par les artisans, et leur application. La plupart du temps ces utilisateurs sont des agriculteurs qui vont directement utiliser le biochar dans leurs champs. L'entreprise en charge du projet reçoit ensuite des CC qu'elle vend et dont elle partage la valeur avec les artisans.

Cas d'étude 5 : Recycoal – Rwanda

Recycoal est une entreprise allemande qui met en place des projets de biochar artisan en Afrique, notamment Rwanda, Tanzanie et Sénégal. Le projet au Rwanda accompagne 250 producteurs à la production de biochar artisanal à partir des résidus de culture de leurs champs.

Il leur est fourni un four de type Kon-Tiki ainsi qu'une formation pour bien gérer la production. Recycoal utilise un dMRV appelé PlantVillage où sont recensées toutes les informations déclarées par les producteurs artisans (volumes de biochar produits, localisation des parcelles où est appliqué le biochar, photos de l'application, etc.).

D'après l'équipe de Recycoal, chaque producteur individuel a le potentiel de produire entre 0,5 et 20 tonnes de biochar par an (pour les plus grands) avec ses résidus de culture. En moyenne ces agriculteurs cultivent autour de 5 ha et produisent 1 à 2 t de biochar par an.



Figure 11 : Photos du projet de biochar artisanal de Recycoal au Rwanda

Recycoal génère alors des crédits carbone avec le standard Artisan C-sink. Le modèle consiste à partager la valeur des CC à hauteur de 50% avec les producteurs, et de les payer en avance. L'équipe estime pouvoir vendre ses CC aux alentours de 150€/crédit, permettant aux agriculteurs de gagner entre 100 et 700€ par an, ce qui est significatif dans le revenu de leur ménage. Le reste de la valeur des CC est gardé par Recycoal pour payer la construction des Kon-Tiki (200-400€ par four produit localement), ainsi que leur équipe technique qui s'occupe de l'accompagnement.

Le projet est récent mais l'équipe estime déjà que la quantité de biochar produite est autour de 1000 t par an. Pour le moment seuls 40 t ont permis la génération de crédits carbone. Recycoal constate que la demande pour ce genre de crédits carbone reste faible et les commercialiser est un défi.

D'autres projets artisan plus anciens ont déjà vendu et délivré (on peut vendre un CC avant qu'il soit généré = délivré) un grand nombre de crédits carbone tels que Carboneers en Inde (120'000 CC vendus et 50'000 délivrés), Varaha en Inde (122'000 CC vendus et 15'000 délivrés) ou alors les projets de Planboo au Ghana, en Thaïlande ou en Namibie. On peut noter que 20% des crédits vendus à ce jour sont des crédits artisans et que ce chiffre pourrait atteindre plus de 60% en 2026².

Cas spécifique du modèle « Artisan Pro »

Un autre type de modèle intermédiaire entre artisan et industriel est le modèle Artisan-Pro. Il s'agit toujours de collecter de la biomasse auprès d'agriculteurs familiaux, mais cette fois le biochar est produit par une structure locale ou PME, supervisée et formée par l'entreprise qui porte le projet. Cela permet de centraliser la production de biochar à un seul endroit (le volume annuel peut d'ailleurs être supérieur à 100m³), assurant un meilleur suivi et exigence qualité du biochar et une meilleure traçabilité. Ce modèle bénéficie d'un standard particulier, toujours détenu par CSI : Artisan-Pro C-sink. Il est plus strict que le standard Artisan C-sink et les porteurs de projet espèrent donc être moins impactés par les doutes des acheteurs de crédits carbone concernant la robustesse de la méthodologie.

4.4 Réflexions concernant les gisements de biomasse exploités pour le biochar

La logistique de collecte et prétraitement de la biomasse disponible est un critère clef pour la conception d'un projet de production de biochar. Cela va influencer très fortement sur (i) ses coûts de production : l'achat de la biomasse et la logistique de collecte pèsent très lourd dans les business



plans ; (ii) la technologie à employer : quelles pratiques, quelle dimension, quel investissement ; (iii) la qualité des biochars produits et donc leurs débouchés commerciaux ; (iv) la quantité de crédits carbone générés : les émissions de GES produites à partir de la collecte, la production et la distribution du biochar sont prises en compte dans l'ACV du projet.

Ainsi il faut savoir identifier quels gisements sont viables et représentent une opportunité intéressante pour une valorisation en biochar. Avant la conception du projet il faut mener une étude de gisement qui couvre :

1. Disponibilité et prix du gisement : est-ce que la biomasse est valorisée/utilisée par d'autres acteurs ? Est-ce que le fournisseur de biomasse veut la vendre (et à quel prix) ou bien serait-il prêt à payer pour l'évacuer ?
2. Quels sont les gisements de biomasse disponibles à moins de 100km de la zone d'implantation de l'usine de production de biochar ;
3. Est-ce que cette biomasse est éparpillée aux champs (biomasse agricole ou forestière), concentrée dans des unités de transformation (biomasse industrielle) ou au niveau d'unités d'assainissements (boues d'épuration) ;
4. Quantification des gisements : quels volumes en fonction de la saisonnalité, quelle évolution de ces volumes sur les prochaines années ;
5. Qualification du gisement : quel type de biomasse (taux d'humidité, granulométrie, contaminants...) ;
6. Quel schéma logistique le plus optimisé possible pour collecter cette biomasse ?

Toutes ces questions principales doivent être abordées et l'étude doit approfondir au maximum les éléments descriptifs du gisement, et de potentiels autres gisements dans le cas où l'on puisse alimenter le projet avec des biomasses secondaires.

Certaines clefs de succès peuvent être tirées des projets biochar interviewés dans cette étude :

- Toujours privilégier une biomasse industrielle (c'est-à-dire concentrée au niveau d'une unité de transformation, ex : coques d'anacarde / résidus de scierie / parche de café) à des biomasses agricoles (éparpillée dans les champs des planteurs, ex : cabosses de cacao). En effet comme dit plus haut, la logistique de collecte est cruciale, et collecter les biomasses dans les champs d'agriculteurs familiaux est un défi qui rendent les projets non viables. Ce n'est pas forcément le cas pour de grandes plantations commerciales. De plus, les biomasses industrielles sont souvent considérées comme des déchets par les usines, elles sont donc prêtes à s'en séparer gratuitement, ou bien même payer pour les évacuer. Ce n'est pas le cas des agriculteurs qui peuvent toujours valoriser les résidus de culture pour la fertilité de leurs champs.
- Faire bien attention de sonder si d'autres projets de valorisation, notamment énergétique, sont en développement et comptent collecter cette biomasse. Les très gros gisements (>50'000 tonnes/an) sont souvent capturés par des projets de centrales biomasse, souvent subventionnées et pouvant donc provoquer une concurrence difficile à égaler.
- Si possible, sécuriser son gisement par voie contractuelle en réalisant un partenariat avec le fournisseur de biomasse (si c'est une entité légale) ou en mettant en place des contrats avec un réseau d'agriculteurs. Le contrat doit apporter des conditions fort satisfaisantes pour



assurer sa résilience (prix d'achat de la biomasse, conditions d'échange contre biochar, autres avantages...).

- Mettre en place des étapes de prétraitement de la biomasse pour faciliter et optimiser les processus de pyrolyse / gazéification (séchage, découpage, pelletisation...).

En fonction des géographies et des modèles de production, on retrouve certains gisements de façon prépondérante dans les projets de biochar :

- En Europe et en Amérique du Nord, là où la biomasse est plus chère et où les autres valorisations sont plus développées les gisements utilisés par les projets de biochar sont :
 - Les résidus forestiers, notamment de chutes de scierie. Ce type de gisement est assez abondant et difficilement valorisable autrement (petites quantités pour centrale biomasse par exemple) – ou alors on retrouve des projets mêlant production d'énergie et biochar.
 - Les déchets municipaux. La plupart du temps incinérés, leur transformation en biochar est possible, mais il s'agit de biomasses mixtes et parfois contaminées qu'il faut trier et prétraiter.
 - Les boues d'épuration, abondantes mais humides et peu facile à prétraiter.
 - Sous-produits de certaines filières spécifiques : ceps de vignes en France, noyaux d'olive en Espagne, élagages fruitiers...
- Dans les pays du Sud, les gisements sont plus diversifiés :
 - La balle de riz, surtout en Asie où le décorticage du riz se fait dans de grandes rizeries.
 - Parche de café, surtout en Amérique latine, où le café est transformé soit dans des plantations commerciales avec des volumes importants, soit dans des coopératives.
 - Coques d'anacarde, en Côte d'Ivoire, mais potentiellement au Vietnam et en Inde aussi.
 - Dans les projets de type Artisan, on retrouve les résidus de culture les plus abondants : tiges de maïs et de coton par exemple.
 - De façon plus secondaire et localisée on peut aussi citer les espèces invasives telles que le bambou en Asie ou les *encroaching bush* en Namibie et Afrique du Sud. Les résidus de la filière coco sont aussi utilisés, mais il existe déjà d'autres voies de valorisation plus développées pour cela.

5. Les débouchés du biochar physique

Un des enjeux principaux du secteur du biochar pour son développement est l'écoulement des biochars. En effet, quel que soit le modèle de projet (vente ou don du biochar), le biochar doit être introduit dans une « matrice » (sol, intrant agricole, matériau de construction non combustible) pour justifier de la génération d'un crédit carbone. Tous les projets doivent donc trouver un débouché pour leur biochar. On parle ici de débouché ou de marché « biochar physique » pour différencier cette thématique du marché des crédits carbone biochar.



Bien que chaque projet ait la nécessité « d'écouler » le biochar, il est vrai que ce sont les modèles de production (voir partie 4) reposant sur la vente du biochar, ou de produits contenant du biochar, pour lesquels l'existence de marchés de commercialisation sont nécessaires. En effet les autres modèles qui ne reposent que sur la vente des crédits carbone ont moins de pression sur ce point (mais ils dépendent cependant du marché du carbone qui est très volatile).

Ainsi il est important d'identifier les différents débouchés possibles pour le biochar, qui est un matériau assez polyvalent et qui trouve des utilisations dans plusieurs secteurs. Ci-dessous sont donc présentés ces débouchés, leurs avantages, limites, verrous et potentiels de développement futurs.

Dans leur étude du secteur du biochar 2023, l'IBI et l'USBI ont consulté les producteurs de biochar par rapport à leur marché cible et ont ainsi mis en évidence les secteurs principaux où se situe la demande en biochar (Figure 12).

Dans cette même étude, les freins majoritaires pour l'essor du biochar identifiés par les acteurs du secteur sont en première position la faible connaissance des consommateurs vis-à-vis du biochar et de ses utilisations, et la demande insuffisante pour le biochar physique (Figure 13).

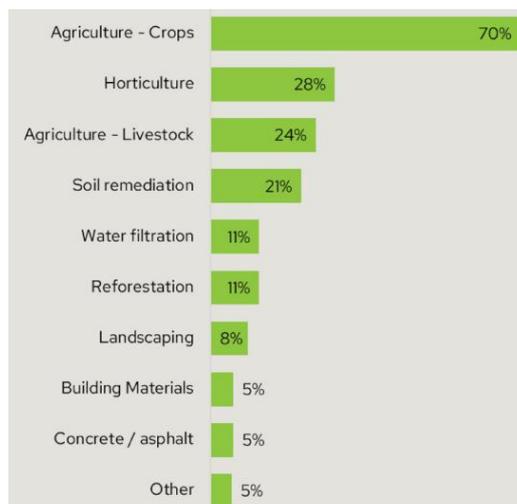


Figure 12 : Débouchés des producteurs de biochar déclarés par les répondants de l'étude 2023 de l'IBI

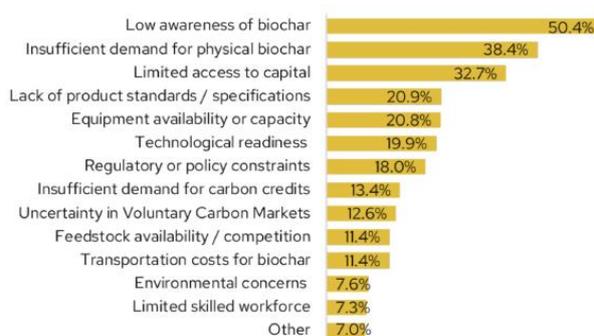


Figure 13 : Freins principaux à l'essor du biochar

5.1 Agriculture, foresterie et horticulture

Le premier marché pour le biochar reste de façon prédominante l'agriculture au sens large (incluant l'élevage et l'horticulture). Comme on peut le voir sur la Figure 12 les cultures agricoles, l'horticulture (pépinière, maraîchage, jardinage) et l'élevage sont des débouchés principaux pour respectivement 70%, 28% et 24% des producteurs de biochar.

Que ce soit en amendement du sol, en substrat ou bien en intrant combiné avec des fertilisants ou des apports organiques, le biochar valorise au mieux ses propriétés quand on l'introduit dans des sols cultivés et dégradés car il répond à des enjeux clef (amélioration de la porosité du sol, augmentation du pH du sol, adsorption de nutriments, augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, stimulation de la vie microbienne...). Le sol est aussi la destination (« la matrice ») la plus stable pour le biochar en termes de puit de carbone car il n'est plus accessible à l'incinération.

Le biochar peut être valorisé de différentes manières par ces secteurs :



5.1.1 Amendement du sol

Les propriétés du biochar, comme acceptées par le consensus scientifique actuel, en tant qu'amendement du sol ont été présentées dans la [REVUE DES PRATIQUES DE PRODUCTION](#). On peut notamment citer 4 actions du biochar qui répondent à des enjeux agricoles forts :

- Augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, qui permet de rendre les systèmes de production plus résilients face aux épisodes de sécheresses et de diminuer les coûts d'irrigation, deux préoccupations majeures de beaucoup d'agriculteurs dans le monde qui sont confrontés aux impacts du changement climatique.
- Augmentation du pH du sol, permettant une meilleure disponibilité des nutriments et améliore de façon générale les processus de nutrition et de santé des plantes.
- Adsorption des nutriments, c'est-à-dire une capacité de « sécuriser » les nutriments contre le lessivage et de les libérer lentement sur le long-terme, les rendant plus accessibles aux plantes cultivées. Cette action est surtout appréciée pour les systèmes de production utilisant des fertilisants dont la majorité est perdue par lessivage. Ainsi le biochar permet d'optimiser les nutriments apportés et donc de baisser les coûts d'achat de fertilisant, ce qui est particulièrement pertinent dans le contexte actuel et futur d'augmentation structurelle des prix des fertilisants.
- Stimulation de la vie microbienne via plusieurs mécanismes, permettant d'améliorer les processus de fertilité naturelle du sol, de vitalité des cultures et d'immunité face à des agents pathogènes. Cette action est appréciée par les systèmes de production reposant sur une approche naturelle de l'agriculture (bio, conservation, etc.).

Il faut cependant souligner que ces **actions du biochar, bien qu'acceptées par la majorité de la sphère scientifique, dépendent énormément des caractéristiques du biochar (sa « qualité »), de son mode et dose d'application, du type de sol et du système d'exploitation** (type de culture et itinéraire technique agricole). Ainsi il est téméraire d'avancer des bénéfices de l'utilisation du biochar dans des contextes spécifiques, sans un **protocole robuste de tests dans des conditions réelles (aux champs et à long terme)**.

L'utilisation en amendement du sol est cependant aujourd'hui le débouché principal des projets de production de biochar, et c'est aussi dans ce secteur que la majorité des projets souhaitant commercialiser du biochar investissent en R&D.

On peut noter que le biochar reste un intrant très méconnu par les agriculteurs, et cela dans le monde entier (même s'il est plus connu aux USA). Le succès de toute tentative de commercialisation du biochar en amendement « brut » dépend donc d'un investissement en R&D, communication et appui technique. Il en va de même pour tout type d'intrant, voir les stratégies des grands distributeurs d'intrants agricoles : réseau étendu de commerciaux, financement de tests, etc. Les producteurs actuels manifestent une difficulté à écouler ce type de produit, nécessitant donc des efforts importants de commercialisation ([Figure 14](#)).

**Promotion Biochar
2+1 gratuite**

Achetez deux BigBags et
recevez un autre BigBag gratuitement.



Figure 14 : Promotions de biochar

Pour le moment, les filières agricoles pour lesquelles les produits à base de biochar ont le plus d'attrait sont celles avec le plus de valeur ajoutée (vignobles, fruitiers, maraîchage aux USA et Europe, et café par exemple en Amérique latine) et qui sont les plus sensibles aux changements climatiques. On peut prendre l'exemple des caféiculteurs du Brésil qui rencontrent de grandes difficultés dues aux périodes de sécheresses de plus en plus fréquentes et longues (voir [Cas d'étude 3 : NetZero](#)).

On peut aussi noter comme marchés potentiels les projets de plantations forestières (qui utilisent des intrants pour conditionner les sols à recevoir les plantules d'arbres), de reforestation (qui pourraient renforcer leur image de durabilité en employant du biochar) et d'agroforesterie.

Etant donné les quantités nécessaires à appliquer par hectare (il est souvent avancé entre 5 et 20 tonnes par hectare, idéalement tous les 3-5 ans), le meilleur conditionnement pour vendre le biochar en amendement du sol est en big bag de 1 tonne ou en vrac, selon le transport ([Figure 15](#)).



Figure 15 : Annonce commerciale pour du biochar

5.1.2 Fertilisant combiné

Bien que le biochar ait un impact agronomique positif quand il est appliqué brut dans le sol, particulièrement dans les sols très acides et secs (en fonction des cas), ses caractéristiques en font aussi un excellent composant pour des fertilisants combinés. En effet, plusieurs projets valorisent leur biochar directement associé à des intrants organiques tels que du compost (voir [Cas d'étude 4 : HUSK – Cambodge](#)). Il faut noter que ces projets doivent de ce fait développer une expertise et une activité parallèle de production de compost qui vient s'ajouter à l'activité de production de biochar.



Figure 16 : Gamme de produits de l'entreprise HUSK

Formulé comme un fertilisant, le biochar est plus facile à vendre aux agriculteurs car il répond à plusieurs enjeux dont les besoins nutritionnels court-terme des plantes (alors que l'amendement du sol a un effet considéré plus long-terme). C'est pourquoi les producteurs de biochar voient les fertilisants comme la meilleure opportunité commerciale du biochar dans le futur (Figure 17).

En ce qui concerne la fixation du prix, les producteurs de ce genre de produits à base de biochar ont évoqué devoir s'aligner sur les prix pratiqués pour les autres fertilisants, à effet égal (souvent évalué selon la dose de nutriments NPK apportés – voir plus bas). L'argument de vente du biochar étant qu'il permet de diminuer les apports en fertilisants, le prix est fixé en fonction du % d'économie réalisé par les producteurs. Cette méthode doit cependant être appuyée par des résultats de tests.

Un autre modèle de commercialisation peut être de vendre le biochar directement à des producteurs et distributeurs d'intrants afin qu'ils l'utilisent eux-mêmes en le mélangeant à leurs produits. Cette opportunité serait idéale car ces acteurs ont déjà l'expertise de la commercialisation d'intrants agricoles, permettant au producteur de biochar d'éviter d'allouer des ressources à ce travail et de se concentrer sur son activité de production de biochar.

Plusieurs producteurs d'intrants internationaux ont été contactés dans le cadre de cette étude de marché, et ils ont tous **manifesté peu d'intérêt vis-à-vis du biochar**. Les arguments avancés sont souvent le manque de recul et de littérature scientifique. On peut aussi supposer que l'effet de baisse des besoins en fertilisation apporté par le biochar ne va pas dans le sens du modèle économique de ces acteurs.

En tout cas il en va de la sorte pour les producteurs d'intrants produisant eux même l'azote de leurs fertilisants, les distributeurs qui doivent acheter l'azote sont probablement plus enclins à incorporer du biochar puisque cela pourrait baisser leurs coûts de production.

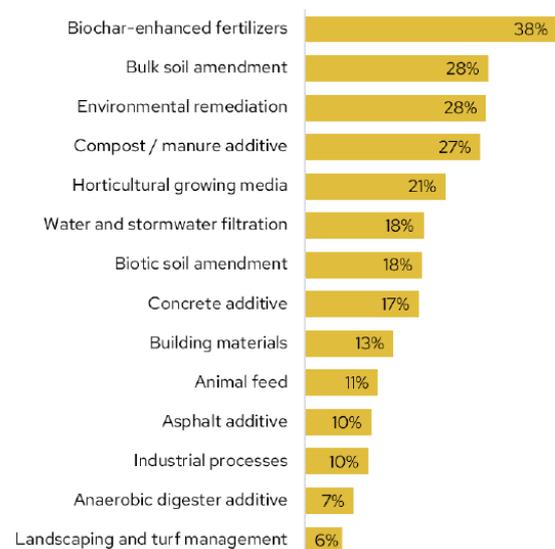


Figure 17 : Produits les plus intéressants à explorer pour la vente de biochar d'après les acteurs du secteur



Ce type de partenariat semble toutefois rester une des opportunités idéales pour la commercialisation de biochar. Les projets de biochar devraient continuer à explorer cette piste, et notamment avec l'angle de décarbonisation / durabilité qui peut attirer le secteur des intrants. En effet, notamment depuis la déclaration de Nairobi, les producteurs de fertilisants sont de plus en plus sous pression pour trouver des solutions permettant de baisser leur empreinte carbone, et d'améliorer l'efficacité des nutriments de leurs produits. Dans ce contexte, le biochar semble être une voie très intéressante.

De plus, il semblerait que les entreprises se concentrant sur le mélange des fertilisants soient face à des difficultés pour se fournir en matières inertes, nécessaires à leurs mélanges. Là aussi le biochar pourrait être un composant intéressant pour ce type d'entreprises.

5.1.3 Substrat / supports de culture

Le biochar peut être utilisé dans les mélanges pour produire des supports de culture, utilisés principalement par les pépinières, pour les plantes ornementales, le jardinage mais aussi par l'agriculture hors-sol (**Figure 18**). En effet, les qualités nécessaires à un bon substrat sont (i) la porosité (ii) la capacité de rétention d'eau (iii) la stabilité dans le temps (iv) l'apport en éléments nutritifs et (v) l'innocuité – c'est-à-dire l'absence de toxicité ou d'éléments pathogènes. Toutes ces caractéristiques sont mises en avant pour le biochar.

Ces secteurs, bien que beaucoup plus petits que le secteur agricole, présentent tous des taux de croissance importants dans les pays occidentaux, poussés par une augmentation des activités de jardinage post-COVID et de l'agriculture urbaine et hors-sol (notamment en containers).

Dans le cas des pépinières, le biochar est un candidat sérieux en tant que substitut de la tourbe qui est un composant très controversé à cause de l'impact très négatif qu'a son extraction sur l'environnement et la biodiversité⁶.



Figure 18 : Publicité biochar pour terreau

Pour les terreaux de culture, le biochar est aussi un matériau plus léger que l'argile ou la terre, et qui peut être moins cher que l'import de fibres de coco. Il faut cependant noter que pour la séquestration carbone, le biochar mélangé aux terreaux ne peuvent pas générer de crédits carbone dans les pays où les déchets sont majoritairement incinérés. En effet les standards considèrent que les terreaux des plantes ornementales sont brûlés et que le carbone contenu dans le biochar repart donc dans l'atmosphère.

5.1.4 Alimentation animale

Les caractéristiques physico-chimiques du biochar en font aussi un très bon additif pour l'alimentation animale (amélioration de la digestion, fixation et élimination des toxines). Le biochar peut être ajouté à hauteur de 0,5% à 2% de la ration alimentaire. Cette utilisation est encore peu connue, mais commence à gagner en visibilité dans les pays où l'élevage est important (UE, Australie,

⁶ Eviter l'utilisation de la tourbe en jardinage – Office Français de la Biodiversité ([lien](#))



Nouvelle Zélande). Il faut noter que les avantages potentiels du biochar utilisé dans l'alimentation animale sont plus prononcés chez les animaux souffrant de maladies ou malnutrition, souvent dans les pays en voie de développement.

La croissance de cette utilisation du biochar dépend aussi des réglementations car dans certains pays ce qui peut être ajouté à l'alimentation animale est régulé de façon stricte. Il existe aussi des certifications telles que GMP+ ou EBC-Feed qui garantissent l'innocuité et la qualité du produit en tant qu'aliment pour les animaux.



Figure 19 : Publicité pour du biochar comme additif en alimentation animale en Suisse

5.2 Paysagisme et dépollution/récupération de sols

Les utilisations du biochar comme substrat (5.1.1) ou amendement de sol (5.1.2) sont aussi pratiquées dans des secteurs non-agricoles tels que le paysagisme urbain (comme substrat pour les arbres, pelouses et plantes ornementales), l'enfouissement des déchets (comme couche pour recouvrir les déchets), les remblais miniers (remplissage des trous laissés après l'exploitation minière), la dépollution des sols⁷ (suite à une exploitation industrielle) ou bien la récupération de sols (dans le cadre d'une compensation liée à un projet occupant de grandes surfaces tel que minier).

Certains des projets de biochar basés en UE interrogés dans cette étude ont témoigné que le marché des substrats pour le paysagisme est là d'où provient leur principale demande (Figure 20). En particulier, la méthode de plantation appelée Tranchée de Stockholm, améliorant le développement et la survie des arbres urbains, ainsi que la gestion de l'eau avec du biochar est en train de se développer.



Figure 20 : Publicité pour du biochar ciblant le paysagisme

⁷ Plus de détails sur l'utilisation du biochar pour la décontamination des sols sur le site [biochar-zero](https://www.biochar-zero.com)



5.3 Matériaux de construction

Beaucoup de recherches sont en cours concernant l'utilisation du biochar dans des matériaux de construction tels que le ciment, le plâtre ou alors l'asphalte. C'est un secteur qui représente une demande très importante en termes quantitatifs mais pour lesquels les prix payés aux composants sont très faibles (à part pour des matériaux spécifiques de niche).

Le débouché pour lequel il y a eu le plus d'avancées pour le biochar est le béton. Le secteur de la construction s'intéresse au biochar, car son empreinte carbone est importante (11% des émissions de GES mondiales). On parle d'utilisation de 1% à 3% de biochar dans le béton et potentiellement jusqu'à 5% sans baisse majeure de la qualité.

L'asphalte est aussi un matériau de construction pour lequel le biochar pourrait substituer certains composants. Les recherches scientifiques sur le sujet sont plus récentes et donc les applications sont plus rares mais on parle d'utilisation de 3% de biochar, et j'jusqu'à 10%.

De même que pour l'alimentation animale, dans certains pays la réglementation nécessite l'enregistrement des nouveaux composants pour utilisation dans les matériaux de construction. On peut citer par exemple la réglementation REACH en UE. Pour les certifications de qualité, CSI a publié plusieurs standards EBC pour les biochars non appliqués dans le sol. Par ordre croissant d'exigence vis-à-vis des contaminants on liste EBC-BasicMaterial, EBC-ConsumerMaterial and EBC-Urban.



Figure 21 : Matériaux de construction avec biochar : béton (à gauche – Université de Californie) et asphalte (à droite – Hansa Asphalt en Allemagne)

5.4 Filtration de l'eau et de l'air

Ce secteur est probablement celui qui pourrait proposer les plus hauts prix pour ses composants, notamment le marché de la filtration des PFAS (Per- and polyfluoroalkyl Substances). La réglementation de ces secteurs est toutefois extrêmement stricte dû aux importants enjeux de santé associés. L'utilisation d'un nouveau composant comme le biochar risque donc de mettre beaucoup de temps avant de pouvoir entrer en vigueur. De plus, les caractéristiques demandées aux biochars seront très strictes et nécessiteront des procédés exactement adaptés aux applications de filtration. Ainsi certains projets devront se spécialiser et auront du mal à diversifier leurs débouchés.

5.5 Composant de substitution dans l'industrie chimique et la métallurgie

La métallurgie pourrait devenir un grand débouché pour des composants riches en carbone, étant donné que le charbon fossile est un composant fréquent de ce secteur. Cependant on ne peut pas



générer de crédits carbone en vendant le biochar pour la métallurgie, on parle donc plutôt de bio-carbone. Cela rend ce débouché beaucoup moins intéressant.

Au niveau de l'industrie chimique, plusieurs applications du biochar ont été identifiées mais l'état de la recherche est encore très jeune sur le sujet. On peut citer la substitution de ce qu'on appelle le noir de carbone dans des mélanges avec le caoutchouc, notamment dans l'industrie des pneus⁸.

5.6 Nutraceutique et cosmétique

Ce marché est ultra-niche et ne concernera seulement que de très petits volumes. Les caractéristiques du charbon actif utilisé dans les produits de nutraceutique et cosmétiques sont difficile à atteindre pour le biochar. Ce secteur est donc considéré comme peu pertinent.

6. Les prix du biochar

6.1 Etat des prix actuels pour la vente de biochar

Comme on a pu le voir dans les paragraphes précédents, le biochar physique peut trouver de la demande sur divers secteurs, selon le type de débouché. Ainsi il faut différencier le prix de vente du biochar « brut » et des produits à base de biochar, tout en gardant en tête que le prix du « brut » est tiré vers le haut par une plus grande demande et donc le plus de produits possibles.

Il est difficile de donner une estimation des prix pratiqués sur la vente de biochar brut étant donné les faibles volumes commercialisés, et qu'une grande partie est donnée / distribuée gratuitement par les projets reposant sur la valorisation d'énergie et la vente de crédits carbone. Les prix se trouvent actuellement dans la fourchette de 70-300\$ la tonne, avec des prix plus bas dans les pays où l'offre est plus importante et où il existe des usines industrielles de très grande taille (économie d'échelle) comme aux USA par exemple.

Concernant les produits à base de biochar, il va dépendre des bénéfices apportés par son utilisation dans le secteur. Pour le secteur agricole, le prix du biochar sera intimement lié au prix des fertilisants NPK (voir paragraphe ci-dessous). Dans le cas des matériaux de construction, les composants de substitution concurrents du biochar sont particulièrement bon marché, ce qui fait que le prix payé pour le biochar dans ce secteur sera probablement bas, on parle de 200\$/t maximum. Les secteurs offrant les prix les plus élevés seront probablement ceux de la filtration et de l'industrie chimique / métallurgie, pouvant aller jusqu'à 600-1500\$/t. Mais ces prix ne seront appliqués qu'à des biochars aux caractéristiques très spécifiques adaptés à ce genre d'utilisation de niche.

6.2 Méthodes de calcul du prix du biochar

Comme expliqué dans le paragraphe précédent, il est difficile d'estimer un prix général du biochar, par le manque de recul et d'historique concernant ce produit, mais aussi car il dépend énormément du contexte dans lequel se place la commercialisation. Ainsi une analyse de prix spécifique à chaque projet doit être menée. Certaines méthodes pour mener cette analyse sont présentées ici.

⁸ Plus d'informations sur le site biochar-zero : [Steel and Metal Industry](#) / [Polymers](#)



L'approche à adopter doit être une analyse croisée entre le prix nécessaire à la rentabilité du projet (coût de revient + marge) et le prix acceptable pour les acheteurs.

Coût de revient : En ce qui concerne le biochar, le coût de revient varie en fonction des projets, principalement selon le coût de la biomasse (gratuite/payante, coût de la collecte) et est aussi influencé par les éventuels gains réalisés par la vente des crédits carbone.

Prix acceptable pour les acheteurs : Etant donné que le secteur principal de débouché pour le biochar est l'agriculture, nous partons du principe que c'est ce secteur qui fixera le « prix du marché ». Ainsi il est nécessaire d'établir quelle est la fourchette de prix acceptable par les agriculteurs pour du biochar agricole. Pour cela il existe plusieurs méthodes :

Calcul du prix du biochar agricole : méthode « par les gains de l'agriculteur »

Le biochar est vendu aux agriculteurs avec certaines « promesses productives » en fonction du contexte (conditions agroclimatiques, type de culture, pratiques agricoles) et de la recommandation d'application (mode d'application, dosage de biochar par hectare). Comme présentée dans le paragraphe **5.1.1**, on peut résumer à 3 promesses principales :

- Augmentation du rendement (augmentation de quantité vendue)
- Diminution du besoin en irrigation (coût par m³ d'eau)
- Diminution du besoin en engrais organique (coût de compost, fumier, bouses)
- Diminution du besoin en engrais minéraux (coût de fertilisants NPK – voir plus bas)

Ces promesses doivent être chiffrées, solidement argumentée et documentée par des expérimentations scientifiques. L'idée est de modéliser des scénarios en faisant varier l'impact de ces promesses sur les gains de l'agriculteur, en fonction de son profil. En effet les producteurs n'ont pas les mêmes structures de coût de production selon leur système d'exploitation.

Une fois que les gains du producteur sont calculés, il suffit de ramener cela au kg de biochar (selon la recommandation) pour établir un prix pour lequel le producteur est significativement gagnant.

Calcul du prix de fertilisant à base de biochar

Le prix des fertilisants à base de biochar (**5.1.2**) est calculé comme tout fertilisant classique, selon les quantités en NPK. Un fertilisant tel que le ONIX P9 de HUSK (**Figure 16**) à base de 5-9-0 c'est-à-dire 5% de N, 9% de P et 0% de K contient dans un sac de 25kg : 1,25kg de N et 2,25 kg de P. Le prix du sac peut donc être calculé selon le prix du N et P conventionnels en Cambodge. Par ailleurs, le biochar brut contient, de façon variable selon la biomasse d'origine et son mode de production : 0.5 à 3% de N / 0.5 à 5% de P / et 2 à 8% de K.

En ce qui concerne le prix mondial des fertilisants, après une période de prix très élevés pendant le COVID (fin 2021 – début 2023) où la tonne d'azote (N) est passé de 260\$ en 2020 à quasi 900\$ en 2022, le prix s'est stabilisé autour de 350\$/t (voir **Annexe 2** : Evolution du prix mondial des fertilisants). Il en va de même pour le P (~550\$/t) et le K (~300\$/t), bien que le prix du P augmente constamment.



6.3 Les limites principales de la demande pour le biochar

La demande de biochar, répartie dans plusieurs secteurs comme présenté dans la partie 5, est aujourd'hui limitée, et bien que l'offre de biochar soit encore très faible, la plupart des producteurs de biochar considèrent que le manque de demande reste le frein principal à l'essor de la filière, et cela notamment à cause d'un manque de connaissances des potentiels consommateurs (Figure 22).

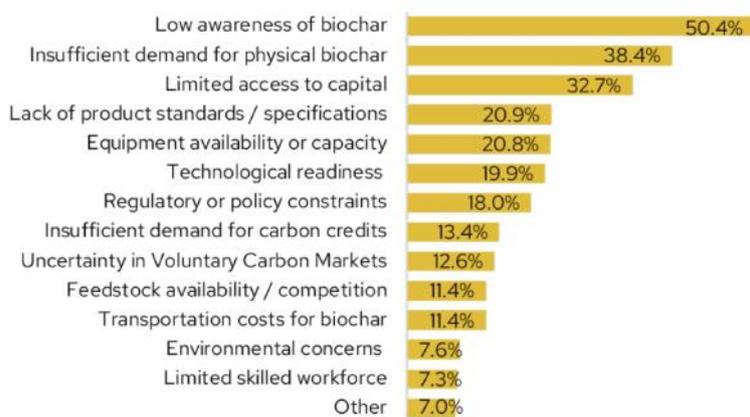


Figure 22 : Défis principaux de la filière biochar d'après les producteurs (Source : IBI)

En effet les applications potentielles du biochar (amendement du sol, fertilisant, alimentation animale, construction, filtration) ont toutes des impacts importants pour les consommateurs : rendements des cultures, dépollution des sols, santé des animaux, solidité des constructions, maintien de la santé des usagers de l'eau ou de l'air...

Ainsi l'intégration d'un nouvel intrant comme le biochar doit pouvoir être démontré scientifiquement de façon robuste, spécifique et avec le recul historique nécessaire aux potentiels impacts long-terme. On constate sur la Figure 23 que le nombre de publications scientifiques sur le biochar a augmenté de façon exponentielle à partir de 2018, ainsi ce manque de connaissance scientifique est en train d'être comblé, mais cela reste encore très insuffisant. De façon surprenante on constate aussi que le sujet semble ralentir depuis 2022.

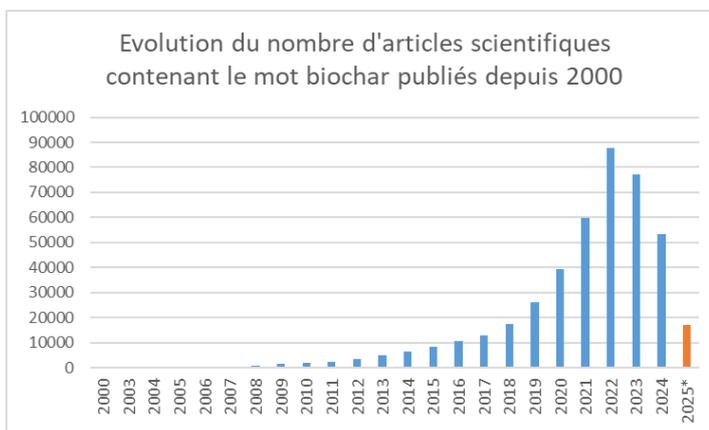


Figure 23 : Evolution de la recherche scientifique sur le biochar

De façon probablement encore plus impactante, le frein majeur pour le développement de la demande en biochar reste la compétitivité du biochar en termes de coûts de production comparé à ses concurrents (compost, fertilisants, ciment...). En effet ces produits sont issus de secteurs déjà bien structurés ayant atteint des économies d'échelle importantes.

Une autre limite est aussi la faible production de biochar actuelle. Certains secteurs sont dominés par de grands groupes industriels (fertilisants, construction, industrie chimique...) pour qui il faut de grandes quantités pour démarrer un partenariat.



Enfin, le manque de réglementation pour certains marchés et pays stricts (filtration, matériaux de construction) est aussi un frein à la demande.

En conclusion, les prix actuels du biochar constatés autour de 100-300\$/tonne sont probablement dû à la faible offre et au côté innovant du biochar. La demande risque de n'augmenter qu'à une faible vitesse comparée à l'offre qui est boostée par le marché du carbone. Ainsi les prix du biochar physique vont probablement chuter dans les prochaines années. Cette tendance sera aussi renforcée par les économies d'échelle réalisées par des usines de production de biochar de plus en plus grandes (bien que la limite théorique de rentabilité soit autour de 50'000 t/an – voir partie 8).

Nous allons probablement observer une course à l'abaissement du prix du biochar dans un futur proche, étant donné que le biochar doit être compétitif par rapport à ses produits concurrents. Cela sera possible uniquement par l'augmentation des capacités de production des projets industriels (économie d'échelle). Cette tendance s'observe de plus en plus dans les projets dont le modèle est la production d'énergie + biochar avec notamment la conception de nouveaux équipements sur-mesure de grande capacité, complètement intégrés au système industriel de l'usine. Ainsi la baisse de prix sera constatée principalement dans les pays tels que l'UE et les USA dans un premier temps.

Cette baisse de prix est aussi liée au marché du carbone, puisque la vente de crédits est censée mitiger le coût de production. Il faut donc pouvoir estimer les évolutions du marché du carbone, qui est cependant très difficile à analyser puisque volatile par nature, et encore plus concernant les nouveaux crédits carbone comme ceux associés au biochar.

7. Stratégies de commercialisation

Il ressort de l'analyse des débouchés du biochar que les marchés pour ce produit sont encore émergents et que la demande est limitée, et le restera encore tant que le produit n'aura pas reçu une plus grande reconnaissance scientifique, mais aussi opérationnelle et grand-public.

Ainsi, la vente du biochar physique est aujourd'hui un réel défi qu'il ne faut pas sous-estimer et qui nécessite la mise en place de stratégies de commercialisation adaptées et pertinentes. Ci-dessous sont listées certaines stratégies observées dans le cas de projets existants :

[Recherche et développement agricole](#)

Etant donné que le marché principal pour le biochar est l'agriculture, et que les consommateurs de ce secteur (les agriculteurs) sont caractérisés par leur approche conservatrice (faible prise de risque) et un certain scepticisme concernant les changements de pratiques (puisque cela entraîne un risque important), il est nécessaire de pouvoir apporter des preuves scientifiques et concrètes des bénéfices d'un nouvel intrant qu'on souhaite leur vendre. Cette stratégie est notamment employée par les entreprises NetZero ([Cas d'étude 3](#)) et HUSK ([Cas d'étude 4](#)).

Dans cette optique, il est essentiel de mettre dès que possible en place un programme de R&D ambitieux et rigoureux avec des tests au champs selon un protocole scientifique robuste avec des témoins, des répétitions et des variations, et de préférence sur le long terme (>5 ans).

Les points clés à respecter pour la mise en place d'un projet de R&D agricole réussi :



- Dimensionnement ambitieux : multiplier le nombre de tests dans des conditions qui varient (types de sols, profil de producteur, itinéraire technique, modes d'application...) afin de couvrir un maximum de scénarios différents.
- Tests en situation réelle : mettre en place un maximum de tests dans les parcelles de consommateurs-type, c'est-à-dire directement avec les producteurs auxquels on souhaite vendre le biochar. Ces testeurs pourront aussi devenir des ambassadeurs, dans la sphère agricole le bouche à oreille est la méthode la plus employée pour la diffusion de l'innovation.
- Protocole scientifique : concevoir le protocole et son suivi en collaboration avec une institution de recherche ou avoir un responsable en interne avec une solide expérience scientifique. Si possible publier les résultats dans des articles.
- Partenariats opérationnels : il est pertinent de signer des partenariats avec des acteurs clés de la chaîne de valeur ou du paysage ciblé, soit afin de partager les coûts du programme de R&D, soit pour bénéficier de leur expertise, de leur réseau et de leur crédibilité auprès des agriculteurs (coopératives, interprofessions, usines de transformation...).

Communication et accompagnement technique

Sur le même modèle que tous les vendeurs d'intrants agricoles, il est important de compter sur un réseau étendu de technico-commerciaux chargés de la prospection commerciale, mais aussi du conseil agricole apporté aux consommateurs (comment appliquer le biochar, quel dosage, quel équipement, quelle saison, etc.).

De plus, l'effort marketing est aussi important, avec une communication adaptée au public cible (campagnes publicitaires sur les réseaux sociaux par exemple).

Développement de produits

Dans la même ligne que la R&D agricole, la R&D des produits à base de biochar est très importante. Comme présenté dans la conclusion de la partie 5 de ce rapport, la vente de biochar « brut » (en vrac) est plus difficile à réaliser que pour des produits à base de biochar, c'est particulièrement le cas pour le secteur agricole.

Ainsi il faut pouvoir investir dans le développement de produits différenciés apportant plus de bénéfices que le biochar seul. Cette stratégie est employée par des entreprises telles que HUSK (Cas d'étude 4), PyroCCS ou Carbon Gold, et aussi un nombre croissant de start-ups développant des usages spécifiques du biochar dans les matériaux de construction (Castorcon, Durra Panel).

Mettre en place des partenariats

Cette clef de succès est assez généraliste et pourrait se décliner au niveau de toutes les stratégies de commercialisation (que ce soit pour la R&D agricole, la communication/distribution ou le développement de nouveaux produits). Il faut cependant bien comprendre son intérêt : une entreprise de production de biochar doit se concentrer en priorité sur la maîtrise complète de son modèle de production, qui fait face à de nombreux défis (voir partie 8). Ainsi, il est difficile de dédier des ressources et d'acquérir un savoir-faire sur d'autres activités telles que la R&D ou la commercialisation (du biochar physique mais aussi des crédits carbone), au risque de s'éparpiller.



Certains partenariats stratégiques sont donc nécessaires pour éviter d'épuiser ses efforts dans trop de directions différentes (surtout pour des entreprises naissantes, profil majoritaire des projets biochar). On peut citer par exemple un potentiel partenariat avec des producteurs de compost ou de fertilisants afin de formuler des engrais composites, ou alors avec des entreprises de production de matériaux de construction.

Limiter sa zone de distribution

Comme expliqué dans le paragraphe [4.2](#), le nombre de crédits carbone que pourra générer un projet de biochar sera calculé en prenant en compte les émissions de GES associées à la collecte et prétraitement de la biomasse, la production mais aussi la distribution du biochar (méthode de l'ACV). Ainsi chaque kilomètre parcouru par le biochar avant son introduction dans sa « matrice » finale sera décompté du total de crédit carbone, et donc a un impact fort sur les revenus du projet. L'objectif est donc d'assurer des débouchés aussi proches possibles du lieu de production.

Cela met d'ailleurs en question la pertinence de l'export de biochar, au-delà du fait que c'est une matière première à très faible masse volumique et donc qui nécessite plus de volume de containers.

Cibler des chaînes de valeur pertinentes

Afin de faciliter un maximum l'écoulement commercial du biochar, il est pertinent de cibler des chaînes de valeur agricoles qui font face aujourd'hui à des contraintes climatiques et agronomiques fortes, et dont le biochar pourraient résoudre certains enjeux (café, cacao, maraichage en région aride et avec des enjeux de salinisation – Sénégal...).

Ainsi, les effets les plus intéressants du biochar d'après les producteurs sont principalement sa capacité à augmenter le pH et la rétention de l'eau du sol, ainsi que la possibilité d'optimiser l'action des fertilisants et donc en acheter moins (réduction des coûts de fertilisation). Il est donc nécessaire de réaliser des analyses des chaînes de valeur pour identifier lesquelles et dans quels territoires (i) les cultures souffrent de plus en plus des sécheresses ; (ii) les agriculteurs achètent des fertilisants ; (iii) le sol fait face à des problèmes de fertilité / acidité / salinité ; (iv) on cherche à respecter un cahier des charges de production agricole naturelle tel que l'Agriculture Biologique. Enfin, pour mettre en place un modèle circulaire, une chaîne de valeur ayant beaucoup de résidus / déchets peu valorisés sera aussi un gisement de biomasse potentiellement intéressant.

En utilisant cette grille de lecture, on peut identifier des opportunités pour des projets biochar, c'est-à-dire des territoires / agriculteurs / filières qui présenteront une plus forte acceptabilité du biochar.

8. Défis et clefs de succès

En conclusion, afin de résumer le contenu de ce rapport, les défis et clefs de succès associées à chaque modèle de production sont listés ci-dessous.



8.1 Pour les projets industriels

1. Il est difficile de trouver des quantités de biomasse suffisantes (>5'000 t/an), dans un rayon pas trop étendu autour de l'unité de production de biochar (en règle générale en dessous de 100km) et avec des voies d'accès praticables (pour baisser le coût du schéma logistique).

→ Réaliser en amont des études approfondies pour identifier les meilleurs gisements de biomasse (abondants, peu éparpillés sur le territoire, concentrés aux niveaux d'unités de transformation, facile d'accès, pas ou peu valorisés).

2. Conserver une « qualité » (critères analysés par les standards et évalués par les acheteurs) constante de biochar est un défi, surtout dans le cadre fréquent où la biomasse varie en fonction des fournisseurs et des époques de l'année.

→ Dimensionner et choisir le bon équipement ainsi que le bon équipementier (capable d'accompagner le projet dans la conception et l'installation) et de l'accompagnement technique (par un bureau d'étude par exemple) est une clef de succès importante.

→ Prévoir dans le budget un ou plusieurs employés formés afin de suivre les processus de production et capables de modifier les paramètres des équipements pour l'adapter aux variations des biomasses.

3. Les marchés de débouché de biochar sont encore émergents, la demande est limitée et le prix du biochar varie énormément.

→ Favoriser les modèles reposant sur plusieurs sources de revenus en dehors du biochar (valorisation de l'énergie sous forme d'électricité/chaleur, valorisation du service d'évacuation de déchets = assainissement, valorisation des sous-produits du biochar = bio-huiles et gaz de synthèse).

→ Prévoir d'investir des ressources significatives (financières et RH) sur le volet commercialisation du biochar physique (voir les stratégies de la partie 7).

→ Multiplier les débouchés commerciaux et les clients.

4. La vente de biochar physique ne permet pas la rentabilité des modèles de production, la vente de crédits carbone est encore vitale pour les projets biochar. Cependant le marché de ces crédits carbone est très volatile et difficile à maîtriser et à anticiper.

→ Tout comme la commercialisation du biochar physique, il faut investir dans la stratégie de commercialisation des crédits carbone.

→ Bien analyser les avantages et inconvénients de chaque certification carbone (aujourd'hui il n'y a que 2 acteurs majoritaires Puro et CSI, mais de nouveaux acteurs émergent dans un futur proche) afin de choisir la plus adaptée (crédibilité, pénétration de marché, efficacité de l'audit, éligibilité sur les marchés autres que volontaires type ETS ou CORSIA).

→ Optimiser au maximum son ACV, c'est-à-dire sa logistique de collecte et prétraitement de la biomasse, la production du biochar et la logistique de distribution.

→ Proposer un « storytelling » convaincant à propos des crédits carbone du projet (bénéfices sociaux et environnementaux, économie circulaire, rigueur scientifique et traçabilité...).

→ Avoir une stratégie de prospection variée (chercher des clients en direct, passer par des marketplace / broker / trader, participer à des conférences et salons...).



5. La vente et le paiement des crédits carbone peut arriver longtemps après la production du biochar (minimum 6 mois parfois 2 ans) créant ainsi un déphasage important des coûts et des revenus dans le modèle financier et donc un important besoin en fonds de roulement.

- ➔ Ne pas sous-estimer le calcul du besoin en fonds de roulement.
- ➔ Assurer des réserves financières pour passer les 2 premières années sans revenus.
- ➔ Être très conservateur dans la conception des modèles financiers étant donné le haut niveau d'incertitude des prix de vente du biochar physique et des CC.
- ➔ Imaginer des modèles de financement innovants : préfinancement du projet par un gros acheteur de crédits carbone sous la forme de contrat d'offtake, utiliser les crédits carbone comme monnaie d'échange pour lever de la dette ou de l'equity...

8.2 Pour les projets artisanaux

- Avantages de ce modèle :
 - Les équipements sont très peu chers et faciles à produire dans n'importe quel pays ce qui entraîne un besoin d'investissement très faible.
 - La structure de coûts est limitée et le potentiel de scalabilité (de multiplication des artisans et donc des crédits) est très important, ce qui génère des liquidités rapidement.
 - Le modèle ne repose que sur la vente de crédits carbone ce qui élimine les défis liés à la commercialisation du biochar physique.
 - Ce type de modèle ne nécessite pas de gisements de biomasse importants et concentrés géographiquement comme les modèles industriels, les résidus de culture des producteurs sont valorisés.
 - Ce type de modèle met en avant un partage de valeur des crédits carbone avec les artisans et donc un impact social très importants dans les zones où les sources de revenus sont rares pour les agriculteurs. Cela peut attirer certains financeurs / acheteurs de crédits carbone « impact-oriented ».
- Désavantages de ce modèle :
 - La rigueur des méthodologies de certification carbone est pointée du doigt par certains acteurs, laissant la porte ouverte à d'éventuelles dérives et scandales pouvant porter atteinte à l'image des crédits carbone artisan et du biochar en général.
 - Certains acheteurs de CC considèrent ces projets moins crédibles que les projets industriels (car la production de biochar est moins contrôlée, avec des technologies de pyrolyse émettant plus de GES), baissant ainsi le prix estimé des crédits carbone artisan comparés à ceux issus de projets industriels.
 - La qualité des biochars produits par les artisans est moins contrôlée, pouvant entraîner des risques de pollutions des sols si les processus de pyrolyse ne sont pas maîtrisés. Ce risque, bien que souvent pointé du doigt, reste peu probable puisque les biomasse utilisées doivent être « propres » (pas de boue d'épuration, déchets urbains, etc.) et la température de pyrolyse dans les four Kon-Tiki atteint les 600°C.
- Les clefs de succès sont donc :
 - ➔ Investir dans son réseau de techniciens-conseils qui forment et suivent les artisans dans leur activité de production de biochar.



Etude de marché du biochar pour ENABEL – projet CIV2200111

- ➔ Préférer des technologies de pyrolyse, certes low-tech, mais assurant tout de même une qualité acceptable de biochar, et le moins d'émissions possibles.
- ➔ Centraliser un maximum les unités de pyrolyse pour superviser au mieux.
- ➔ Choisir et mettre en place un système de dMRV le plus solide possible.
- ➔ Favoriser un système « d'achat de la biomasse » aux producteurs, avec un prix reposant sur la vente des crédits carbone, plutôt qu'un partage de la valeur des crédits. Cela apportera une sécurité et une plus grande simplicité pour le paiement des artisans.



Bibliographie

IN NETZERO STANDARDS WE TRUST : CDR MARKET SURVEY 2025 – CDR.FYI

BOOM OR BUST? 2024 BIOCHAR MARKET OUTLOOK – SUPERCRITICAL

EUROPEAN BIOCHAR MARKET REPORT 2023 | 2024 – BIOCHAR EUROPE

GLOBAL BIOCHAR MARKET REPORT – IBI & USBI 2023

BIOCHAR MARKET ANALYSIS – BLUE FOREST 2022

MARKET ANALYSIS OF BIOCHAR PRODUCED BY SMALL-SCALE PYROLYSIS UNITS IN VIETNAM – UNIDO 2021

BIOCHAR – A MARKET ANALYSIS AND PREDICTIONS OF THE FUTURE – K. ANENSEN 2021

A REPORT ON THE VALUE OF BIOCHAR AND WOOD VINEGAR – ANZI 2019

BIOCHAR APPLICATION ON BIOCHAR ZERO [WEBSITE](#)

**Annexe 1 : Liste (non exhaustive) des acteurs du secteur****Producteurs de biochar**

EUROPE (125)	Zone	Pays	Certification
Carbofex (SOLER)	EU	Finlande	Puro.earth
3R-BioPhosphate	EU	Hongrie	Puro.earth
A Healthier Earth	EU	UK	Carbonfuture, Pur
Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg	EU	Allemagne	Carbonfuture, EBC
AFE Ferrara	EU	Italie	Carbonfuture, Pur
Agri Energy Vraa	EU	Danemark	Puro.earth
agriCARBON (Microchar)	EU	République Tchèque	
Amata green	EU	Espagne	Puro.earth
Arigna Fuels	EU	Irlande	
Athena	EU	France	Puro.earth
Auen care service APD	EU	Suisse	
Auen Pflegedienst AG	EU	Suisse	Puro.earth
AWN Abfallwirtschaftsgesellschaft des Neckar	EU	Allemagne	
BASNA d.o.o.	EU	Serbie	Carbonfuture
Bcircle	EU	Portugal	Puro.earth
BIATEX GmbH	EU	Allemagne	Puro.earth
BioCarbo GmbH	EU	Italie	
Biochar GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	Puro.earth
Biochar Latium	EU	Italie	Puro.earth
Biochar Rendsburg GmbH	EU	Allemagne	Puro.earth
Bioenergie Ahlntel GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	
Bioenergie Frauenfeld AG	EU	Suisse	Puro.earth
Biokolprodukter	EU	Suède	Carbonfuture
bionero GmbH	EU	Allemagne	Puro.earth
Bionika AG	EU	Suisse	EBC sink certificate
BLOCK Bio Innovationen GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	Carbonfuture, Pur
Bordet	EU	France	Carbonfuture
Brodie Biomass	EU	UK	
Bussme Biochar	EU	Suède	
Carbex GmbH	EU	Allemagne	
Carbo Culture	EU	Finlande	EBC sink certificate
CARBOLIVA	EU	Espagne	
Carbon Collectors	EU	Allemagne	
Carbon Cycle GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	
Carbon Emergente	EU	Espagne	
Carbon Gold	EU	UK	
Carbon Hill	EU	UK	
carbonauten GmbH	EU	Allemagne	Puro.earth
CarbonCentric	EU	France	
Carbonex	EU	France	
Carbonis GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	
Carbons Finland Oy	EU	Finlande	
CarboVerte GmbH	EU	Allemagne	
Carbuna AG	EU	Allemagne	



EUROPE (125)	Zone	Pays	Certification
CharLine GmbH	EU	Autriche	
Christoph Fischer GmbH	EU	Allemagne	
Circular Carbon GmbH	EU	Allemagne	Puro.earth
Cycles Verts	EU	Belgique	
Dad's Farm Biochar	EU	Ecosse	
Demio Normandie	EU	France	
Echo2	EU	Autriche	
Ecoera	EU	Suède	
EGoS GmbH	EU	Allemagne	Puro.earth
Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und	EU	Allemagne	Puro.earth
Ekovilla	EU	Suède	Carbonfuture
EM Technologie Zentrum Süd GmbH	EU	Allemagne	EBC sink certificate
EnergieWerk	EU	Autriche	
Energy Ocean GmbH	EU	Suisse	
Envigas	EU	Suede	
eoc energy ocean GmbH	EU	Suisse	Carbonfuture
Euthenia Energy	EU	Espagne	
Explocom (+Gekka)	EU	Roumanie	EBC sink certificate
F. Ehrich GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	
FETZER Rohstoffe + Recycling GmbH	EU	Allemagne	
Grassroots Biochar AB	EU	Suède	
Green Carbon GmbH	EU	Allemagne	
Greene	EU	Espagne	
GRK	EU	Finlande	
Grossenbacher Grüngut	EU	Suisse	Carbonfuture
Groupe Bordet	EU	France	
Hjelmsäters Egendom	EU	Suède	
Holtzenergie Gut	EU	Suisse	
INEGA AG	EU	Suisse	
Inkoh	EU	Suisse	
Innsbrucker IKB	EU	Autriche	
IWB Industrielle Werke Basel	EU	Suisse	
Klimafarmer	EU	Danemark	
KohleHelden GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	
Kompostbau Wagner	EU	Allemagne	
KRIŽEVCI-PRODUKT	EU	Croatie	Carbonfuture, EBC
KWS Ökokraft	EU	Autriche	
LignoCarbon Schweiz AG	EU	Suisse	
Lucrat GmbH	EU	Allemagne	
Macrocarbon	EU	Espagne (canaries)	
Made of Air	EU	Allemagne	Carbonfuture, EBC
Mash Makes	EU	Danemark	
Moola - Fetzer Rohstoffe + Recycling	EU	Allemagne	Puro.earth
Nawaro	EU	Autriche	
Nevel AB	EU	Suède	Puro.earth
Nordgau	EU	Allemagne	Other
NORDGAU CARBON GmbH & Co. KG	EU	Allemagne	Puro.earth
Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR)	EU	Suède	
Novaris Energy Ltd.	EU	Turquie	Other
Novocarbo GmbH	EU	Allemagne	



EUROPE (125)	Zone	Pays	Certification
OBIO	EU	Norvège	
Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen	EU	Danemark	Puro.earth
Oplandske Bioenergi AS	EU	Norvège	
Origin Biochar	EU	Irlande	
Oxford Charcoal Biochar Ltd	EU	UK	
Ozen	EU	Pologne	Puro.earth
Premier Forest	EU	UK	
ProE Bioenergie GmbH	EU	Allemagne	EBC sink certification
PUHI	EU	Finlande	
Pyrocal	EU	UK	
Restord	EU	UK	
SCS GmbH	EU	Allemagne	
SIOTUU GmbH	EU	Autriche	
Skanfros	EU	Suède	
Skanska	EU	Suède	Riverse
Skelleftea Carbon AB/ Envigas AB	EU	Suède	Riverse
SOLER (Carbon Centric)	EU	France	
Sonnenerde	EU		
Stiesdal	EU	Danemark	
Stiesdal SkyClean A/S	EU		
Sustainable Century	EU	Allemagne	
Swiss Biochar Sàrl	EU	Suisse	
Telge Återvinning AB	EU	Suède	
Terra fertilis	EU	France	
Terrawatt	EU	Espagne	
Timo Ferdinand und Andreas Scherer Herbolzheim	EU	Allemagne	
TORRCoal	EU	Belgique	
Unyte Biochar	EU	UK	
Verora	EU	Suisse	
Vow Green Metals	EU		
Woodtek Biochar	EU	Ecosse	

AMERIQUE DU NORD	84		
Again & Again Farmstead	USA	New Hampshire	
AgraMarketing Solutions	USA	California	
All Power Labs	USA	California	
American BioCarbon	USA	Louisiana	Puro.earth
American Biochar Company	USA	Michigan	
Applied Carbon	USA	Texas	
Aries Clean Energy	USA	Tennessee	
ARTi	USA	Iowa	
Bartlett Tree Experts	USA	North Carolina	
BC Biocarbon	Canada	Brit Columbia	
Bella biochar corporation	Canada		Puro.earth



AMERIQUE DU NORD	84	
Bio365	USA	California
Biochar Solutions	USA	Colorado
Biochar Supreme	USA	Washington
BiocharCentral	USA	Georgia
BiocharNow	USA	Colorado
Biological Carbon LLC	USA	Oregon
BioSphere Carbon Group	USA	Washington
Black Bison Organics LLC	USA	North Dakota
Blackwood Solutions	USA	Indiana
Blue Sky Biochar	USA	California
Blusky Carbon	USA	Arkansas
Brimac Char	USA	Texas
Canadian Agrichar	Canada	Brit Columbia
Carbo Culture	USA	California
Carbonity (SUEZ, AIREX)	Canada	Québec
Char Technologies	Canada	Ontario
Chargrow	USA	North Carolina
CharTerra	Canada	Alberta
Circularity2	USA	
Clean Main Carbon	USA	Maine
Corigin	USA	California
Davey Tree Expert Company	USA	
Douglas County Forest Products	USA	Oregon
Earthcare	USA	Indiana
Ecochar	USA	Indiana
Ecotone Inc	USA	Maryland
enviraPAC Monticello LLC	USA	Arizona
Freres biochar	USA	Colorado
Genesis Biochar	USA	Montana
Glanris LLC	USA	Tennessee
GoBiochar	USA	Utah
Green State Biochar	USA	Vermont
GreenQuest	USA	Wisconsin
Groundup Soil	USA	Oregon
High Plains Biochar	USA	Wyoming
Joanna	USA	
Kellogg Garden Products	USA	California
LESCO/SiteOne	USA	
Lewis Bamboo	USA	Alabama
Locoal	USA	
Metzler Biochar	USA	Pennsylvania
Miller Soils LLC	USA	Colorado
Mirimichi Green	USA	
Missouri Organic Recycling	USA	Missouri
New England Biochar	USA	Massachussets
NextChar	USA	Massachussets
Olympic Biochar	USA	Washington
Oregon Biochar Solutions	USA	Oregon



AMERIQUE DU NORD		84
Organic Mechanics	USA	Pennsylvania
Organilock	USA	Kentucky
Pacific Biochar	USA	California
Phoenix Energy	USA	California
Purelife Carbon	Canada	Alberta
Qualterra	USA	Washington
Real Montana Charcoal	USA	Montana
ReGenerate Livermore Falls	USA	
Restoration Bioproducts, LLC	USA	Virginia
Restoration Fuels	USA	Oregon
Rexius Forest Byproducts Inc.	USA	Oregon
Seneca Farms Biochar	USA	New York
Sequest Wood Waste Solutions	USA	Kansas
Sitos Group	USA	California
Soil Reef LLC	USA	Pennsylvania
Standard Biocarbon LLC	USA	Maine
Stormwater Biochar.com	USA	Oregon
Symsoil	USA	California
TerraChar	USA	Missouri
The Andersons	USA	Ohio
Titan Carbon Smart Technologies	Canada	Saskatchewan
Vermont Biochar	USA	Vermont
Vermont Natural Ag Products	USA	Vermont
V-Grid Energy Systems	USA	California
Wakefield Biochar	USA	Missouri

Nom entreprise	Continer	Pays / état
AMERIQUE DU SUD		9
Aperam	Amsud	Brésil
Bio Restorative Ideas	Amsud	Puerto Rico
Biodiversal (w/ planboo)	Amsud	Colombie
Cotierra	Amsud	Colombie
Exomad Green	Amsud	Bolivie
General biochar systems	Amsud	Mexique
NetZero	Amsud	Brésil
Tectocarbon	Amsud	Equateur
The Next 150	Amsud	Mexique

OCEANIE		4
Fasera	Oceanie	Australie
Jeffries Group	Oceanie	Australie
Kangaroo Island	Oceanie	Australie
Pyrocal	Oceanie	Australie



ASIE (22)	Zone	Pays	Certification
Alcom Carbon Markets	Asie	Philippines	Puro.earth
Atmosfair	Asie	Inde	Artisan C-sink
Bamboo King Vina	Asie	Vietnam	Verra - under valid
Biochar Life	Asie	Thailand	Artisan C-sink
Biochar Life	Asie	Indonésie	Artisan C-sink
Bukit Selar	Asie	Malaisie	
Carboneers	Asie	Inde	Artisan C-sink
Circonomy	Asie	Inde	Artisan C-sink
EKI Energy	Asie	Inde	Verra - under valid
Formosan Salamander	Asie	Taiwan	
Halmahera / Dewacoco	Asie	Indonésie	Verra - under valid
HUSK	Asie	Cambodge	EBC C-sink
MASH Makes	Asie	Inde	EBC C-sink
Planboo	Asie	Sri lanka	Artisan C-sink TRA
Reclimate	Asie	Malaisie	
SRCNatura Sure	Asie	Inde	Verra
Takachar	Asie	Inde	
Varaha	Asie	Inde	Artisan C-sink
Varhad	Asie	Inde	
WasteX	Asie	Indonésie	
WeAct	Asie	Inde	Verra
Wongphai (w/ planboo)	Asie	Thailand	Artisan C-sink

AFRIQUE (23)	Zone	Pays	Certification
Airsmat	Afrique	Nigeria	Artisan C-sink
Biochar Life	Afrique	Kenya	Artisan C-sink
Biochar Life	Afrique	Malawi	Artisan C-sink
Biochar Life	Afrique	Tanzanie	
Bio-logical	Afrique	Kenya	
Biosorra	Afrique	Kenya	
CarbonConnect	Afrique	Nigeria	Artisan C-sink
CarbonConnect	Afrique	Zimbabwe	Artisan C-sink TRA
Carboneers	Afrique	Ghana	
Dark Earth Carbon	Afrique	Tanzanie	Global C-sink
Farm gai kaisa (planboo)	Afrique	Namibie	Puro.earth
INTERHOLCO (Tropi'coal)	Afrique	RDC	EBC C-sink
Kohero Farming CC	Afrique	Namibie	Artisan C-sink
Mirae Green Chemicals	Afrique	Tanzanie	
NetZero	Afrique	Cameroun	Puro.earth
Omiti biochar	Afrique	Namibie	Artisan C-sink
Namibia Savannah Restoration (planboo)	Afrique	Namibie	Artisan C-sink
PyroCCS	Afrique	Namibie	EBC C-sink TRANSI
Pyrogen	Afrique	Kenya	
RecyCoal	Afrique	Rwanda	Artisan C-sink
Tachibana (planboo)	Afrique	Ghana	Artisan C-sink
Truecoco	Afrique	Ghana	
Sinkit	Afrique	Cameroun	Artisan C-sink
WeAct	Afrique	Madagascar	Verra - under valid



Standards carbone

Organisation	Standard	projects	total CC issued	total CC retired
Puro.earth	Puro = crédit CORC	48	377 145	258 377
Carbon Standards International (CSI)	EBC C-sink	12	24 600	200
	Global C-sink	1	160	-
	Global Artisan C-sink	20	150 746	35 724
Verra	VCS - VM0044	6	-	-
Carbonface (Canada) - pour les particuliers	Charkilo (2,5 kgCO2)	-	38	
I-REC Standard Foundation	C-capsule	En développement		
Climate Action Reserve: U.S. and Canada Biochar Protocol				
Riverse (France)	BiCRS			
Isometric (UK and USA)	BiCRS			
Gold Standard				

Equipementiers

Nom	Continent	Pays	Nom	Continent	Pays
EUROPE 35			AMERIQUE DU NORD 36		
AquaGreen	EU	Allemagne	Advanced Biorefinery Inc	Canada	
BiokW	EU	Italie	Ag Waste Solutions	USA	California
Biomacon	EU	Finlande	Ambient Energy LLC	USA	Washington
Carboculture	EU	Finlande	Airex Energie Inc	Canada	Quebec
Carbofex	EU	Finlande	Avello Bioenergy	USA	Iowa
Carboforce	EU	Allemagne	Bioenergy Design	USA	California
Carbon Char Store	EU	UK	Bio-Techfar	Canada	Ontario
Carbonauten	EU	Allemagne	FEECO	USA	Wisconsin
Carbonis	EU	Allemagne	Frontline Bioenergy	USA	Iowa
CTS (Carbon Technik Schuster)	EU	Danemark	Genesis Industries	USA	California
EQTEC	EU	Irlande	Heyl & Patterson	USA	Pennsylvania
Euthenia	EU	Espagne	ICM Inc	USA	Kansas
Evac	EU	Finlande	Nulife Green	Canada	Saskatchewan
Haffner Energy	EU	France	Pyrovac	Canada	Quebec
MASHMAKES	EU	Danemark	Schenck Process LLC	USA	Illinois
Meva Energy	EU	Suisse	Aries Clean Energy	USA	Tennessee
NetZero	EU	Suisse	BC Biocarbon	Canada	Brit Columbia
NGE	EU	Autriche	BiocharNow	USA	Colorado
Organic Full Technology	EU	Danemark	Bioforcetech	USA	California
Polytechnik	EU	Autriche	Biogreen Energy/VOW/Scans	USA	
PYREG	EU	Allemagne	Char Technologies	Canada	Ontario
PyroCore	EU	Belgique	Coaltec Energy USA	USA	Indiana
PyroCCS	EU	Allemagne	Earthcare LLC	USA	Indiana
RE-CORD	EU	Italie	Smartcare Terra LLC	USA	Kansas
Rouge H2 Engineering	EU	Autriche	Qualterra	USA	Washington
Rainbow Bee Eater	EU	Autriche	All Power Labs	USA	California
SOLER	EU	France	ARTi	USA	Iowa
SPSC	EU	Danemark	Biochar Solutions	USA	Columbia
Standard Gas	EU	UK	Biomass Controls	USA	Connecticut
Standard Bio	EU	Norvège	Biomass Energy Techniques	USA	Missouri
Stiesdal	EU	Danemark	Chip Energy	USA	Illinois
SYNCRAFT	EU	Autriche	High Plains Biochar	USA	Wyoming
TORRCoal	EU	Pays-bas	Locoal	USA	Washington
VOW	EU	Norvège	Proton Power	USA	Tennessee
Xylergy	EU	Belgique	The Trollworks	USA	New Mexico
			V-Grid Energy Systems	USA	California

Pyrocal Pty Ltd	Oceania	Australie
Chardust	Afrique	Kenya
Beston	Asie	Chine



Bureaux d'étude / dMRV / Marketplaces / Brokers / Traders

Marketplaces / brokers / traders

2050 consulting
Accend
ACT
Atmosfair
Bigfoot
Carbon Removed
Carbonaires
Carbonfuture
Carbonx
CAWA
Ceezer
Choose AS
Circonomy
Climate Impact X
Clime fi
Cloverly
Compensate
Crystalchain
Cula Technologies
CUR8
Down to earth
First climate
Freeze Carbon
Freezecarbon
GECA Environnement
GHGS
Grain Ecosystem
IWB
Klimate
Lune
Thallo
Tolam Earth
Toucan
UTMIT
Varaha
Watershed

Marketplaces / brokers / traders

Mangrove systems
Milkywire
NOBON
Nordic offset
Patch
Pledge
Sinkit
South Pole
Supercritical

Bureaux d'étude

Biochar zero
CDR.fyi
DSS+
Generation Carbon

dMRV

Airsmat
Biocharapp
BlueLayer
CapChar
Carbonfuture
CarbonPilot
Circonomy
Crystal Chain
Cula
Mangrove systems
Offstream
Planboo
Plant Village
PyroCCS
Think-it
Treeo
Varaha
WasteX



Annexe 2 : Evolution du prix mondial des fertilisants

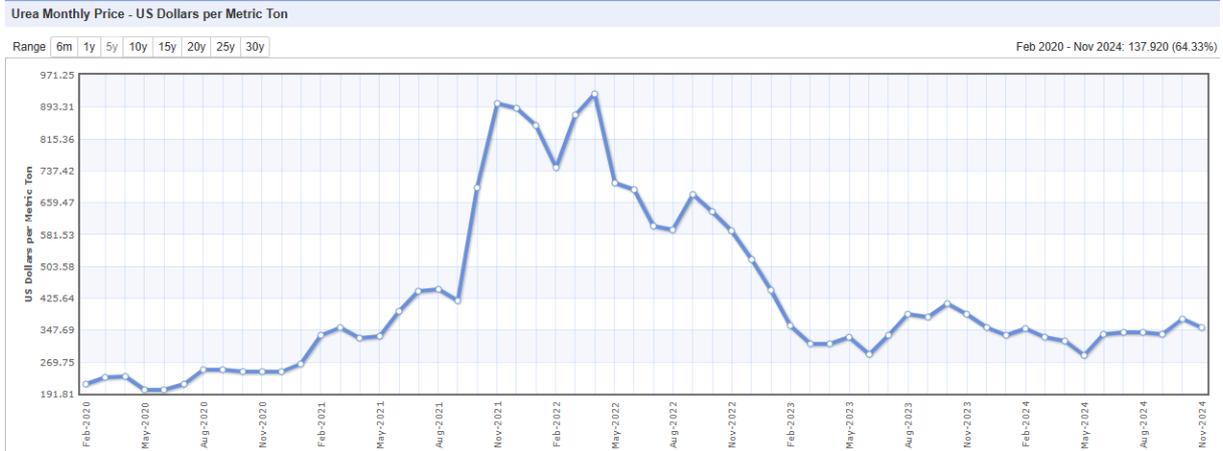


Figure 24 : Evolution du prix de l'Urée (N = azote) sur les 5 dernières années - Source : Index Mundi



Figure 25 : Evolution du prix du DAP (Phosphate) sur les 5 dernières années - Source : Index Mundi



Figure 26 : Evolution du prix du KCl (Potassium) sur les 5 dernières années - Source : Index Mundi



Annexe 3 : Tableau récapitulatif des modèles de production de biochar, leurs avantages et défis

	AVANTAGES	DEFIS
Industriel : énergie + biochar	<ul style="list-style-type: none">· L'équilibre financier est déjà atteint grâce à la valorisation de l'énergie· La collecte de biomasse est assurée (si on utilise les déchets de l'usine)· Peut bénéficier de subventions publiques en fonction des pays	<ul style="list-style-type: none">· Dépend d'un partenariat avec une usine / activité secondaire· Potentiel manque de savoir-faire dans la commercialisation du biochar physique (car pas nécessaire à la santé économique du projet)· Investissements importants car installations de pyrolyse sur mesure· Selon les biomasses étapes parfois complexes de prétraitement avant pyrolyse
Industriel : 100% biochar	<ul style="list-style-type: none">· Modèle plus flexible que le précédent car ne reposant pas sur la nécessité d'un partenariat avec un industriel ou un opérateur réseau pour valoriser l'énergie· Tous les efforts du projet sont concentrés sur les thématiques biochar, ainsi les équipes sont moins dispersées et plus spécialisées· Modèle pouvant se décliner dans n'importe quelle chaîne de valeur et géographie· Si la stratégie du projet est plus orientée sur la commercialisation du biochar physique, meilleure résilience face à la volatilité du marché du carbone· Projet et technologie facilement répliquable = haut potentiel de scalabilité	<ul style="list-style-type: none">· Les gisements de biomasse ne sont pas assurés, il convient donc de bien les analyser et de trouver des partenariats pertinents· La logistique de collecte et distribution est déterminante (voir explications sur l'ACV)· Pour les projets dont l'équilibre financier repose beaucoup sur les crédits carbone, il faut une maîtrise complète du sujet, et prévoir la volatilité des prix (probablement descendant dans les années à venir)· Les débouchés du biochar physique sont variés mais aucun marché n'est aujourd'hui mature, c'est-à-dire qu'il faut créer la demande et faire face à un manque de connaissance et de confiance des acheteurs (voir partie 5). Il faut donc prévoir un budget important consacré à créer et pénétrer ces marchés (R&D, commercial, communication, marketing...)
Artisanal	<ul style="list-style-type: none">· Nécessite peu d'investissements· La génération de CC et de cashflow est rapide (pas de nécessité de trésorerie)· Technologies simples, faciles à mettre à l'échelle ou à répliquer· Pas de besoin d'approvisionnement en biomasse = les artisans utilisent leur propre biomasse	<ul style="list-style-type: none">· Moins de confiance de la part des acheteurs en CC, prix de CC plus bas· Besoin de mise en place d'un dMRV très performant· Besoin d'un schéma d'intéressement attractif pour les artisans



Etude de marché du biochar pour ENABEL – projet CIV2200111