



SIDMARINE/SIDENERGIE

PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS TROPICAL CERTIFIÉ FSC 100%

POUR UN CHARBON DE BOIS DURABLE

Programme PPECF/COMIFAC/KfW

« Modèle : Projet de CBG - Port Gentil – Gabon »

« Étude de faisabilité technologique »

Pour la production industrielle et durable de charbon de bois :

- **Fabriqué en Afrique Centrale**
- **Par « valorisation/carbonisation des déchets biomasse des pôles industriels de la transformation du bois »**
- **Provenant de l'exploitation durable des forêts**
- **A destination du marché Européen et du marché régional**

Étude technique réalisée dans le cadre des activités du PROGRAMME

« PROMOTION DE L'EXPLOITATION CERTIFIÉE DES FORÊTS » (PPECF) porté par la

« COMMISSION DES FORÊTS D'AFRIQUE CENTRALE » (COMIFAC) et financé par la

« BANQUE DE DÉVELOPPEMENT DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL ALLEMAND » (KfW)

Auteur : Patrick RUEYRES. SIDENERGIE / SIDMARINE.

Avril 2020



SIDMARINE/SIDENERGIE



REMERCIEMENTS.

Nous tenons à remercier Monsieur Guillaume Fenart, Directeur Général de « CBG » (Compagnie des Bois du Gabon), pour son premier accueil en Mars 2018 et pour son initiative de lancer les études préalables nécessaires à la création d'une filière de Valorisation/Carbonisation des déchets biomasse connexes à l'industrie de la transformation du bois d'Afrique Centrale.

3

L'implication des collaborateurs de « CBG » pour construire ***ce projet d'optimisation de la valorisation de la biomasse forestière prélevée et transformée durablement*** (Certifications FSC) a permis l'élaboration des termes de référence pour la prise en charge par la COMIFAC (Programme PPECF) des deux études préalables qui doivent fournir les éléments nécessaires à la prise de décision des pôles bois d'Afrique Centrale pour investir dans cette filière :

- « Etude de marché pour la commercialisation d'un charbon de bois tropical FSC 100 % »,
- « Etude technologique et économique pour la production industrielle durable de charbon de bois à partir des déchets bois des pôles industriels du bois d'Afrique Centrale ».

Nous tenons à remercier les collaborateurs de Mr Fenart qui ont activement initié ce projet.

- Mr Pierre François Merlin, directeur général adjoint de « CBG »,
- Mr Julien Philippart, responsable environnement/certifications de « CBG »,
- Mr Emmanuel Groutel, responsable des ventes export de « CBG » et coauteur de « l'étude de marché pour la commercialisation du charbon de bois durable du projet », en particulier sur l'origine non durable de la majorité du charbon de bois importé et nécessaire au marché Européen.
- Mr Jean-Philippe Gailhard et Mr Gilles Bona, directeurs des deux usines « CBG » de transformation du bois de Port Gentil (scierie et déroulage),
- Mr Yves Coze, ingénieur responsable des travaux de génie civil de « CBG » et de ses filiales,
- Mme Aude Constans, directrice des ressources humaines de « CBG » qui a organisé nos séjours.

Ainsi que Mr Romain Lorent coordinateur du PPECF qui a orienté et validé la stratégie des études.

Par ailleurs, nous tenons à remercier les nombreux interlocuteurs qui ont apporté les réactualisations techniques et financières nécessaires à l'étude technico-économique de la production industrielle durable de charbon de bois :

- Pierre et Jean Soler de la société « Carbonex », créateurs du process à cogénération d'électricité,
- Mr Philippe Rousseau, directeur de « Charbon de bois du Périgord » pour ses avis et son expérience sur la technologie cornue « Head »,
- Mme Nadège Simon, Présidente du syndicat des carbonisateurs (France), pour sa vision globale de la filière et pour ses avis techniques sur l'utilisation industrielle du process cornue « MC de Movi.nl »,
- Messieurs Ad Schepens et Victor van den Heuvel, directeur et ingénieur technico-commercial de la société Movi à Diessen.nl, fabricant des fours cornue,
- Mr Christian Bedrossian concepteur et fabricant des fours à combustion partielle améliorée « CML »,
- Ainsi que tous les contacts technico-commerciaux des entreprises spécialisées dans la fourniture de matériel : Manuloc (chariots élévateurs), RMIS (préparation/criblage du charbon de bois), SCCM (construction métallique des fours « Bruni/ Cirad/Sidenergie»), Airap (constructeur de ventilateurs très haute température), Tellus Ceram pour les études de conception et de fournitures de matériaux réfractaires pour les chambres de combustion des fumées et des fines de déchet bois.

Enfin nous remercions tout particulièrement Messieurs Philippe Girard et Patrick Rousset du laboratoire du CIRAD « Energie Environnement/BioWooEB » qui ont participé, depuis 1994, au développement de la technologie à circulation de gaz chaud, ainsi que Mr Alfredo Napoli qui promotionne cette technologie dans les projets internationaux dont il a la charge.

Patrick Rueyres, Marie Louise Martin, société Sidmarine/Sidenergie.



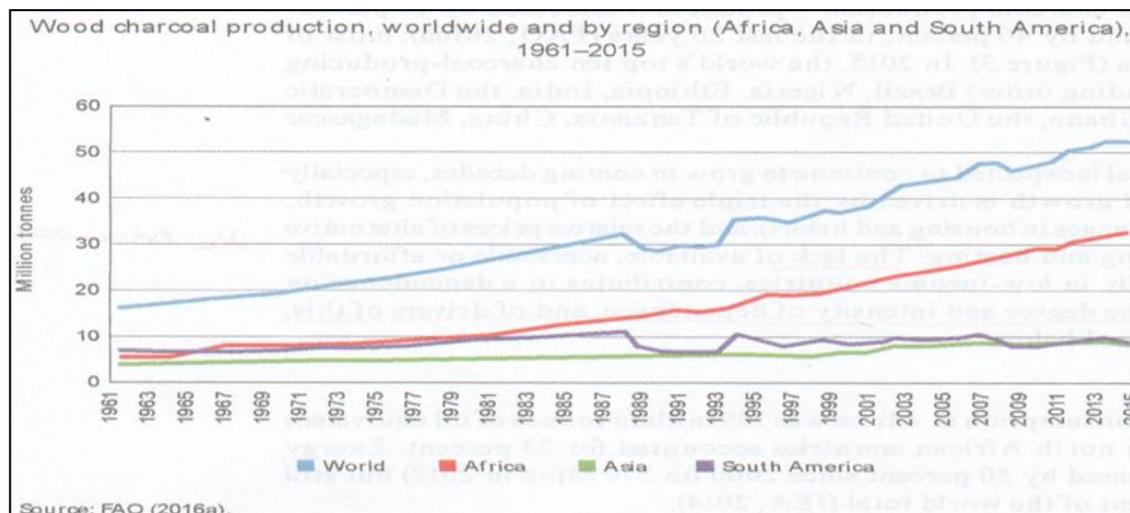
TABLE DES MATIÈRES

ACRONYMES	4
PARTIE 1- LE CONTEXTE DE L'ÉTUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE	7
▪ LA TRANSITION DU SECTEUR DU CHARBON DE BOIS/ UNE NÉCESSITÉ CLIMATIQUE	8
▪ OBJECTIF DU PROJET – PPECF/COMIFAC/CBG	9
▪ GISEMENT DES REBUTS DE L'INDUSTRIE DU BOIS / CONTEXTE DE LA VALORISATION EN AFRIQUE CENTRALE	12
▪ CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT A COMMERCIALISER	13
▪ CAHIER DES CHARGES POUR LA CONCEPTION DU MODÈLE INDUSTRIEL	15
PARTIE 2- L'ÉVALUATION D'UN PÔLE INDUSTRIEL DU BOIS/Port Gentil	16
▪ CARACTÉRISATION ET VOLUME DES DÉCHETS BOIS DE CBG/CORAWOOD BASELINE.NUISANCES/HYPOTHÈSES DE CAPACITÉS DE CARBONISATION	18
▪ ANALYSE -LOGISTIQUE/PRÉCONDITIONNEMENT- DES DÉCHETS BOIS	25
▪ INVENTAIRE DES TECHNOLOGIES DE CARBONISATION	28
▪ ANALYSE LOGISTIQUE DU CHARBON DE BOIS jusqu'à L'USINE EUROPÉENNE de « CONDITIONNEMENT/STOCKAGE/DISTRIBUTION » ..	44
▪ CAHIER DES CHARGES DU SITE DE PRODUCTION	49
▪ POLITIQUE GABONAISE EN FAVEUR DES BIOÉNERGIES RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE	52
PARTIE 3- L'ÉTUDE TECHNOLOGIQUE PRÉALABLE/ COMPTES PRÉVISIONNELS D'EXPLOITATION	56
▪ CONNAISSANCE DES TECHNOLOGIES et VISITES DE FABRIQUANTS	59
▪ LES « TECHNOLOGIES ADAPTÉES », DONNÉES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES ..	61
▪ ENCADREMENT RÉGLEMENTAIRE DU PROJET – EXEMPLE DU GABON	82
▪ COMPARAISON DES « PERFORMANCES ÉCONOMIQUES » DES TECHNOLOGIES ADAPTÉES	86
▪ FICHES DE « PRÉCONISATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE ADAPTÉES » AUX DIFFÉRENTES ÉCHELLES DE CAPACITÉ DE PRODUCTION	96
▪ REFLEXION SUR UN PROJET DE « PLANTATION INDUSTRIELLE DURABLE »/ PRODUCTION DE « CHARBON DE BOIS/COGÉNÉRATION D'ÉLECTRICITÉ »	121
▪ SYNTHÈSE/CONCLUSION	126
ANNEXES	147



ACRONYMES

CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies contre le Changement Climatique
CFAD	Concession Forestière sous Aménagement Durable
COMIFAC	Commission des Forêts d'Afrique Centrale
DGCCRF	Direction Générale de la Concurrence et de la Répression des Fraudes (France)
EFBC	Ecosystèmes forestiers du Bassin du Congo
FAO	Food and Agricultural Organization, Institution des Nations Unies
FSC	Forest Stewardship Council
IED	Industrial Emissions Directive. 2010/75/UE, qui met en place les VLE (Valeurs Limites d'Émission) des activités industrielles et les MTD (Meilleures Technologies Disponibles) pour atteindre les objectifs de conformité environnementale et d'optimisation de l'énergie
ICPE	Installations Classées pour l'Environnement
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau, Banque de développement allemande
MDP	Mécanisme de Développement Propre, outil finance carbone de la CCNUCC
PPECF	Programme de Promotion de l'Exploitation Certifiée des Forêts
RBUE	Règlement Bois de l'Union Européenne
TFT	The Forest Trust -Earthworm Foundation
VLE	Valeur Limite d'Émission
WWF	World Wildlife Fund - Fonds mondial pour la nature



FAO 2017. The charcoal transition -Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods



Avertissement

Ce dossier regroupe les trois parties de l'étude pour « la production de charbon de bois durable fabriqué à partir des déchets de l'industrie du bois d'Afrique Centrale » :

- Résumé de l'étude de marché, (2019)
- Évaluation du pôle industriel du bois de Port Gentil, (2019)
- Étude de faisabilité technologique. (2020)

Quelques éléments (informations ou réflexions) ont été développés indépendamment dans chacune des trois parties.

Ainsi à la lecture de ce dossier, qui regroupe les trois parties, ces mêmes éléments sont abordés plusieurs fois et nous nous en excusons.



PARTIE 1

LE CONTEXTE DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE

Cette première partie décrit le contexte global du charbon de bois dans lequel s'inscrit le « **projet de création d'une filière industrielle durable de production de charbon de bois par valorisation/carbonisation des déchets connexes des grandes industries du bois d'Afrique Centrale** ».

Elle rappelle l'intérêt des organismes internationaux et des ONG pour promouvoir des filières de valorisation durable du bois, en particulier le programme PPECF de la COMIFAC qui finance les études préalables au projet dans le but de promouvoir le développement de cette filière.

La première partie reprend les conclusions de l'étude de marché* « PPECF C166 » qui a déterminé les potentiels de commercialisation et les seuils de prix et de qualité du charbon de bois du projet pour accéder aux marchés régionaux et Européens.

Ce sont ces conclusions qui servent de cahier des charges pour la conception du modèle technique des usines de production.

→ Pour les occidentaux, le charbon de bois est un combustible très marginal, essentiellement destiné aux loisirs.

Mais cette perception occidentale ne prend pas en compte l'importance capitale de ce mode de cuisson alimentaire nécessaire à beaucoup d'autres populations du monde à faible pouvoir d'achat.

La consommation mondiale de charbon de bois ne cesse d'augmenter, elle est en majorité produite par des méthodes ancestrales et depuis 30 ans la demande accrue ne permet plus la régénération du couvert forestier source de la matière première.

C'est un enjeu majeur de la déforestation, les 57 millions de tonnes de charbon de bois consommées en 2020 correspondent à l'équivalent énergétique de 60 réacteurs nucléaires de 1000 MW et la majorité des 460 millions de tonnes du bois matière première nécessaires sont prélevées de façon non durable.

La FAO, relayée par de nombreux organismes, recherche et commence à mettre en œuvre des solutions de substitution durables.

Ce projet industriel et durable représente une des pistes possibles en utilisant/valorisant des volumes importants de bois sans valeur commerciale et destinés à l'abandon.

→ Le charbon de bois est un produit à faible valeur ajoutée. Mais les usines de transformation du bois du projet disposeront « gratuitement » de la matière première bois et c'est ce paramètre financier favorable très important qui a permis d'envisager la faisabilité du projet. L'étude de marché a défini les critères de faisabilité commerciale, les usines de carbonisation devront respecter le cadre suivant :

- Pour la logistique du transport des produits finis : la situation de l'implantation de l'usine doit être favorable face aux surcoûts et difficultés des transports régionaux,
- Excellente qualité nécessaire pour une bonne commercialisation en Europe,
- Garantie nécessaire de la durabilité de la production (certification, label) pour une bonne valorisation en Europe,
- Commercialisation de vrac en conteneur auprès d'importateurs Européens,
- Pour une commercialisation régionale : Prise en charge optimisée en interne du transport et du négoce de gros pour éviter la mainmise des oligopoles.

*Étude de marché pour la commercialisation d'un charbon de bois certifié FSC 100%, Site PPECF/COMIFAC - intervention C166 Nov. 2019- réalisée par SIDMARINE/SIDENERGIE : P.Rueyres et par WALE : E.Groutel.



LA TRANSITION DU SECTEUR DU CHARBON DE BOIS UNE NÉCESSITÉ CLIMATIQUE

L 8

Le projet d'une filière industrielle de production d'un charbon de bois tropical durable produit par la valorisation du gisement des déchets biomasse du secteur industriel de la transformation du bois, participe à « La transition verte du secteur du charbon de bois » nécessaire et recommandée par la FAO.

→ Dans l'introduction de l'étude de 2017 « Promouvoir une chaîne de valeur du charbon de bois plus verte pour atténuer les effets du changement climatique et renforcer les moyens d'existence des populations locales », la FAO souligne l'ampleur de la situation dégradée actuelle et la nécessité d'y remédier :

- Environ la moitié du bois extrait des forêts à l'échelle mondiale sert à produire de l'énergie, principalement pour la cuisson des aliments et le chauffage. Sur la quantité totale de bois utilisée comme combustible dans le monde, une proportion approximative de 17 % est transformée en charbon de bois.
- La production mondiale de charbon de bois devrait continuer à augmenter dans les décennies à venir. Le secteur du charbon de bois, en grande partie informel, constitue une source de revenu pour plus de 40 millions de personnes, mais l'absence de réglementation se traduit à la fois par une exploitation inefficace des ressources et par un manque à gagner de plusieurs milliards de dollars pour les gouvernements.
- Selon les estimations, la production et l'utilisation du bois de feu et du charbon de bois génèrent 1 à 2,4 gigatonnes (Gt) d'équivalent dioxyde de carbone, soit 2 à 7 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) d'origine humaine. Ces émissions sont en grande partie le résultat d'une gestion non durable des forêts conjuguée à un manque d'efficacité dans la fabrication du charbon de bois et dans la combustion des combustibles domestiques ligneux.
- L'écologisation de la chaîne de valeur du charbon de bois présente un potentiel considérable au regard de la réduction des GES à l'échelle mondiale. Il est possible d'intervenir à toutes les étapes de cette chaîne, notamment aux stades de l'approvisionnement et de la carbonisation, mais aussi à ceux du transport, de la distribution et de l'utilisation finale.

La carbonisation à grande échelle des rebuts non valorisés des industries du bois est une des pistes d'intervention à mettre en œuvre pour opérer le virage écologique de la chaîne de valeur du charbon de bois.

Un projet durable de 10.000 t/an de capacité de production de charbon de bois a un potentiel climatique de réduction de 100.000 t/an d'émission de CO₂ (Réf. Méthodologie AMS III BG du MDP. CCNUCC), et un fort impact socio-environnemental positif du fait de l'évitement de la dégradation des forêts, des paysages arborés et des systèmes de jachère agricole.



OBJECTIFS DU PROJET- PPECF/COMIFAC/CBG

■ Du point de vue de l'Industrie Forestière.

L 9

- En Afrique de l'Ouest comme en Afrique Centrale, il n'existe aucune production industrielle de charbon de bois pour valoriser les énormes quantités de déchets biomasse générés et abandonnés par les usines de transformation du bois.
- A Port Gentil, dans le sud-ouest du Gabon, la Compagnie des Bois du Gabon (CBG) qui transforme 150.000 m³/an de grumes, projette de créer une filière de valorisation des chutes de ses deux usines de transformation (scierie et déroulage) par un procédé moderne de carbonisation bénéficiant des meilleures technologies disponibles.
- CBG a la particularité d'être pionnier dans la gestion raisonnée et durable de ses 570.000 ha de concession forestière :
 - Toutes ses activités forestières et industrielles sont certifiées FSC (2009) et ISO 18001 OHSAS (2018),
 - Elle a engagé des partenariats actifs sur le terrain avec WWF, l'état Gabonais (2008, convention PROLAB) et le Smithsonian Institute pour la préservation de la biodiversité,
 - Elle est membre du GFTN, initiative de WWF pour promouvoir et contrôler le commerce responsable du marché mondial des produits forestiers.

→ Le projet s'inscrit dans « les objectifs de l'optimisation des usages de la ressource forestière prélevée durablement » des programmes portés par les organismes internationaux (FAO, ITTO...) et par les états d'Afrique Centrale (COMIFAC).

→ « **Le projet de carbonisation des chutes de scierie et de déroulage de CBG jouera le rôle de pilote démonstrateur pour sa duplication et pour développer la filière de production industrielle durable de charbon de bois dans le secteur de la grande industrie du bois d'Afrique Centrale et de l'Ouest.** »

■ Du point de vue de la Commercialisation d'un Charbon de bois Durable.

- De nombreuses campagnes médiatiques relaient les travaux des experts sur la responsabilité majeure du marché actuel du charbon de bois dans la dégradation des écosystèmes forestiers. L'Afrique fournit de façon non durable la majorité de son immense marché interne de première nécessité pour la cuisson des aliments, mais aussi elle fournit plus du tiers du marché Européen.
 - Les états Africains et des programmes internationaux commencent à mettre en œuvre des productions alternatives durables (de faible ampleur actuellement, 1 à 2 % du marché).
 - Des ONG environnementales (WWF, Earthworm/TFT) organisent, depuis 2014, des actions auprès des distributeurs et négociants Européens pour exclure les importations Européennes non durables en multipliant les contrôles, en dénonçant les produits douteux et en militant pour l'intégration du marché du charbon de bois au RBUE (Règlement du marché Européen du bois).
- Le charbon de bois certifié durable, produit par le projet, correspondra aux nouvelles demandes des marchés et aux objectifs des institutions en faveur de « La transition du secteur du charbon de bois vers une chaîne de valeur plus verte ».



- Le FSC soutient le projet de CBG car il s'inscrit dans sa vision d'acteur majeur de la certification de productions forestières durables et de productions de charbon de bois. (cf. annexe 3)
- La COMIFAC, dans le cadre de son programme PPECF, soutient financièrement les études préalables à la mise en place opérationnelle du projet. (Étude de marché et étude technique transférables à l'ensemble du secteur de la transformation du bois)
- Les bureaux de consultance WALE et SIDMARINE/SIDENERGIE ont réalisé « l'étude de marché ». SIDMARINE/SIDENERGIE réalise l'« étude de faisabilité technique ».

10

- L'étude technique de la conception des usines de production du charbon de bois doit respecter le cadre des « Conclusions de l'Étude de Marché » pour atteindre l'équilibre financier :
 - Un lieu d'implantation de l'usine favorable, par rapport aux surcoûts et contraintes du transport Régional,
 - Un respect des normes de qualité et une certification durable du produit,
 - Des coûts du charbon de bois « sortie usine » à 250 €/t maximum, et FOB à 280 €/t,
 - Une commercialisation en vrac à des conditionneurs/négociants Européens.

CONCLUSION DÉFAVORABLE POUR LA COMMERCIALISATION RÉGIONALE (cf. étude de marché)

- Le marché régional a besoin de « **gigantesques quantités de charbon de bois durable** » commercialisées à un niveau de prix très bas pour des ménages à faible pouvoir d'achat. *Ce besoin double tous les 25 ans.*
- Mais les marges de manœuvre, dans la conception du projet, sont très faibles pour combiner une production moderne qui respecte les critères et les surcoûts de la durabilité avec la contrainte incontournable « **du prix de marché très bas** » de cet enjeu de sécurité alimentaire. (Prix détail : de 220 à 280 €/t)
- Dans le cadre de la très faible valeur ajoutée sur le marché régional ; Élaborer un projet qui a les meilleurs atouts pour être financièrement équilibré, imposerait de :
 - Sélectionner les sites dont la situation de connexion logistique avec les villes de commercialisation est la plus favorable, afin de réduire au maximum la part importante du coût de transport,
 - Critère de proximité.
 - Critère de bon état et de fluidité du réseau routier.
 - Critère de connexion maritime opérationnelle à un coût raisonnable.
 - Prendre en charge en interne une formule, industrielle et rationnelle, du transport routier des gros volumes de vrac du charbon de bois produit.
 - Organiser un négoce relativement indépendant des oligopoles actuels, de transport et de distribution, qui captent la majorité de la faible plus-value du marché sans (pouvoir) engager des améliorations vis-à-vis des enjeux sociaux-environnementaux et climatiques négatifs de la production.
Ce point de concurrence, entre un acteur entrant et un acteur historique, serait délicat à gérer. Il pourrait être organisé en collaboration avec les pouvoirs publics pour privilégier la consommation du produit durable.



CONCLUSION FAVORABLE POUR LA COMMERCIALISATION EN EUROPE (cf. étude de marché)

- Le marché Européen du charbon de bois, d'un volume de 0,8 à 1 million de tonnes par an avec 70 % d'import, est configuré par une forte saisonnalité estivale des ventes et par une distribution au consommateur intégralement réalisée par les grandes enseignes.
- Le métier du « conditionnement, stockage et la commercialisation » du charbon de bois auprès de la grande distribution demande des investissements significatifs, un savoir-faire très spécialisé, une grande réactivité logistique, une connaissance pratique du marché et présente de grands risques logistiques et commerciaux impossibles à gérer depuis l'Afrique Centrale.
- Il est donc pertinent de baser l'étude de faisabilité sur une commercialisation, du **charbon de bois en vrac** chargé dans des conteneurs de 40', à **des importateurs/conditionneurs/négociants** européens.
- Depuis 2014, les pressions des ONG environnementales sur la grande distribution ont créé une forte demande du marché européen pour des charbons de bois certifiés durables. La nécessité d'importer 70 % du marché européen et le déficit de cette offre durable au niveau mondial, permettent d'envisager une commercialisation aisée et très correctement valorisée pour du charbon de bois certifié FSC produit industriellement par CBG ou par des projets analogues en Afrique Centrale.
- L'enquête auprès des importateurs/conditionneurs/négociants européens majeurs, accessibles à des coûts de transport cohérents, confirme leur recherche permanente de grandes quantités de produit durable muni de certifications robustes, pour des « **prix rendu usine Européenne** » de l'ordre de **420 €/t**.
L'étude des coûts du transport maritime réalisée par CBG et WALE montre qu'un « **prix sortie usine de carbonisation** » à **250 €/t** permettra d'accéder au marché Européen.
Dans les prochaines années, la tendance du prix de gros européen devrait être à la hausse du fait des demandes croissantes en charbon de bois certifié durable et de sa rareté sur le marché.
- D'après l'expérience de WALE en logistique/commercialisation de produits forestiers durables et celle de SIDENERGIE en production industrielle et commercialisation de charbon de bois, l'objectif de prix de vente déterminé par le marché européen est accessible au projet, en dégagant une marge bénéficiaire.
L'étude de faisabilité technique, process et implantation industrielle précisera les coûts réels de production les rentabilités pour plusieurs configurations du projet.
- **Les réflexions, chiffres et conclusions de cette étude de marché sont transférables à tous les « projets charbon de bois » d'entreprises de la 1^{ère} transformation de bois durable situées en Afrique Centrale, dans la mesure où elles rentrent dans le cadre du critère incontournable de proximité avec un port d'exportation.**



GISEMENT DES REBUTS DE L'INDUSTRIE DU BOIS CONTEXTE DE LA VALORISATION EN AFRIQUE CENTRALE

L 12

Conformément aux objectifs d'optimisation des économies forestières nationales, de **nombreux exploitants forestiers d'Afrique Centrale opèrent localement la première transformation des grumes** dans leurs unités de sciage et/ou de déroulage, ou dans des sites industriels nationaux (ZES).

Les scieries traitent une majorité de bois dur et produisent 45 % de chutes massives.

Quant aux usines de déroulage, elles traitent un bois tendre (okoumé) et produisent 10 % de chutes massives.

Ces industries génèrent aussi de grandes quantités de sciure et de copeaux de déroulage.

Le volume de grumes exploité en Afrique Centrale dépasse *10 millions de m³/an et donc la quantité de chutes de bois à valoriser est énorme malgré des initiatives locales de valorisation du bois de qualité inférieure et d'utilisation ponctuelle en bois énergie.

Nota : Ces chiffres sont des ordres de grandeur validés par les experts, ils ne cherchent pas la précision mais par contre ils reflètent l'importance du gisement disponible.

Face à la mise en décharge de la majorité de ce gisement inapte à une utilisation en bois d'œuvre, plusieurs pistes de « valorisation biomasse énergie » sont étudiées et mises en œuvre avec peu de succès du fait des particularités et contraintes régionales, par exemple :

- Le très faible prix local de vente du bois énergie (bois de feu et charbon de bois),
- Les coûteuses difficultés du transport des marchandises vers les centres de commercialisation régionale ou vers les ports d'exportation vers l'Europe.
- Les investissements importants nécessaires à la production d'énergie électrique à partir de la biomasse.

D'autres filières de valorisation des déchets de l'industrie du bois doivent être étudiées pour « la part des sites industriels dont la situation logistique » permet de s'affranchir des contraintes régionales de prix de vente très bas et/ou de coûts et difficultés de transport très élevés.

Ce « **contexte de situation logistique favorable** », représente une part significative de la première transformation du bois d'Afrique Centrale, par exemple pour les zones portuaires et/ou industrielles de Kribi, Douala (Cameroun), Libreville/Owendo/Nkok (Gabon), Port-Gentil (Gabon) et Pointe Noire (Congo).

Le potentiel de duplication du projet en Afrique Centrale s'inscrit dans les objectifs d'optimisation et de durabilité du secteur de l'industrie forestière, du programme du PPECF/COMIFAC.

C'est à ce titre qu'il devient un acteur majeur du soutien/lancement de l'initiative de CBG : « Création d'une production industrielle durable de charbon de bois certifié FSC »

*8 Mm³/an filière formelle (EFBC 2040), 16 Mm³/an filières formelles + informelles (FAO 2013)



CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT A COMMERCIALISER

L 13

■ Norme de Qualité.

Le produit charbon de bois pour la cuisson des aliments ou pour des usages artisanaux de chauffage est traditionnellement caractérisé par les critères intuitifs et pratiques des usagers : allumage facile, bon dégagement de chaleur, durée de la tenue au feu, étouffement du lit de braise par des petits morceaux, quantité de fumées inconfortables dégagées.

Les outils analytiques de caractérisation des combustibles permettent de rendre compte de ces critères pratiques. **La Norme NF EN 1860-2 : « Charbon de bois et briquettes, Exigences et méthodes d'essais »** établit les paramètres physico-chimiques et leur seuil à atteindre pour caractériser la qualité d'un charbon de bois

(cf. annexe 4) :

- 4.2.1. Le taux de carbone fixe (75 % minimum) : ce paramètre correspond au pouvoir calorifique du charbon de bois (« bon dégagement de chaleur »). Un taux de 82 à 85 % correspond à une très bonne qualité ;
- 4.2.2. Le taux de cendres (8 % maximum) : ce paramètre permet d'exclure tout mélange avec des matières minérales telles que de la terre parfois présente en production artisanale (« étouffement du lit de braises ») ;
- 4.2.3. Le taux d'humidité (8 % maximum) : ce paramètre correspond à des bonnes conditions de stockage hors intempéries ;
- 4.2.4. La granulométrie (80 % supérieure à 20 mm, ...) détermine la grosseur des morceaux pour assurer une bonne aération et éviter « l'étouffement du lit de braise » ;
- 4.2.5. Le taux de matière volatile résiduelle (recommandation) : il doit être faible pour éviter « les dégagements de fumées inconfortables » (et potentiellement toxiques pour l'utilisateur en milieu confiné) ;
- 4.2.6. La densité du vrac (supérieure à 130 kg/m³) : ce paramètre correspond à la concentration de pouvoir calorifique, donc à la « durée de tenue au feu ».

La commercialisation en Europe impose un respect rigoureux de cette norme et donc nécessite l'utilisation de techniques capables d'assurer une carbonisation homogène dans toute la fournaise ainsi que la reproductibilité des performances de carbonisation pour toutes les variations de caractéristiques des matières premières (espèce ligneuse, humidité, dimension). Cette contrainte exclut, a priori, les techniques artisanales de production qui ne garantissent pas les performances et la régularité des carbonisations.

■ Un charbon de bois Durable Certifié FSC.

Quel que soit le marché retenu par les projets (Régional ou/et Européen), **«Une production industrielle en Afrique centrale de charbon de bois durable Certifié FSC»** pourra se substituer à des productions informelles basées sur la destruction des écosystèmes et très souvent sur des conditions de travail et de salaires inacceptables imposées par des oligopoles maîtres des marchés intérieur et export.



La mise en place de cette production durable correspond aux objectifs des Etats, des institutions internationales et aux besoins de produits durables des marchés en termes sociaux-environnementaux et climatiques :

14

- Optimiser l'usage de la biomasse forestière prélevée ;
- Créer de la valeur partagée avec les populations en créant de la valeur ajoutée et des emplois et compétences locaux ;
- Proposer un charbon de bois durable en substitution à la production régionale actuelle informelle, acteur majeur de la déforestation, destinée aux marchés locaux et à l'exportation vers l'Europe ;
- Répondre aux besoins locaux croissants de bois énergie en fonction de la faisabilité économique ;
- Initier une nouvelle dynamique de production industrielle durable ayant un potentiel important de développement d'un nouveau flux commercial pour l'export, du fait du déficit européen de production de charbon de bois et de ses importations majoritaires de charbon de bois d'origine douteuse (déforestation, exploitation des travailleurs et parfois en provenance de réseaux mafieux) ;
- S'inscrire dans le cadre des ODD, objectifs du développement durable des Nations Unies ;
- Valoriser les services écosystémiques du projet, dont la réduction des émissions de CO2 si le travail de certification est réalisé (MDP, Gold Standard, etc.).

■ **Remarque Charbon Actif.** (Cf. annexe 2)

En extension ou parallèlement au projet charbon de bois à usage domestique, la performance de certaines techniques de carbonisation permet d'envisager la production d'une classe de charbon actif (marché de la filtration industrielle en milieu gazeux ou aqueux), par exemple à partir d'okoumé - bois tendre - cuit à haute température, (cf. annexe 5: un exemple de charbon de bois carbonisé par SIDENERGIE SA : 92,7 % de carbone fixe, 4,5 % de matières volatiles, 5,4 % d'humidité, 2,8 % de taux de cendres).

Une étude de faisabilité, pour une méthode d'activation à la vapeur à la portée d'une PME, à été réalisée en 2002 par SIDENERGIE avec le soutien de l'ANVAR. (Agence Nationale de Valorisation de la Recherche - France -)



CAHIER DES CHARGES POUR LA CONCEPTION DU MODÈLE INDUSTRIEL

UN CHARBON DE BOIS CONFORME A LA NORME NF EN 1860-2

Pour respecter de façon reproductible les critères de la norme (taux de carbone fixe cible, éviter la fragmentation des morceaux de charbon de bois pendant la cuisson), il faut une

« Technologie qui maîtrise les paramètres du milieu réactionnel de carbonisation » :

- Températures, durée des paliers de carbonisation, jusqu'à 450°,
- Vitesse de montée en température, gradient dT/dt.

L 15

UNE TECHNOLOGIE DE PRODUCTION DURABLE, CERTIFIABLE

La biomasse matière première provient des activités certifiées d'exploitation et de transformation du bois. En plus des volets organisationnels requis par les certifications,

« L'usine de carbonisation doit respecter les critères socio-environnementaux et climatique du Développement Durable pour que sa production soit certifiable ».

Ce qui induit la mise en œuvre des Meilleures Technologies Disponibles (MTD) à un coût acceptable, mises en place par la directive IED de l'UE :

- Dépollution des fumées en respectant les valeurs limites d'émission (VLE) de la communauté internationale, Cf. directive IED,
- Maîtrise des autres risques vis-à-vis des milieux (air, eau, sol) et de la santé (travailleurs, voisinage),
- L'efficacité énergétique, c'est-à-dire l'optimisation de l'usage de la biomasse matière première. Ce critère comprend deux volets :
 - o Des bons rendements de carbonisation (supérieurs à 20%),
 - o L'économie d'énergie fossile par l'utilisation thermique des fines de déchets bois (sciure, copeaux) et par l'utilisation de l'énergie thermique des fumées pour les productions de chaleur des fours, de l'épurateur de fumée et du préséchage du bois à carboniser,

UNE TECHNOLOGIE ADAPTABLE AU CONTEXTE INDUSTRIEL D'AFRIQUE CENTRALE

Les installations de carbonisation du projet seront implantées en aval des unités de transformation industrielles du bois où sont présentes les disponibilités de compétences techniques, d'énergie électrique et d'engins mécaniques.

« La maintenance doit être réalisée localement et de nombreux équipements de l'usine doivent pouvoir être fabriqués localement ».

UNE CAPACITÉ DE PRODUCTION ÉVOLUTIVE ET ADAPTABLE AU VOLUME DU GISEMENT DE DÉCHETS BOIS DE CHAQUE PROJET

« Le modèle industriel doit être adaptable aux différentes quantités de déchet bois générées par les unités ou les pôles de transformation du bois ».

DES COÛTS DE PRODUCTION ET DE TRANSPORT LOCAL COHÉRENTS AVEC LES MARCHÉS

« Pour l'export le prix sortie usine + le prix de mise à disposition FOB est environ de 280€/t et pour les ventes régionales environ 160€/t sortie usine ».



PARTIE 2

L'ÉVALUATION D'UN PÔLE INDUSTRIEL DU BOIS/PORT GENTIL

▪ Préalables.

La deuxième partie « Évaluation des contextes d'implantation d'usines de carbonisation dans des pôles industriels du bois » est réalisée pour le cas des sites industriels dont la situation logistique permet de s'affranchir des difficultés et surcoûts des transports régionaux pour l'évacuation des produits finis.

- Pour une commercialisation régionale : à proximité des grands centres urbains de consommation ; mais cela semble peu réaliste car dans ce cas les gisements de déchets bois ne sont plus disponibles : ils ont déjà un usage de bois de feu dans les agglomérations voisines.
- Pour une commercialisation à l'export : par exemple à proximité des zones portuaires et/ou industrielles de Kribi, Douala (Cameroun), Libreville/Owendo/Nkok (Gabon), Port- Gentil (Gabon) et Pointe Noire (Congo). Cela représente une part significative du volume de la première transformation du bois d'Afrique Centrale.

▪ Objectif de la Partie 2.

L'objectif est l'étude des paramètres principaux qui déterminent la capacité de production potentielle de chaque projet de carbonisation, les options techniques de carbonisation, le dimensionnement des infrastructures, les besoins en personnel et le contexte d'implantation : réglementation, coût immobilier, coût salarial et coût logistique d'évacuation des produits finis.

Plan de l'étude appliqué au modèle du pôle industriel du bois de Port Gentil :

- Gisement de déchet bois CBG/CORAWOOD, volumes, espèces/densité, usages actuels (baseline), disponibilité, PCI/humidité, évolution prévisible du gisement :
 - Bois massifs pour la carbonisation : dosses, délignures, chutes d'éboutage, cœur de déroulage, proportion bois dur/bois tendre.
 - Fines pour la production d'énergie thermique : sciures, copeaux, pelures de déroulage.
- Capacité de production potentielle.
- Identification des possibilités de pré-conditionnement des déchets bois :
 - Mise à dimension en fin de chaîne de sciage, déchiquetage,
 - Stockage, séchage à l'air libre,
 - Equipements de manutention, logistique bois matière première.
- Recensement des techniques de carbonisation :
 - Pour traiter les volumes de déchet bois et être adaptable à de nouveaux gisements complémentaires,
 - Pour produire en permanence un charbon de bonne qualité (norme NF EN 1860-2), voire de très bonne qualité dite « Qualité Restaurant »,
 - Pour produire de façon durable : sans pollution atmosphérique ni pollution des autres milieux, optimisation de la valorisation de la matière première bois, respect des bonnes conditions sanitaires des travailleurs et du voisinage,
 - Pour produire au prix marché.



- Étude du site de carbonisation :
 - o Lieu d'implantation en fonction des contraintes logistiques d'acheminement des matières premières et d'évacuation des produits finis,
 - o Surface du site : stockage matière première, séchage, broyage, carbonisation, zones de refroidissement et de stabilisation à l'air libre vis-à-vis des risques de reprise de feu, stockage des produits finis,
 - o Hangar, bureaux, vestiaires, ateliers,
 - o Viabilisation du site : génie civil, électricité, gaz, eau, équipement de lutte anti-incendie,
 - o Coût immobilier.
- Contexte réglementaire :
 - o Législation des installations classées pour l'environnement,
 - o Procédures des études d'impacts environnementales,
 - o Législations des implantations industrielles (ZES...),
 - o Législation du travail.

L 17

En fonction des volumes de déchet bois à traiter et des objectifs du projet en termes de marché cible, de durabilité de la production et de rentabilité,

La Partie 2 fournira en Conclusion :

- Un descriptif général des types de technologie à retenir,
- Un schéma général de l'usine, de ses équipements et de ses besoins en personnel,
- Un premier outil de décision pour orienter les options d'investissement ainsi qu'un cahier des charges précis pour le lancement de la recherche de fournisseurs.

La Partie 3 « Étude Technologique », après consultation des fournisseurs de technologie, produira le modèle technique et financier précis de l'implantation de l'usine : équipements, investissements, coût de fonctionnement, prévisionnel de rentabilité et contexte réglementaire.

■ **Étude de terrain du secteur industriel du bois de Port Gentil.**

La « CBG », Compagnie des Bois du Gabon, est l'initiateur du projet. Depuis deux ans elle recherche des solutions industrielles durables pour valoriser/carboniser les grandes quantités de chutes de bois de ses activités de transformation du bois. Elle envisage aussi une extension possible vers le traitement complémentaire des volumes de chutes de bois de l'entreprise voisine « Cora Wood », important industriel de la transformation du bois.

L'équipe de deux personnes, ingénieur consultant et une assistante de SIDMARINE/SIDENERGIE ancienne entreprise industrielle Française du charbon de bois, a été accueillie par la direction de CBG en Mars 2018 et en Septembre 2019. (SIDENERGIE, 25 ans de fonctionnement, 400 000 tonnes de bois carbonisées, prod : 3000 t/an de charbon de bois, contrat cadre de recyclage national exclusif des traverses bois HS de la SNCF, mise au point de nouveaux process de carbonisation et d'épuration des fumées en collaboration avec le CIRAD, ventes charbon de bois à la grande distribution France et Suisse, ISO 14001 Management Environnemental)

La « CBG » a mis à la disposition des différents volets de l'étude tous les directeurs et leurs équipes techniques nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'activité.

De nombreuses revues de direction ont été organisées pour encadrer les hypothèses du schéma de production élaboré à la suite des travaux de terrain.

Le compte rendu de la Partie 2 repose essentiellement sur la mobilisation, le travail et les analyses des flux matière des cadres de « CBG ».



CARACTÉRISATION ET VOLUME DES DÉCHETS BOIS DE CBG/CORAWOOD BASELINE-NUISANCES/HYPOTHÈSES DE CAPACITÉS DE CARBONISATION

▪ Étude générale sur la production de déchets biomasse des scieries.

De nombreuses études sur les rebuts biomasse connexes à l'industrie de la première transformation du bois font un inventaire des types et des proportions des déchets bois de ce secteur industriel.

L'article « **Valorisation énergétique des sous produits de scierie* » de P. Girard, F. Pinta et L. Van de Steene du CIRAD, répertorie et quantifie les types de sous-produits générés par les différentes séquences du process (les sections et pourcentages sont des ordres de grandeur) :

- Les purges de parc à grumes et les chutes de tronçonnage des grumes avant sciage : ce sont des blocs massifs, rondelles de même section que la grume, de 0,1 à 1,5 m de long,
- Les écorces, les déchets de balayage du site,
- Les dosses (première section arrondie de la bille) contiennent l'aubier. Quand **l'aubier est de 5 cm sur le rayon, pour un diamètre de bille de 1 m, la perte est de 20% pour les qualités exportées n'acceptant pas l'aubier.* Épaisseur : de 1 à 20 cm, Longueur : 2 à 6m, largeur 20 à 50 cm,
- Les délignures proviennent de la mise à l'équerre des bords des planches brutes taillées dans la grume. **Longueur inférieure ou égale à celle des dosses,* Épaisseur des planches de 1,5 à 10 cm, elles représentent quelques % mais une partie est utilisée comme tasseaux de calage pour le conditionnement des lots d'avivés,
- Les chutes d'éboutage proviennent **de la mise à longueur des avivés et de l'élimination des défauts de nœuds et de pourritures, elles représentent 13% de la grume.* Ce sont des petites surfaces de planches qui ont des dimensions directement utilisables pour la carbonisation,
- Les défauts de cœur au sciage, **en particulier pour les bois rouges dont le cœur présente des fentes jusqu'à 15 cm du centre, ils peuvent conduire à une perte de 10% du volume de la grume,*
- La sciure dépend de l'épaisseur de la lame de coupe par rapport à l'épaisseur de l'avivé. **Exemple de calcul : Pour une épaisseur de planche de 25 mm et une lame de 5 mm la perte est de 16% et de 9% pour une planche de 50mm, de plus le délignage en largeur produit 4,6% de sciure en plus et l'éboutage 1 % supplémentaire. La perte totale, incompressible, sous forme de sciure est de l'ordre de 16%.*

La particularité des essences et le degré de performance technique de la scierie, en particulier de l'atelier d'affutage, influent sur le ratio productivité/déchet. D'une manière générale les rendements de production d'avivés oscillent entre 30 et 40 % et le volume des déchets bois représente les 2/3 des grumes entrants.

Ces données sur les quantités de déchets peuvent être **légèrement modifiées à la baisse par des surcotes sur les avivés commercialisés à l'export imposées par les règles du marché international, à cause du retrait au séchage (règles ATIBT).*

Remarque. Déchets biomasse des usines de déroulage :

- Les fines sont les copeaux de déroulage, soit environ 5% de la grume,
- Les chutes massives à redimensionner : soit 4 à 5% de la grume, ce sont les cœurs de déroulage et les rondelles de mise à longueur des billes.



■ Caractéristiques des déchets pour une Valorisation/ Carbonisation.

Humidité des déchets bois matière première.

L'humidité du bois est un paramètre défavorable à toute utilisation thermique de la biomasse. A la production, le déchet a la même humidité que la bille de bois d'origine soit (selon l'essence) 40% sur brut, mais la méthode de stockage avant valorisation peut modifier positivement ou négativement de façon significative ce paramètre.

Dimension des déchets bois matière première.

- Les fines : sciures, 16% + écorces et balayures, non carbonisables, mais l'utilisation de leur potentiel thermique est fondamentale pour obtenir de bons rendements de carbonisation (optimisation de l'usage de la biomasse entrante et économie ou substitution totale de l'énergie fossile nécessaire à l'épuration des fumées),
- Les déchets massifs prêts à carboniser : les chutes d'éboutage, 13%,
- Les déchets massifs à redimensionner par sciage complémentaire ou déchiquetage (une dimension maîtrisée est nécessaire pour homogénéiser les temps de carbonisation) : les dosses, délignures, défauts de cœur, rondelles et blocs de grumes représentent 30 à 35%,

Le volume de fines est considérable, le calcul ultérieur des besoins thermiques du process démontre que leur disponibilité dépasse le besoin.

Le volume de chutes massives à carboniser (45 à 50% des grumes entrants) est plus important que le volume d'avivés commercialisés. Leur valorisation est un enjeu majeur de l'optimisation de l'usage de la biomasse forestière prélevée.

Remarque sur les fines :

La carbonisation des fines pour la production de briquettes agglomérées demande d'importants équipements (carbonisation spécifique, presse, produit liant, séchoir tunnel, énergie) qui ne peuvent être amortis qu'à partir de 5 000 à 10 000 t/an de production. C'est-à-dire la carbonisation de 22 000 à 50 000 t/an de sciure, ce qui est colossal et n'est éventuellement accessible que dans les ZES qui regroupent de nombreuses industries du bois.



Chutes d'éboutage de bois.CBG.



Sciage deuxième choix bois durs. CBG.



Dosses, délignures bois dur. CBG.



Rondelles de grumes d'Okoumé. CPBG.



Cœurs de déroulage d'Okoumé. CPBG.



Fines : copeaux de déroulage d'Okoumé. CPBG.



Fines : sciure bois denses. CBG.



■ Baseline Port Gentil.

Problématiques/Solutions actuelles pour la gestion des volumes de déchets bois.

L 22

Valorisation en interne /Usage Thermique.

Une partie des fines est utilisée dans les process internes pour produire l'énergie thermique nécessaire au séchoir à bois de la scierie de CBG et au séchoir des feuilles de déroulage de l'usine CPBG.

- Consommation séchoir CBG : Foyer 3 MW max, 10 à 15 t/jour de sciure soit environ 3000 t/an valorisées sur les 8000 t/an, équivalent sec, produites.
- Consommation séchoir CPBG : Foyer : 2 MW max, 20 m³/jour de copeaux déchiquetés, soit environ 600 t (sec)/an ce qui correspond à la production annuelle de copeaux.

Valorisation locale /Mise à la disposition de menuisiers.

- Chez CBG et CPBG des déchets bois sont mis à disposition d'utilisateurs locaux, gratuitement ou à petit prix.
- Régulièrement, des camions benne viennent charger des dosses ou des sciages de deuxième choix pour des menuisiers et des charpentiers.
- Occasionnellement, des sciures sont utilisées en sous-couche routière ou en complément pour la fabrication de compost chez un maraicher bio.

Ces filières informelles de valorisation locales sont très intéressantes mais elles sont loin de permettre la gestion complète de l'important volume de déchet bois. Plusieurs dizaines de milliers de tonnes par an restent sans filière valorisation et doivent être éliminées.

Élimination.

Lorsque les filières bois énergie et menuiserie dans une ville voisine ne sont pas disponibles, les industries du bois, d'Afrique Centrale et de très nombreux pays, sont contraintes de pratiquer l'enfouissement et/ou le brûlage à l'air libre face à la nécessité de réduire ou de faire disparaître ces énormes volumes de déchets bois non utilisés localement.



Brûlage à l'air libre de déchets de scierie.

- **Les nuisances de l'élimination des volumes de déchets bois.**

L'enfouissement des déchets bois.

La décomposition anaérobie de toute matière organique dégage du méthane qui a un pouvoir de réchauffement climatique 21 fois plus fort que le CO₂.

La méthodologie « ACM 0022 Alternative waste treatment process/*SWDS » du MDP de la CCNUCC permet d'évaluer le dégagement de méthane à 5500 t/an d'équivalent CO₂ pour 20 000 t/an de bois enfoui. (*SWDS : Solid Waste Disposal Site)

D'autre part, le lessivage par les pluies des zones d'enfouissement entraîne de fortes concentrations polluantes de tannins et de nombreux produits de décomposition du bois dans le sol et dans les eaux souterraines.

23



Site d'enfouissement et de brûlage de déchets de scierie, dans une ZES, Pôle industriel du bois.

Le brûlage à l'air libre.

Le brûlage de 20 000 t/an de bois dégage 35 000 t/an de CO₂ sans utilité énergétique.

D'autre part la combustion naturelle à l'air libre non maîtrisée et souvent sous la pluie, se réalise dans de très mauvaises conditions thermiques.

La combustion est incomplète, elle dégage de grandes quantités de fumées épaisses et incommodantes qui contiennent des COV imbrûlés (composés organiques volatils) dont les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) très cancérigènes pour certains d'entre eux (BaP, benzo-a-pyrène) et les Dioxines et Furanes qui sont hyper-toxiques à des concentrations infinitésimales dans l'air ambiant (cf. en 1995 les campagnes Européennes drastiques de fermeture ou de reconfiguration des incinérateurs d'ordure ménagère non conformes sur leurs rejets de dioxines).

- **Gisement de déchet bois de CBG, Port Gentil.**

Le recensement précis de toutes les sources de déchets bois, réalisé sous la conduite des directeurs des deux usines de transformation (Mr Gilles Bona pour CPBG et Mr Jean Philippe Gailhard pour CBG) et sous la conduite de Mr Pierre François Merlin DGA de CBG, a permis d'établir le récapitulatif suivant basé sur les chiffres de la production 2018.

Les perspectives 2019 et 2020 sont exactement du même ordre de grandeur pour les volumes, seule la proportion des différentes essences traitées peut varier de façon limitée.



Charbon de bois CBG / Enquête de Septembre 2019

Gisement Déchets Bois/an - chiffres basés sur la production de l'exercice 2018

24

Essence	Transformé Grumes m ³	Production Sciages m ³	Déchets fines m ³	Déchets massifs m ³ →	Tonnage Equivalent bois vert	Tonnage Equivalent bois sec à 12%
DÉCHETS MASSIFS SCIERIE = 21 359 tonnes à 12 % d'humidité (bois durs)						
Azobé	21 640	9 738	1 190	11 902	13 925	11 354
Gombé	32 283	11 000	3 300	9 600	9 600	6 144
Autres essences	9 600	4 200	960	4 440	4 000	3 374
Okoumé	4 446	1 655	670	1 108	720	487
Total	67 969	26 593	6120 m³	27050		21 359 t/an
DÉCHETS MASSIFS DÉROULAGE = 1 800 tonnes à 12 % d'humidité (uniquement Okoumé)						
	50 000	32 500	4 800			
Rondelles				1 100		
Noyaux				3 000		
Total			4800 m³	4 100		1 800 t/an

Total du gisement CBG à traiter :

**23 159 t/an, bois massif sec à 12%
Dont 90% de bois dense à très dense**

- Bois très dense, densité : 1,06 sec (Azobé) : 11 354 t → 49 %
- Bois très dense, densité : 1,0 sec (Gombé) : 6 144 t → 26,5 %
- Bois dense, densité : 0,76 sec (Autres essences) : 3 374 t → 14,6 %
- Bois tendre, densité : 0,44 sec (Okoumé) : 2 287 t → 9,9 %

▪ **Gisement de déchet bois de CoraWood, Port Gentil.**

La scierie de CoraWood a la même capacité (2000 m³/mois) de production que CBG, avec des pratiques actuelles de gestion des déchets analogues. Elle dispose du même ordre de grandeur de déchets à traiter que CBG, **soit 20 000 t/an en équivalent bois sec.**

▪ **Capacité potentielle de production de charbon de bois.**

Pour traiter le gisement de CBG, il faut une capacité de production 5000 à 6000 t/an,
Le traitement complémentaire du gisement de CoraWood nécessiterait d'augmenter la capacité à 10 000 t/an.

On peut envisager une capacité de production initiale de 5500 t/an de charbon de bois, tout en concevant des matériels de base et en retenant un site d'implantation qui permettent une évolution vers 10 000 t/an.

ANALYSE - LOGISTIQUE/PRÉCONDITIONNEMENT- DES DÉCHETS BOIS

Il est important de percevoir que les opérations de collecte, de préconditionnement et d'acheminement de 23 000 t/an de déchet bois (équivalent bois sec) demandent une véritable organisation industrielle. En effet, cette quantité de bois à prendre en charge représente plus de la moitié de la masse de bois acheminée chaque année à la scierie CBG, mais sous forme d'une multitude (de 2 à 4 millions) de morceaux de bois de toutes grandeurs et beaucoup plus difficiles à manipuler que les billes de grandes dimensions.

L 25



Pour 200 jours de fonctionnement cela représente 115 t/jour soit 200 à 250 fagots/jour tels que sur la photo ci-dessus.

■ **Le dimensionnement du bois, un paramètre fondamental des carbonisations.**

La chaleur doit pénétrer au cœur du bois pour obtenir une carbonisation homogène et respecter les critères de la norme NF EN 1860-2 (taux de carbone fixe élevé et régulier, peu de COV résiduels, absence d'incuits).

Le temps de cuisson à cœur dépend de l'épaisseur (la section) du morceau de bois. On peut carboniser de très grosses sections, telles que des billes entières ou des souches, mais le temps de cuisson durera entre 5 et 15 jours et mobilisera le four sans pouvoir relancer une nouvelle production.

→ **Pour respecter la norme NF EN 1860-2 dans toute la fournée : il faut enfourner des bois de dimension (section) homogène.**

→ **Pour pouvoir optimiser la productivité des fours : il faut maîtriser des temps de cuisson rapides donc il faut enfourner des bois de petite section.**

Le préconditionnement homogène du bois en petite section est donc l'opération fondamentale préalable à toute production industrielle de charbon de bois.

■ **Le transport du gisement de déchets bois.**

L'efficacité du transport du bois vers le site de carbonisation dépend directement de l'optimisation du chargement des camions. Le foisonnement des morceaux de différentes dimensions est un handicap au chargement des camions qui oblige à démultiplier le nombre de navettes.

Donc le transport des « déchets de bois brut sortie scierie » qui oblige à transporter de faibles charges est peu efficace et très coûteux.

Pour approvisionner 23 000 t/an, cette solution nécessiterait une dizaine de navettes poids-lourd par jour et, de nouveau, un gros travail de manutention sur le site de carbonisation.

26



Foisonnement du bois : reprise manuelle nécessaire

Par contre, le « préconditionnement/dimensionnement des déchets bois sur le site de la scierie » permet d'optimiser le chargement et le transport de l'approvisionnement bois vers le site de carbonisation. Il permet aussi d'envisager le chargement direct dans les conteneurs de carbonisation puis leur transport vers les fours de carbonisation sans manipulation supplémentaire.

Un plateau semi-remorque peut transporter 7 ou 8 conteneurs de bois prêts à enfourner, ce qui nécessiterait 6 à 7 navettes par jour.

■ **Techniques de dimensionnement du bois.**

La dimension des bois qui permet des cycles de carbonisation rapides, est de 10 x 10 cm maximum en section et de 30 cm en longueur.

Cette dimension optimise le chargement des bennes de transport ou des conteneurs de carbonisation tout en permettant la circulation des gaz chauds dans la charge de bois à carboniser.

La fragmentation du bois doit produire des petits « blocs de bois massifs » et minimiser la quantité de fines, perdues pour la production.

- **Le broyage** qui fragmente le bois par des chocs est à exclure car il défibre le bois en créant beaucoup de fines.



Bois déchiqueté/chips/plaquettes : présence de fines et de bois défibré.



- **Le déchetage par des couteaux** produit des « chips » de bois. Mais il est difficile d'obtenir des chips/plaquettes de grande dimension, compatibles avec la granulométrie requise pour le charbon de bois. A notre connaissance, cette technique n'est utilisée que par un carbonisateur qui a mis au point une machine à déchetter spécialement adaptée à des petits rondins de bois.
- **Le sciage à plusieurs lames** des fagots de dosses et de délignures est la pratique habituelle des carbonisateurs.
Sur le site de la scierie, cette opération peut être organisée comme une ligne de production supplémentaire qui absorberait en continu tous les déchets massifs et les évacuerait automatiquement dans les bennes de transport ou directement dans les conteneurs de carbonisation à transporter vers le site de carbonisation.

L 27

■ **Le lieu du site de préconditionnement/dimensionnement du bois.**

Le choix de réaliser cette opération sur le site de la scierie ou sur le site de carbonisation devra faire l'objet d'une étude spécifique à chaque projet.

Chacune des deux options a de grandes répercussions sur le mode de fonctionnement de la scierie et sur le mode et le coût de transport des déchets bois vers le site de carbonisation.

LE DIMENSIONNEMENT DES DÉCHETS BOIS SUR LE SITE DE LA SCIERIE, DIRECTEMENT EN AVAL DES LIGNES DE SCIAGE :

Si elle est admissible par l'organisation de la scierie, cette solution logique et économique permettra de « charger mécaniquement les petits morceaux de bois » dans les bennes ou dans les conteneurs de carbonisation, au mieux de leur capacité pour l'évacuation vers le site de carbonisation.

Dans ce cas, la reprise sur le site de carbonisation sera elle aussi mécanisée, rapide et peu coûteuse.

Cette solution optimisée nécessite la mise en place d'une nouvelle gestion des déchets au sein de la scierie.

Mais la surcharge de travail pour la scierie ne sera pas importante car l'opération de manutention des déchets qui représente la principale charge de travail de cette nouvelle activité de redimensionnement des bois, existe déjà dans le fonctionnement actuel de la scierie.

La revue de direction de CBG du 20 Septembre 2019 a retenu cette solution.

La décision d'opérer le préconditionnement du bois sur le site de la scierie sera facilitée dans les cas où l'initiative du projet de carbonisation est portée par la direction de la scierie.

LE DIMENSIONNEMENT DU BOIS SUR LE SITE DE CARBONISATION :

Cette solution impose « le transport du bois brut sortie scierie ». Le chargement de ces bois de toutes dimensions demande un grand travail mécanique et manuel de reprise et d'alignement pour charger les véhicules sans toutefois pouvoir optimiser les chargements : camions plus nombreux et opération plus coûteuse.

La reprise sur le site de carbonisation sera à nouveau en partie manuelle, lente et coûteuse.

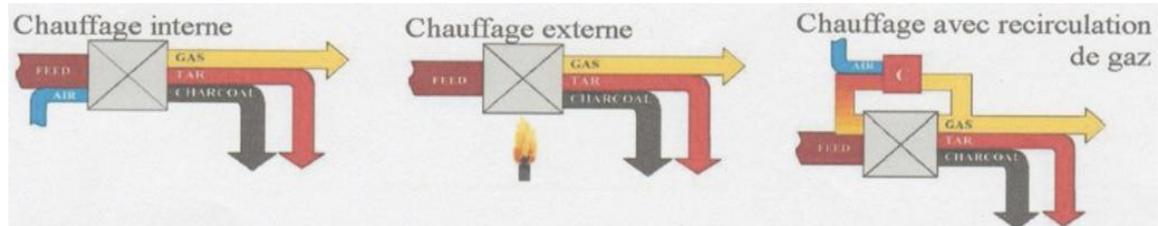
INVENTAIRE DES TECHNOLOGIES DE CARBONISATION

La transformation du bois en charbon de bois est une activité directement associée au feu de bois. Tout au long de l'histoire une multitude de techniques de carbonisation ont été mises au point.

La carbonisation du bois produit du charbon de bois, mais aussi des goudrons, de l'acide acétique, des tannins et une grande quantité de produits chimiques de valeur, qui proviennent des « jus pyrolygneux » issus de la condensation des fumées. Par exemple pendant des millénaires la marine en bois a été un important consommateur de goudrons et d'huiles de bois pour calfater les navires et pour enduire les cordages (brai de Norvège, créosote de bois, coaltar).

Les technologies de production se sont créées dans de nombreux contextes différents, depuis le contexte artisanal rustique, ou des productions historiques intensives et très techniques pour fournir des secteurs d'activité (marine, tannerie, combustible urbain, sidérurgie, forges...), jusqu'au contexte industriel moderne hyper optimisé.

Le schéma suivant (Grönli, 1999) présente les 3 familles technologiques de la carbonisation en fonction des différents procédés de chauffage. Chaque famille peut être déclinée en de nombreux process selon la capacité d'investissement, l'environnement technologique et le produit final recherché (charbon combustible, carbone réducteur pour minerais de fer, de silicium, charbon actif, goudron (tar) pour calfater les navires ou additif peinture, tannins..).



Présentation des techniques de carbonisation.

1. LES FOURS A COMBUSTION PARTIELLE, « CHAUFFAGE INTERNE » :

Ce sont des enceintes qui contiennent une masse de bois dont une partie brûlera pour produire la chaleur nécessaire à la carbonisation de l'autre partie du bois.

La conduite des carbonisations se fait en gérant les entrées de l'air nécessaire à la combustion partielle du bois pour la production de chaleur et en appréciant la couleur des fumées dégagées à l'atmosphère pour déterminer le degré de cuisson de la charge.

Le fonctionnement est basé sur des tirages naturels d'air chaud et sur la finesse du savoir faire du charbonnier, aucune technologie n'est nécessaire.

Ce principe artisanal et généralisé de fours est utilisé, de la petite à la très grande échelle, par les productions de charbon de bois en meules, en fosses, en enceintes métalliques, en enceintes maçonnées. Les fumées polluantes sont dégagées à l'atmosphère, sauf pour les batteries de fours améliorées avec un équipement d'incinération des fumées.

Après la cuisson et pour diminuer (sans garantie) les risques de reprise de feu au défournement à l'air libre, ces fours sont mobilisés très longtemps pour refroidir la masse de charbon de bois avant défournement. Cette longue période de mobilisation des fours pour le refroidissement (de quelques jours à plusieurs semaines) empêche de relancer une production après la cuisson, elle est perdue pour la productivité du four.

Pour avoir de grandes capacités de production avec ces fours, il faut démultiplier le nombre de fours jusqu'à plusieurs dizaines qui occupent de très grandes surfaces et/ou démultiplier la dimension de chaque four jusqu'à quelques centaines de m³.

Ces techniques rustiques et autonomes (vis-à-vis de la consommation d'électricité et des technologies modernes) qui nécessitent peu d'investissement, sont utilisées par les productions artisanales et industrielles qui ne prennent pas en compte les objectifs d'optimisation énergétique et de limitation des rejets dans l'environnement.

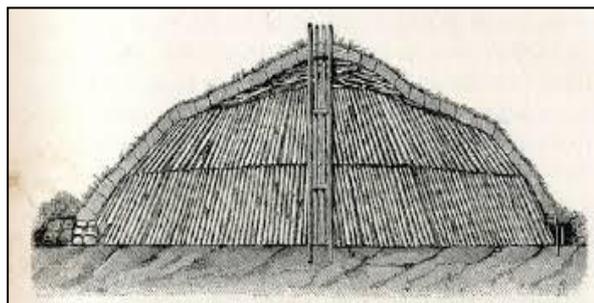
La majorité du charbon de bois mondial est fabriquée par ce type de fours. Ils sont utilisés à grande échelle par le secteur informel du charbon de bois à usages domestique et export d'Afrique (30 millions de tonnes par an !, 63% de la production mondiale) et par une grande partie du secteur industriel sidérurgique du Brésil (8 millions de tonnes par an !!).

Mais ces techniques à faible rendement sont extrêmement polluantes, consomment énormément de bois matière première et leurs nombreux emplois sont souvent précaires.

L 29

1.1. Les fours « traditionnels » à combustion partielle :

- 1.1.1. En « fosses et meules » itinérantes, avec une infinité de variantes artisanales et régionales ; ces productions ont été durables pendant des millénaires pour des productions limitées adaptées aux consommations locales, mais elles se sont démultipliées face aux énormes demandes des marchés modernes, avec de forts impacts socio-environnementaux négatifs essentiellement dus à la déforestation.



- 1.1.2. Dans des « enceintes construites en tôle ou en maçonnerie » de pierres ou de briques, de toutes dimensions et en batteries de nombreux fours.





1.2. Les fours « améliorés » à combustion partielle :

Les améliorations peuvent porter sur différentes caractéristiques des fours :

- 1.2.1. **Augmentation des dimensions des fours pour « mécaniser les chargements »** et déchargements. Mais la très longue durée du refroidissement de la charge avant le défournement mobilise le four avant de pouvoir lancer la production suivante et limite la productivité des fours.



« Fours Missouri » au Brésil. Ex : 400 m³

- 1.2.2. « **Collecte et incinération des fumées** » d'une batterie de fours.
Cette amélioration très intéressante élimine la majeure partie de la pollution atmosphérique. La technique éprouvée de «CML» équipe une quinzaine d'usines de carbonisation dans le monde.



Batterie de 12 fours « CML/LRCB » : collecte/incinération des fumées et défournement à chaud



1.2.3. « **Défournement à chaud** » et par gravité dans des conteneurs étouffoirs.

Cette amélioration optimise considérablement la productivité des fours car elle libère rapidement chaque four après la cuisson, pour relancer la nouvelle carbonisation. Cette amélioration équipe les fours « **CML** ».

31

2. LES FOURS A « CHAUFFAGE EXTERNE » :

L'économie du bois brûlé en interne pour fournir la chaleur nécessaire à la carbonisation est une des voies principales de l'amélioration du rendement de carbonisation.

Beaucoup de conceptions de fours cherchent à utiliser le potentiel thermique contenu dans les fumées de carbonisation du bois.

Ces fumées sont composées de micro-gouttelettes de goudron et de produits organiques combustibles. Elles contiennent la moitié du pouvoir calorifique du bois enfourné et sont très polluantes lorsqu'elles sont dégagées à l'atmosphère.

Hormis la vapeur d'eau issue du début de la carbonisation (séchage du bois), les fumées de carbonisation s'enflamment spontanément dans des conditions opératoires adéquates.

Cette incinération des fumées, bien conduite :

- Dépollue les dégagements atmosphériques de carbonisation, en détruisant les molécules organiques toxiques et en les transformant en produits de combustion propres : CO₂, H₂O, N₂.
- Produit une très grande quantité d'énergie thermique qui peut être utilisée pour fournir la chaleur nécessaire au préséchage du bois et aux carbonisations et donc se substituer à la perte par combustion interne du bois des fours traditionnels.

Toutefois « l'incinération/dépollution/utilisation de l'énergie thermique- des fumées - » est un ensemble d'opérations techniques qui requière :

- Du matériel de génie chimique : incinérateur en briques réfractaires, ventilateurs basse et haute température, sondes de température, une régulation automatique, un réseau de tuyauterie et ses vannes ...,
- Un savoir faire pour calculer le dimensionnement des matériels en fonction des fluctuations des grandes puissances thermiques dégagées par l'incinération des fumées et pour organiser l'utilisation de cette énergie en fonction des besoins des différentes phases de carbonisation,
- Une consommation d'électricité,
- Des compétences techniques de base pour comprendre et conduire l'ensemble fours/incinérateur.

Depuis 15 ans, pour des raisons de « contraintes règlementaires sur la dépollution des rejets atmosphériques » combinées avec la recherche de meilleurs rendements, quelques productions artisanales et beaucoup d'entreprises industrielles modernes utilisent la dépollution des fumées pour fournir l'énergie des carbonisations ou/et du préséchage des bois entrants et ainsi optimiser les rendements.

De nombreuses techniques ont été conçues :

- Les fours qui chauffent les parois extérieures des enceintes étanches de carbonisation : « Les fours cornue/chauffage externe ».
- Les fours qui chauffent l'enceinte de carbonisation par l'intérieur, en forçant des gaz chauds à travers la charge de bois à carboniser : « Les fours à recirculation de gaz chauds », ces fours permettent une excellente maîtrise des températures et des temps de carbonisation.

2.1. Les fours artisanaux à chauffage externe :

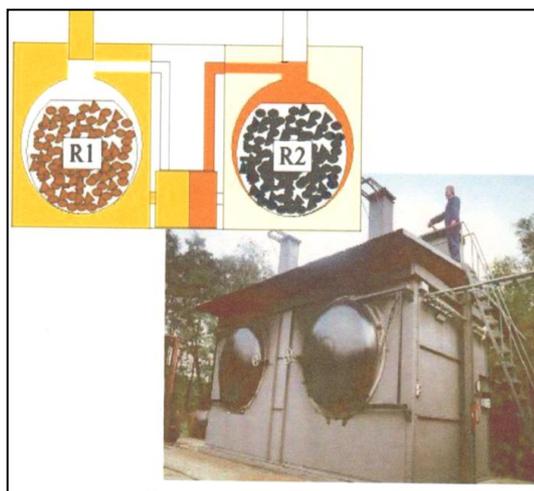
2.1.1. « Les fours cornue » artisanaux.

Ils sont composés de deux enceintes de carbonisation qui fonctionnent en relais et qui sont chauffées par l'extérieur. Ces enceintes sont reliées à une petite chambre d'incinération des fumées dont le brûleur de soutien, nécessaire à l'inflammation des fumées, fonctionne avec de petites quantités de bois ou de combustible fossile. Les enceintes de carbonisation sont chargées avec des petits conteneurs remplis du bois à carboniser. Pour que la durée de cuisson soit courte il faut que les conteneurs soient d'un petit volume, ce qui limite la productivité. Lorsqu'une enceinte est en phase de carbonisation, ses fumées de carbonisation sont orientées et détruites dans l'incinérateur des fumées. La chaleur générée par l'incinération des fumées de la première enceinte en phase de carbonisation est orientée vers la deuxième enceinte pour chauffer, sécher et lancer la carbonisation d'un autre conteneur de bois.

32

■ Couple de fours « VRM ».

- « Van Marion Retort » Fours cornue, Chauffage extérieur, 2 enceintes de carbonisation de 4,5 m³.
- Ces fours nécessitent du bois sec, sinon la quantité de chaleur de l'épuration des fumées de la première charge n'est pas suffisante pour sécher et lancer la carbonisation suivante.
- La licence de ces fours est reprise et améliorée par la Sté « Movi. nl » qui a développé le type de fours améliorés présenté ci-dessous.



■ Couple de fours « MC Charcoal Furnace » de la société MOVI.nl.

Cet ensemble, de [2 cornues, 1 séchoir, 1 incinérateur de fumée] avec l'utilisation de la chaleur des fumées pour alimenter les carbonisations et le préséchage du bois, bénéficie de l'expérience des nombreuses années de fonctionnement des fours VRM. Capacité de production : 800 t/an.



▪ **Couple de fours « Carbon Cub ».**

Un projet d'installation d'une unité artisanale de valorisation des déchets bois d'une petite scierie à Douala est à l'étude avec cette technologie.

Conception

- Chargement frontal des container (3,5 m³ chacun)
- Démarrage avec un four à bois
- Les gaz dégagés sont réinjecté pour chauffer les fours
-
- Chaque réacteur change d'utilisation à chaque cycle : de sécheur il devient four de carbonisation



Four « Carbon Cub »/ Mr Louvigny

2.1.2. « Les fours à circulation de gaz chauds » artisanaux, foyers extérieurs.

Ils fonctionnent avec l'énergie thermique des gaz chauds issus de la combustion d'un petit foyer à bois contigu au four de carbonisation. Ces gaz chauds traversent la charge de bois de la chambre de carbonisation pour sécher le bois et lancer la carbonisation.

La problématique, très difficile à maîtriser, est d'envoyer des gaz chauds avec peu d'oxygène donc avec un faible excès d'air, au risque de brûler la charge à carboniser. Il faut régler très précisément l'air comburant du petit foyer à bois, ce qui est délicat à réaliser de façon artisanale.

▪ **Four « GMDR ». Foyer extérieur - incinération partielle des fumées.**

Ce four en maçonnerie peu coûteux (3000 à 5000 €), a un bon rendement, mais son temps de refroidissement est long. En usage artisanal cela laisse du temps, si nécessaire, pour acheminer et préparer le bois.

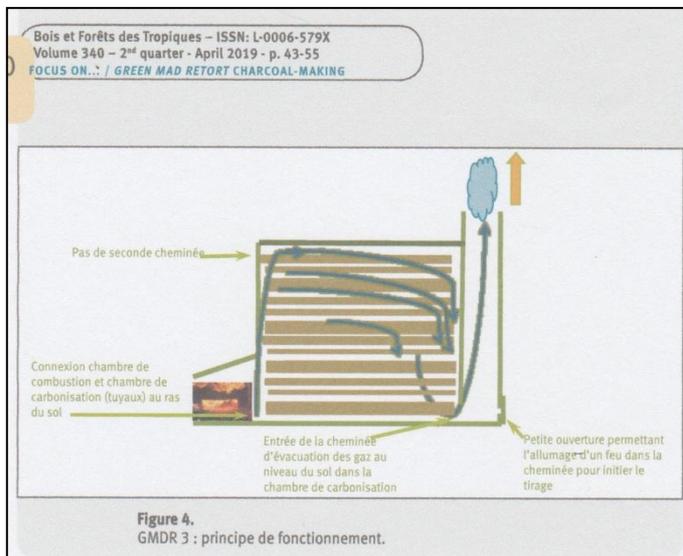


Figure 4. GMDR 3 : principe de fonctionnement.

Tableau IV.
Caractéristiques des carbonisations réalisées

	Unités	GMDR 2 Moyenne (écart-type)	GMDR 3 Moyenne (écart-type)
Répétition	N	23	25
Durée de la carbonisation	H	53 (14,0)	50 (11,6)
Masse charge	kg	3 092 (307)	3 031 (192)
Humidité charge	%	36 (3,5)	36 (2,6)
Masse combustible	kg	231 (67)	242 (66)
Humidité combustible	%	36 (3,5)	36 (2,6)
Masse charbon	kg	728 (94)	675 (74)
Masse poudre	kg	69 (17)	63 (24)
Masse incuits	kg	1 (5)	32 (34)
Masse charge anhydre	kg	1 992 (240)	1 944 (145)
Masse combustible anhydre	kg	148 (42)	155 (41)
Masse charbon anhydre	kg	692 (89)	642 (70)
Masse fines anhydre	kg	66 (16)	60 (23)
Masse incuits anhydre	kg	1 (5)	28 (30)
N sac de charbon	%	83 (12)	75 (7)
Masse moyenne des sacs	kg	8,8 (0,4)	9,0 (0,5)
Rendement massique	%	35,6 (3,2)	33,9 (2,4)
Rendement commercial	%	32,4 (3,2)	31,0 (2,5)
Pourcentage combustible dans masse totale	%	7,5 (2,1)	8,0 (2,1)

Four « GMDR » (Green Mad Retort) étudié par le CIRAD à Madagascar.



Il existe d'autres fabrications de fours à chauffage externe adaptés à des productions artisanales, dont certaines sont fabriquées à partir de conteneurs ou de fûts recyclés.

2.2. Les fours industriels à chauffage externe :

2.2.1. « Les fours cornue industriels »

▪ Les batteries de fours cornue « VMR » ou « MC Charcoal Furnace » de la société MOVI.nl.

Déjà vus en production artisanale, ils peuvent être installés en grand nombre pour atteindre plusieurs milliers de tonnes par an de capacité de production. En France, en Pologne et dans les pays Baltes de nombreuses entreprises sont équipées de la technologie VMR/MC.

Les cycles de carbonisation sont de l'ordre de 10 heures, pour un volume de conteneur de bois de 5,7 m³. Les défournements se font à chaud et le refroidissement se fait sous des étouffoirs métalliques sur une aire dédiée.

Cette technologie, comme toutes celles qui fonctionnent « en batch » (fournées successives, par opposition aux fours qui fonctionnent de façon continue), a besoin d'une importante quantité (100 à 200) de conteneurs de bois mobilisés en rotation pour charger et présécher le bois, pour carboniser et pour le refroidissement de 2 jours.

Le petit volume des conteneurs, nécessaire à la rapidité des cuissons, demande beaucoup de manipulations et de carbonisations pour atteindre de grandes capacités de production.

Batteries de fours « VMR », conteneur de bois à enfourner, étouffoirs.





▪ **Les batteries de fours cornue « Green Eco Furnace » de la société MOVI.nl.**

Cette technologie « Green Eco Furnace » est le résultat des améliorations élaborées au cours des trente années d'expérience en fonctionnement industriel des deux technologies historiques de la société MOVI : « MC Furnace » et « HEAD » décrites ci-dessous.

Ces technologies sont en service depuis 1988 dans 23 entreprises situées dans 14 pays de tous types d'environnements technologiques (Australie, Inde, RDC...).

Le process est un ensemble de deux cornues raccordées à un incinérateur de fumée qui redistribue les gaz chauds alternativement vers les cornues à carboniser : bonne épuration des fumées.

Les conteneurs (vessels) de bois à carboniser sont chargés dans les cornues par le haut à l'aide d'un portique de levage monté sur rail.

Chaque conteneur de bois a une contenance de 3,7 m³ utile.

La technologie nécessite très peu d'électricité, 5 KW par intermittence pour les palans du portique et 1 KW pour les sondes de température et l'automate ; de plus l'incinération des fumées nécessite un peu d'énergie extérieure (gaz, gasoil ou biomasse) pour l'inflammation des fumées de la première carbonisation.

Avec du bois sec on peut faire au maximum 3 carbonisations par jour.

La capacité de production d'un ensemble de deux cornues (24/24h, 330 j/an) est de 500 t/an.

- L'ensemble process avec 2 conteneurs de bois coûte 135 000 €,
- Le portique de chargement des conteneurs coûte 20 000 €,
- Le process nécessite un nombre important de conteneurs de bois : « 2 x 3 » pour les carbonisations du jour, « 2 x 6 » pour le refroidissement de deux jours sous étouffoirs, « 2 x 3 » pour le pré-chargeement du bois et le préséchage, soit un total de 30 conteneurs. Le prix d'un conteneur fabriqué en Europe est de 4000 €, mais une fabrication locale peut descendre le coût unitaire à 3000 € et éviter le coût de transport de cette grande quantité de boîtes vides. Dans le cas d'une fabrication locale ce poste coûte 80 000 à 90 000 €.

Pour un projet de capacité de production pouvant évoluer de 500 à 2500 t/an, ce type de fours est adapté en installant de 1 à 5 ensembles. Mais pour des capacités de production importantes, le petit volume des conteneurs de bois à carboniser entraîne énormément de manutentions et d'opérations de carbonisation.





▪ **Les batteries de couples de fours cornue « HEAD » de la société MOVI.nl.**

La technologie de la société Hollandaise « MOVI » est très performante sur les plans de l'épuration des fumées et de la réutilisation de l'énergie thermique de l'incinération des fumées. Elle a de très bons rendements de carbonisation mais les bois humides posent de gros problèmes de fonctionnement sur ces unités composées de 1 incinérateur entouré de 2 cornues.

Elles coûtent 500 K€ pour le process et 90 K€ pour les cornues, avec une capacité de production de 1250 à 1550 t/an.

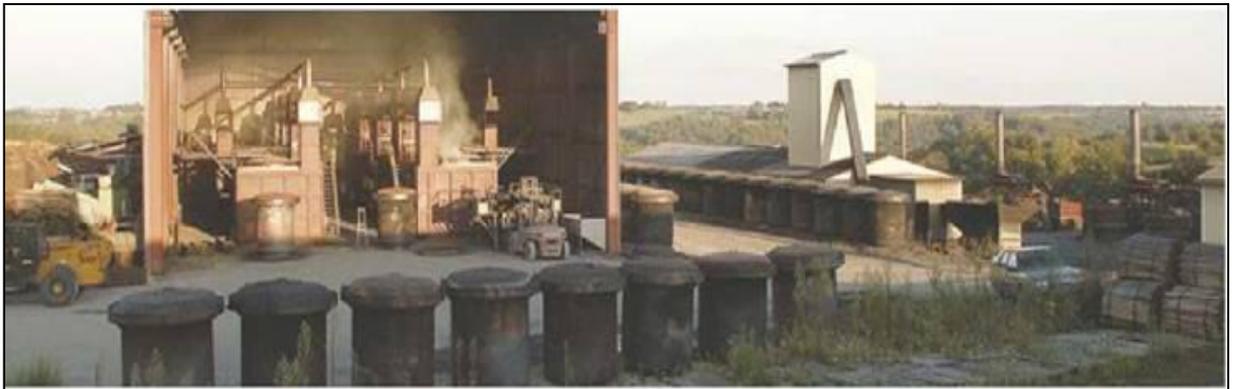
Une importante entreprise française du Périgord, qui utilise cette technologie, note la rigoureuse nécessité d'enfourner des bois très bien préséchés pour que l'énergie thermique de l'incinération des fumées de la carbonisation en cours soit suffisante pour lancer directement la phase de carbonisation de l'autre cornue à démarrer (sans passer par une longue phase de séchage qui consommerait l'énergie thermique nécessaire au démarrage de la nouvelle carbonisation).

Les conteneurs de bois ont un volume utile de 5,7 m³ et une cornue fait 3 carbonisations par jour quand le bois est bien sec.

Cette technologie équipe 2 entreprises en France et en Chine, et 2 projets étaient récemment à l'étude pour le Maroc et l'Afrique du Sud.

36

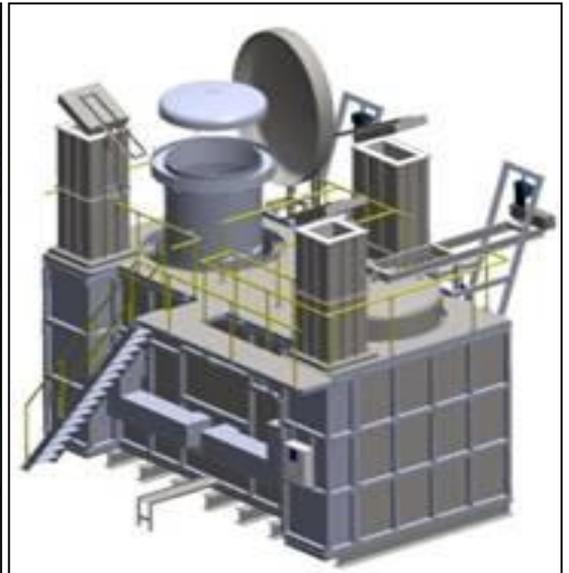
Usine Rousseau (charbon de bois du Périgord) - France -



Usine Chinoise. Carbone réducteur pour Silicium.



Une unité : « 2cornues + épurateur »



▪ **Les fours cornue « TFD ».**

La technologie de la société Sud Africaine « TFD » (Thermodynamics Fluids & Design) utilise le concept d'un « épurateur/incinérateur de fumée commun » relié aux cheminées d'une batterie de 6 cornues, les gaz chauds issus de l'épuration des fumées sont envoyés vers les cornues selon les besoins des carbonisations en cours.

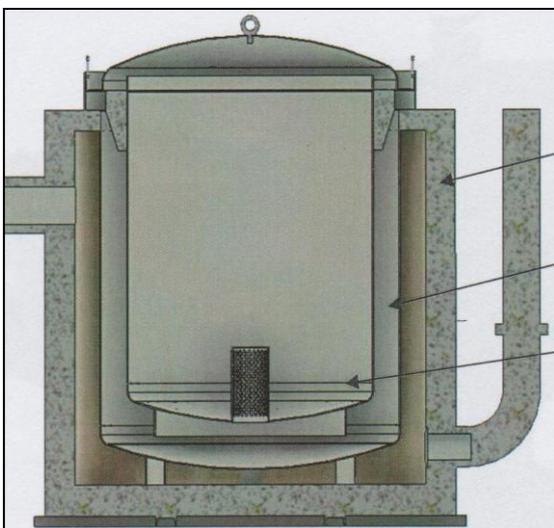
L 37

Ce concept synthétise les technologies cornues vues précédemment. Il présente l'avantage d'avoir un épurateur de fumée alimenté en permanence par les fumées de plusieurs cornues en phase de carbonisation, donc de ne jamais manquer de chaleur pour lancer les carbonisation suivantes. Le problème de synchronisation entre la disponibilité de chaleur (de l'épuration de fumée) et les besoins de chaleur pour les carbonisations est beaucoup plus facile à gérer quand il y a beaucoup de fours autour de l'épurateur de fumée commun.

La réflexion technique de TFD, présentée ci-dessous, est une pré-étude pour un projet d'installation d'une usine de charbon de bois en Afrique du Sud.

Le concept de TFD est très cohérent, mais étant donné le manque de recul en condition de production industrielle intensive, on ne peut pas être certain que les bonnes mises au point d'une grande quantité de paramètres techniques soient correctement maîtrisées (encrassement/goudronnage des conduits de cheminée, temps de cuisson donc productivité, volume de l'épurateur des fumées ..).

TFD, capacité de production déclarée : 1500 t/an pour 6 cornues.



2.2.2. « Les fours industriels à circulation de gaz chauds ».

▪ Les fours à brassage de gaz chauds « BRUNI/CIRAD/ SIDENERGIE ».

38

En 1994 le CIRAD a cédé à Sidenergie SA. un four prototype de carbonisation, de conception totalement inédite, créé par un ingénieur italien Mr BRUNI. Ce four a fait l'objet d'études de fonctionnement et de performance par l'unité de recherche Énergie Environnement du CIRAD, sur la base d'essais de carbonisation de la forêt d'Émancé.

Le CIRAD voulait prolonger son étude et vérifier, chez Sidenergie, le fonctionnement de cette nouvelle technologie dans les conditions de production industrielle intensive. Après un an d'utilisation, Sidenergie a basculé toute sa production sur cette nouvelle technologie.

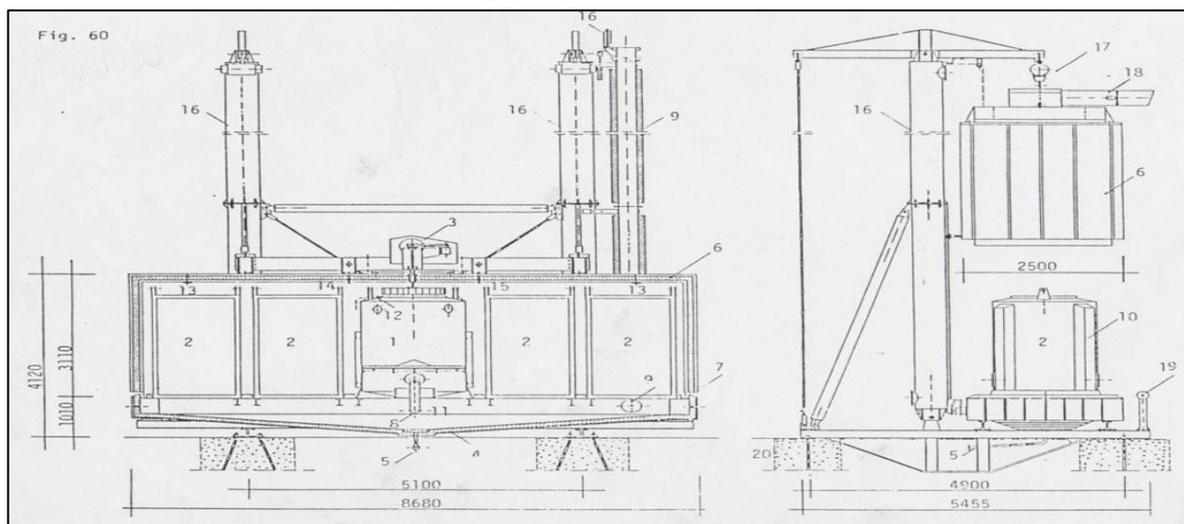
Deux nouveaux fours améliorés sur les plans de l'épuration des fumées, de la réutilisation des gaz chauds, de l'automatisation et du doublement de la capacité de carbonisation, ont été construits et l'ensemble des 3 fours a produit 300 jours par an pendant 20 ans. En 1999 la technologie a été vendue à la société Carbonex, devenue leader Français du charbon de bois.

Étant donné la parfaite maîtrise de la technologie sur les températures, sur les temps de cuisson et la possibilité de fonctionner à de hautes températures, ces fours ont été validés par les Ministères Français de l'Environnement et de la Santé pour recycler/détoxifier les traverses de chemin de fer HS de la SNCF, classées « déchet dangereux » du fait de leur imprégnation par une huile organique biocide (Créosote) issue de la distillation de la houille. Ce four permet de maîtriser très précisément la qualité du charbon de bois obtenu (taux de carbone fixe, COV résiduels ...).

Ces fours ont recyclé/détoxifié/carbonisé 400 000 tonnes de traverses de chemin de fer et le charbon de bois à usage domestique, tracé et analysé selon les prescriptions de la DGCCRF, a été vendu à la grande distribution Suisse et Française.

Pendant quelques années ces fours ont aussi carbonisé les déchets de scieries régionales.

Schéma du four à recirculation (brassage) de gaz chauds.



Descriptif :

- Ce sont des « fours cloche à brassage de gaz chaud » qui fonctionnent par cycles de carbonisation.
- Les gaz chauds sont forcés à travers les charges de bois à carboniser.
- Sous la cloche sont posés 4 conteneurs de bois à carboniser de 8,3 m³, avec des fonds à clairevoie qui permettent la circulation des gaz chauds à travers la charge de bois,



- et 1 foyer chargé d'un peu de bois dans lequel circule et brûle en interne une partie des gaz de carbonisation, pour fournir la majorité des besoins thermiques de la carbonisation,
- Ces 5 éléments sont posés sur une sole à double fond par laquelle sont évacués, vers l'épurateur des fumées, les gaz de carbonisation non brûlés dans le foyer.
- Lorsque la cloche est levée, ces 5 éléments mobiles sont défournés et renfournés à l'aide d'un chariot élévateur,
- Pour du bois de grosse section, telle que les traverses de chemin de fer entières, le cycle complet dure 20 heures. Pour du bois conditionné en petite section (10 x 10 x 30 cm), le cycle est de 10 heures, chaque four fait 2 carbonisations par jour.
- La conduite des fours est automatisée, elle suit un diagramme programmé de temps et de températures de cuisson (gradient dT/dt, temps du palier de fin de carbonisation),
- Les fours sont associés à un épurateur/incinérateur de fumée dont le gaz de combustion propre et chaud est canalisé par ventilation forcée et régulée pour sécher les bois et lancer les carbonisations. Ce qui permet d'avoir des carbonisations rapides.
- Les défournements sont fait à chaud, les conteneurs sont stockés 2 jours sous étouffoirs et 1 jour à l'air libre pour éviter toute reprise de feu ultérieure. Pour servir 1 four il faut 40 conteneurs, 2 foyers et 16 etouffoirs.
- Un conteneur produit 700 à 1000 Kg de charbon de bois, et un four de 6 à 8 t/jour.

Capacité de production, Ex : 5000 t/an minimum - Avec 4 fours - 2 cycles/j - 200 j/an.





▪ **Les fours à circulation de gaz chauds « CARBONEX » avec cogénération d'électricité.**

Le bureau d'étude du producteur Français de charbon de bois « Carbonex » a conçu un ensemble de production innovant qui intègre la production d'électricité à une production importante de charbon de bois. Cette électricité est fabriquée à partir du surplus d'énergie thermique issue de l'épuration/incinération des fumées des carbonisations.

Cette technologie de cogénération d'électricité a été plusieurs fois primée à des challenges sur l'innovation ou sur les énergies renouvelables. L'électricité produite par Carbonex, à partir de la biomasse, bénéficie d'un tarif de rachat préférentiel par la commission de régulation de l'énergie Française.

Le process mis en œuvre industriellement depuis 2012, produit 10 000 t/an de charbon de bois et 3 MW électrique, soit la consommation de 4000 foyers Français.

Trois nouveaux projets sont en cours de montage en France.

Comme dans le four « Bruni/Cirad/Sidenergie », la technologie est basée sur le principe de la circulation forcée et régulée de gaz chauds à travers les charges de bois à carboniser.

Ce process permet de bien maîtriser les paramètres de cuisson et d'avoir des carbonisations rapides donc d'optimiser la qualité du charbon de bois et la productivité des fours.

Comme dans le process précédent, l'organisation de la production repose sur la rotation d'une grande quantité de conteneurs qui sont chargés de bois, carbonisés dans les fours, défournés à chaud, étouffés/refroidis, stabilisés à l'air libre et vidés. Au moins 200 conteneurs sont nécessaires.

Installation « CARBONEX » 2012 : Préséchage des bois, Carbonisation, Production d'électricité.





Le coût des investissements de l'équipement de 2012 est de 20 millions d'euros, Il comprend :

- les installations de préséchage des bois,
- les conteneurs de bois et étouffoirs,
- la carbonisation,
- l'incinération des fumées, le recyclage de l'énergie thermique des fumées dans le préséchage, dans les carbonisations et dans la production d'électricité,
- la production d'électricité : chaudière vapeur, turbo-alternateur.

Ces investissements importants ne peuvent être amortis que par de grandes capacités de production. Toutefois CARBONEX propose de réaliser des études spécifiques à chaque projet en proposant des solutions modulées de production électrique en fonction des contextes tarifaires locaux.

Du fait des politiques Françaises en faveur de la lutte contre le changement climatique, le tarif de rachat préférentiel Français de l'électricité (environ 0,15 €/KWh) produite à partir de la biomasse, permet de rentabiliser la partie des investissements dédiés à l'électricité.

Bien que ce process « cogénération : Charbon de bois/ Électricité » soit le plus abouti en terme d'optimisation de l'utilisation de la biomasse matière première, la possibilité de sa duplication dépend du contexte des politiques environnementales de soutien aux industries vertes, du prix de l'électricité du pays d'implantation et du prix du bois matière première.

Ce contexte d'incitation tarifaire pour les productions d'électricité verte n'existe pas de façon aussi structuré dans les pays d'Afrique, mais un prix de l'électricité à 70 €/MWh (pertinent en Afrique centrale) et un prix bas du bois entrant permettent de développer cette technologie.

Installation « CARBONEX » 2012 : Parc à bois, conditionnement et séchage du bois.





▪ **Les fours « DPC » à circulation de gaz chaud. (Drying, pyrolysis, Cooling)**

La société Brésilienne « DPC Biomassa » a développé des fours adaptés à de très grandes productions industrielles de charbon de bois pour fournir du carbone réducteur aux hauts fourneaux de l'industrie sidérurgique Brésilienne. Ces unités sont adossées à des plantations industrielles d'eucalyptus de plusieurs dizaines de milliers d'hectares.

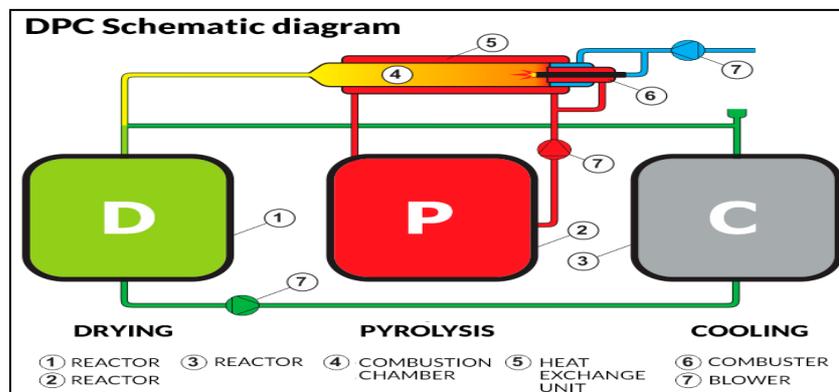
La conception des fours est étudiée en fonction du contexte d'une installation au cœur des forêts industrielles. Le bois chargé en forêt puis le charbon de bois sont manutentionnés dans le même conteneur adapté à la fois aux opérations de récolte et de transport du bois, au chargement direct dans les fours de carbonisation, ainsi qu'au transport ultérieur du charbon de bois.

Le principe de fonctionnement est logiquement basé sur l'utilisation de l'énergie thermique d'un épurateur de fumée associé à une grande quantité d'enceintes de carbonisation.

La géométrie des fours est celle des fours Missouri de grand volume, plusieurs dizaines de fours sont installées en batterie, équipées d'une épuration des fumées commune qui redistribue et fait circuler la chaleur à travers le bois des carbonisations en cours.

Avant le défournement, le refroidissement de ces grandes masses de charbon de bois est accéléré par une brumisation d'eau (l'humidité ne pose pas de problème à la sidérurgie).

Les capacités de productions sont les plus grosses du monde, l'usine en photo ci-dessous produit 48 000 t/an ; il faut disposer de 200 000 t/an de bois soit la récolte de 2000 ha/an.



3. LES FOURS EN CONTINU

- « GAURUS technologie », avec valorisation des jus pyroligneux, (Modernisation des anciens Four Navarre).

L 43

La société Gaurus Technologie a repris la technologie de l'entreprise de carbonisation Navarre. Les fours en continu mis au point par Mr Navarre ont fonctionné dans les Landes (France) pendant plusieurs dizaines d'années.

Chaque four coûte 1,7 M€ et a une capacité de production de 4500 t/an sur 330 jours.

Récemment deux unités de deux fours (9 000 t/an) ont été installées en Biélorussie et en Lituanie.



Les bois entrants doivent être relativement secs et d'humidité/dimension homogènes pour pouvoir être complètement carbonisés pendant le temps de séjour programmé dans le réacteur.

Le bois est alimenté au sommet du four par un skip de chargement de 1 m³

En plus de la production de charbon de bois, cette technologie peut valoriser les composés chimiques contenus dans les fumées. Les fumées sont condensées puis les composés des « jus pyroligneux » sont séparés par décantation puis par distillation pour obtenir des goudrons et des huiles végétales commercialisables.

L'entreprise Gaurus a une filiale « Carborop » qui est spécialisée dans la commercialisation de ces produits issus de la distillation du bois.

Les gaz non condensables contenus dans les fumées sont incinérés pour éliminer les rejets atmosphériques polluants. La chaleur de cette incinération peut être recyclée pour des usages thermiques (séchage) ou servir à une cogénération d'électricité.



ANALYSE LOGISTIQUE DU CHARBON DE BOIS jusqu'à L'USINE EUROPEENNE de « CONDITIONNEMENT/STOCKAGE/DISTRIBUTION »

L 44

■ Mode de commercialisation : Du vrac vendu aux importateurs Européens.

« L'étude de marché » pour la commercialisation en Europe et les réunions de travail avec des importateurs Européens majeurs ont déterminé :

- La commercialisation de détail en Europe ne peut pas être réalisée depuis l'Afrique Centrale du fait des contraintes opérationnelles du marché Européen (forte saisonnalité des ventes, besoin de très grande réactivité de livraison - 5 jours de délai - pendant la courte saison des ventes).
- Le charbon de bois doit être commercialisé à des importateurs spécialisés qui disposent de grandes surfaces et des autorisations environnementales pour le stockage des grandes quantités de produit combustible pendant la morte saison des ventes, d'une usine d'ensachage, d'un savoir faire et d'une grande réactivité pour la distribution intense de la courte saison des ventes (4 mois du 15 avril au 15 août).
- La majorité des conditionnements sont faits sous les marques des distributeurs (MDD) en contrat pour la saison suivante et d'autre part les équipements de conditionnement sont très mal amortis pour des capacités d'ensachage inférieures à 10 000 t/an.
- Donc le mode de commercialisation retenu est la fourniture de vrac à des importateurs/ stockeurs/conditionneurs/distributeurs Européens.
- Le transport du vrac ne doit pas briser les morceaux de charbon de bois, à l'arrivée le cahier des charges sur la granulométrie doit être respecté. Donc le transport ne peut pas s'effectuer en vrac dans les soutes des navires (break bulk) car le tassement du produit chargé sur de grandes hauteurs et sa reprise par les bennes preneuses du port d'arrivée transforment les morceaux en fines et en paillettes qui ne sont pas commercialisables.
- Le transport doit s'effectuer en conteneur chargé de vrac.

Étant donné le grand déficit des offres de charbon de bois durable en Europe, les importateurs acceptent de payer un surcoût de 10 % pour un charbon de bois certifié durable.

Ils pourront répercuter ce surcoût sur leurs clients de la grande distribution du fait des campagnes médiatiques et des pressions des ONG environnementales sur les enseignes de distribution pour éliminer les offres non durables.

Pour les prochaines années, les importateurs envisagent le maintien de la tendance à la hausse des prix du charbon de bois certifié durable.

Le prix pour un charbon de bois en vrac « Premium, durable » est de 420 €/t rendu à la porte de l'usine de l'importateur Européen (campagne 2020).

■ Marge de manœuvre financière pour le transport du vrac en Europe.

En anticipant l'étude économique détaillée du projet, un prix de vente sortie usine de production de 250 €/t semble être admissible pour assurer l'équilibre financier d'une unité de fabrication durable.

La possibilité d'une bonne rémunération des unités de production serait un atout pour le développement de la filière de « valorisation/carbonisation des rebuts de l'industrie de la transformation du bois en Afrique Centrale ».



Il faut donc que le coût de la totalité du transit depuis l'usine de production d'Afrique Centrale jusqu'à la porte de l'usine de l'importateur Européen soit **inférieur à 170 €/t** (420 - 250), pour réserver au moins 250 €/t à la fabrication.

L'expérience des importateurs Européens confirme que :

- Le transport par conteneur de 40' High Cube de charbon en vrac est la méthode la plus économique.
- **Le poids moyen de charbon de bois en vrac chargé dans un 40' HC est de 18 tonnes,**

toutefois il est à moduler en fonction de la densité du bois d'origine et du mode de carbonisation. Par exemple : avec un grand pourcentage de charbon de bois dur, la charge peut atteindre 20 tonnes, ce qui représente 10% d'économie sur le transport.

- Donc ce modèle de commercialisation : prix de fabrication 250 €/t, prix de vente 420 €/t et de méthode de transport peut réserver **au maximum 3060 € pour un conteneur de 18 tonnes de vrac**, pour l'ensemble des opérations concernant le transit depuis l'usine de carbonisation jusqu'à l'usine Européenne de l'importateur. (ou 3400 €/40'HC pour un chargement de 20 tonnes/40'HC).
- **Remarque** : un chargement de big bags dans le conteneur entraîne des frais supplémentaires et diminue significativement l'optimisation du poids transporté.

Ce mode de pré-chargement en big bag n'apporte aucun avantage de sécurité anti-incendie pour le transport maritime, il doit être écarté malgré les demandes (non justifiées, *note du rédacteur*) de certaines compagnies maritimes.

■ **Les contraintes réglementaires pour le transport maritime du charbon de bois.**

Le charbon de bois (carbone) est un solide combustible.

Selon les méthodes de fabrication et l'espèce du bois d'origine, sa structure est plus ou moins poreuse (les caractéristiques de sa structure poreuse définissent les propriétés d'adsorption d'un charbon actif).

L'adsorption des composés de l'air (N₂ et O₂) dans les pores du charbon de bois dégage un peu de chaleur (réaction légèrement exothermique) et dans des « ambiances chaudes et confinées » ce mécanisme peut entraîner un réchauffement significatif puis des points d'inflammation de la charge.

A priori, pendant quelques jours après le défournement du charbon de bois, le risque d'auto-inflammation existe, soit 2 à 3 jours selon les conditions météo, le type de charbon et la méthode de stockage.

Ce type de feu est très pernicieux car il ne dégage pas de fumée visible, on ne peut le repérer que lorsque les points chauds ont pris une grande ampleur.

C'est en effet un risque extrêmement dangereux qui peut entraîner des incendies et la perte de navires et de camions poids lourd si les procédures de stabilisation ne sont pas rigoureusement respectées par les carbonisateurs.

Ces reprises de feu sont très bien connues, analysées et évitées chez les carbonisateurs industriels.

Après défournement, le charbon de bois doit impérativement subir une période maîtrisée de stabilisation à l'air libre, pendant laquelle l'adsorption de l'air et le léger réchauffement du charbon se feront sous surveillance et sans risque d'incendie à l'intérieur de l'usine.

Cette opération de stabilisation fait partie du cahier des procédures de fonctionnement de toute usine de carbonisation.



L'OMI (Organisation Maritime Internationale) dans le Code IMDG (International Maritime Dangerous Goods) a défini :

- **La dangerosité** → La classe « 4.2. UN n° 1361 or 1362 : Substances solides carbonées susceptibles d'auto-inflammation ».
- **La non dangerosité** → Les critères techniques des charbons qui ne présentent pas (plus) ce danger et qui sont exclus de la classe dangereuse « 4.2 » conformément à la disposition spéciale 925 du code IMDG :
 - Les charbons de bois qui ont subi avec succès le test de non inflammabilité selon les prescriptions de : Test methods and criteria relating class 4.2, § 33.3.1.3.3 (cf. annexe 6).
 - Les « charbons activés à la vapeur ».
- **Les prescriptions pour le transport maritime** → Les directives pour le transport de charbon de bois et carbone dans des conteneurs (guidelines for the carriage of charcoal and carbon in containers) :
 - Certificat d'exclusion de la classe 4.2 du code IMDG (voir § ci-dessus)
 - a) Selon les tests prescrits, réalisés par un laboratoire certifié, ou
 - b) Charbon activé à la vapeur (déclaration des procédures du processus de fabrication).
 - Description de l'ensemble du processus de refroidissement et/ou du produit chimique (vapeur) utilisé pour l'activation.
 - Certificat / Vérification qu'il y a eu un minimum de 14 jours de refroidissement / stabilisation à l'air libre avant le chargement.
 - La température du chargement ne doit pas excéder de plus de 5°C la température ambiante.
 - Remplissage maximum du conteneur afin que l'espace / l'air libre dans le conteneur soit réduit au maximum.

L 46

Les procédures traditionnelles de sécurité incendie, prises par les industriels carbonisateurs qui respectent les règles de l'art, évitent totalement le risque de reprise de feu au-delà de 3 jours après la mise à l'air libre.

Le non respect de ces procédures a entraîné des incendies survenus en transport routier et maritime.

Ces accidents ont été recensés, par exemple, pour des exportations de charbon de bois artisanal Africain qui se sont faites dans des conditions d'urgence et sans respect des procédures/délais de stabilisation, pour honorer certaines commandes Européennes saisonnières et urgentes.

→ Donc les règlements de l'OMI/code IMDG sont techniquement faciles à respecter pour les carbonisateurs industriels, car leurs procédures de fabrication prennent en compte les mêmes problématiques/risques et les mêmes prescriptions de sécurité incendie que l'OMI/IMDG.

→ D'autre part, certains processus de carbonisation réalisent une activation à la vapeur en fin de carbonisation (pendant 1h30) pour améliorer le taux de carbone fixe des charbons.

Après validation d'un certificat de processus, ces charbons sont exclus du risque IMDG-4.2 conformément à la disposition spéciale 925 du code IMDG.

→ Les charbons qui sont exclus du risque IMDG-4.2 n'ont aucune contrainte réglementaire d'emballage, ils peuvent donc être transportés en vrac dans les conteneurs.



▪ Les prix de transport maritime du charbon de bois.

Etant donné le nombre potentiel de ports de départ en Afrique Centrale (Douala, Kribi, Owendo, Port Gentil, Pointe Noire), et le nombre de ports d'arrivée en Europe de l'ouest, il est impossible d'établir un coût général précis du transit des conteneurs.

Que les ventes soient effectuées FOB ou CIF, le coût total du transport sera identique. Il doit être le plus bas possible et dans tous les cas :

La charge totale du transport doit être inférieure à 170 €/t, soit 3060 €/40' HC de 18 tonnes.

Ce sont les négociations des différents contrats de vente entre fabricants et importateurs qui détermineront le choix de l'incoterm.

En juillet 2019 (cf. étude de marché) les responsables logistique de « CBG » ont questionné des compagnies maritimes pour les principaux ports. Annexe 7 : Doc de transport maritime.

On constate que les prix sont très disparates. Ils dépendent principalement du flux de conteneurs vides disponibles dans le port de chargement et du caractère routinier ou exceptionnel des liaisons. Ils peuvent fluctuer significativement, mais ils peuvent aussi être spécialement négociés au regard de l'importance et de la régularité de ce nouveau trafic de 200 à 300 conteneurs par an.

Port d'arrivée - Prix en €

23/07/2019	La Pallice			Le Havre			Anvers			Hambourg			Gdansk		
Port de départ	20'st	40' HC - 18 t		20'st	40' HC - 18 t		20'st	40' HC - 18 t		20'st	40' HC - 18 t		20'st	40' HC - 18 t	
Douala/Kribi Cameroun	900	1175	66€/t	450	725	41€/t	425	475	27€/t						
Pointe Noire Congo	875	1400	78€/t	525	825	46/t	475	675	38€/t						
Abidjan Côte d'Ivoire							425	425	24€/t						
Port Gentil Gabon	925	1475	82€/t	650	1025	57€/t	650	875	49€/t	875	1325	74€/t		1675	93€/t

Mais en octobre 2019 l'armement BOCS (Bremen Overseas Chartering and Shipping) communique un prix de 1600 €/40' HC de Port Gentil à Anvers au lieu de 875 € en juillet.

→ Ce prix de 1600 €, soit 89€/t (18 t/40'HC), comprend :

- le chargement du conteneur à POG,
- la surcharge Low Sulphur,
- l'IMO surcharge,
- la traction et le lavage du conteneur à Anvers.

→ Aux opérations de transit prises en charge ci-dessus il faut ajouter :

- la navette usine/port au départ : 200 €/40' HC → 12 €/t,
- le transport routier Aller/Retour port/usine en Europe : 600 €/40' HC → 34 €/t,

→ Dans l'hypothèse du coût du transport maritime le plus onéreux (1600 €/40'HC), le coût complet du transport revient à :

- 2400 €/40' HC soit 134 €/tonne.

Il reste 36 €/t ou 650 €/40'HC à 18 tonnes, pour payer les droits de douane et les autres taxes.



▪ Les taxes douanières.

Ces taxes dépendent des pays d'importation de la marchandise.

Les importateurs que nous avons rencontrés lors de l'étude de marché annoncent pour 2020 les taxes douanières suivantes :

- 19 €/t pour les importations du Nigéria,
- 22 €/t pour les importations de la Namibie.

On prendra une valeur de 25 €/tonne pour faire l'évaluation totale du coût du transit depuis une usine d'Afrique Centrale jusqu'à l'usine de l'importateur Européen.

▪ Conclusion sur les charges de transit depuis l'usine de carbonisation en Afrique Centrale jusqu'à l'usine Européenne de l'importateur.

PRIX	€/ tonne	€/ Conteneur 40' HC
Prix de vente rendu à l'usine de l'importateur Européen	420	
Coût Navette Européenne Port / usine d'importation	34	600
Coût Douane Européenne	25	
Coût Transport maritime	89	1600
Coût Navette usine de carbonisation / port de départ	12	200

Pour un chargement de 18 tonnes par conteneur de 40' High Cube :

Le total des coûts de transit que nous avons pu évaluer est de 160 €/tonne.

Ce sont des ordres de grandeur cohérents confirmés par les importateurs, ils fluctueront pour chaque projet, par exemple :

- Les charges totales de 2400 € pour le transport du conteneur peuvent baisser de 11 %, soit de 16 €/tonne, avec un conteneur chargé à 20 tonnes.
- Un coût de transport Anvers/Charleroi est plutôt de 500 € : baisse de 5 €/t,
- Dans certains cas le coût de la navette au départ usine/port pourrait être de 100 €,
- Nous n'avons pas inclus les taxes des pays exportateurs, pour certains pays cela représente 3 % de la valeur CIF soit environ 10 €/tonne.

Donc un prix de réception de la marchandise à la porte de l'usine Européenne à 420 €/t, et un prix de transit à 170 €/t impose :

- Le prix à la sortie de l'usine de fabrication à 250 €/t.
- Ce doit être un objectif à atteindre pour les différentes technologies de carbonisation qui vont être étudiées.



CAHIER DES CHARGES DU SITE DE PRODUCTION

- **Définition du site : La capacité de production de l'installation, les équipements¹ de production, les bâtiments, les surfaces.**

49

→ D'après l'enquête de terrain de Septembre 2019 à la scierie et à l'usine de déroulage de CBG, le tonnage des bois massifs carbonisables est de 23 000 t/an, calculé en équivalent à 12% d'humidité. Cf. page 24.

En réalité le bois sort de la scierie à une humidité de 30 à 40 %, ce qui correspond à 30 000 à 35 000 t/an de bois à manipuler. Pour donner une image de ce tonnage, cela correspond au chargement de 1300 à 1500 camions poids-lourd/an chargés à 22 tonnes, soit 6 à 7 camions par jour.

Ces chiffres montrent l'importance de l'activité projetée.

→ Selon la technologie retenue, la quantité de conteneurs (vessels) mobilisés sera :

- Pour carboniser, de 24 à 32 / jour,
- Pour étouffer, de 48 à 64 / sur 2 jours sous étouffoirs,
- Pour stabiliser le charbon de bois à l'air, de 24 à 32 / sur 1 jour sous auvent,
- Pour le pré-chargement du bois, de 24 à 32 / jour et le double pour préparer les carbonisations du week-end.

Donc le nombre de conteneurs présents sur le site est 140 à 190.

La surface au sol occupée avec les accès sera de 1 500 m² et il faudra en manipuler 110 à 160 par jour. L'agencement du site doit être organisé pour optimiser les déplacements des conteneurs.

→ Pour une production de 5500 t/an et des expéditions échelonnées toutes les 4 semaines, le tonnage de **charbon de bois en vrac à stocker sous hangar est de 500 tonnes soit 1600 m³ de produit, il faut un entrepôt de 60 m x 29 m.**

→ Les matériels présents sur le site sont les fours et l'épurateur de fumée, 2 ensembles de criblage du charbon de bois (trémie, convoyeurs à bande, trommel) et un système de chargement avec convoyeur à bande et un pont-bascule pour le chargement et l'expédition des conteneurs de charbon de bois.

→ La surface et le matériel pour le stockage et la préparation du bois (mise à dimension) : Selon l'option de la direction, cet ensemble d'opérations sera situé sur le site de carbonisation ou à la scierie. Cette option déterminera le besoin d'une surface de 4000 m² dédiée au bois et dans les deux cas l'investissement de l'équipement de conditionnement du bois (scies ou broyeur à couteaux) est nécessaire.

→ Le stockage du charbon de bois se fait sous un hangar de 1700 m². Il faut des bâtiments pour abriter les bureaux, un atelier d'entretien et de soudure, des vestiaires.

→ Les engins roulants : 2 chariots élévateurs de 12 tonnes dont 1 avec retourneur pour la manipulation et le vidage des conteneurs, 2 chariots élévateurs de 3,5 tonnes équipés de godet pour la manipulation du charbon de bois, 1 camion semi-remorque pour les navettes des conteneurs 40' avec le port maritime et selon l'option du site de conditionnement du bois, pour les navettes du bois de la scierie vers le site de carbonisation.



→ De plus il faut équiper le site d'un transformateur électrique 20 000 volts/380 volts/200 KVA, d'un groupe électrogène de secours 50 à 75 KVA (à préciser), d'une détection incendie IR (infra rouge) pour la surveillance incendie et d'un forage et d'une bache à eau de 15 m³ pour la lutte anti incendie du site.

Le plan général du site, retenu pour une capacité de production de 5500 t/an de charbon de bois, est schématisé ci-dessous.

Les différentes options de capacité de production, de choix de la technologie de carbonisation, de choix du site de préparation du bois à carboniser (scierie ou usine de carbonisation) et les particularités de chaque projet entraineront des adaptations autour de ce schéma de principe.

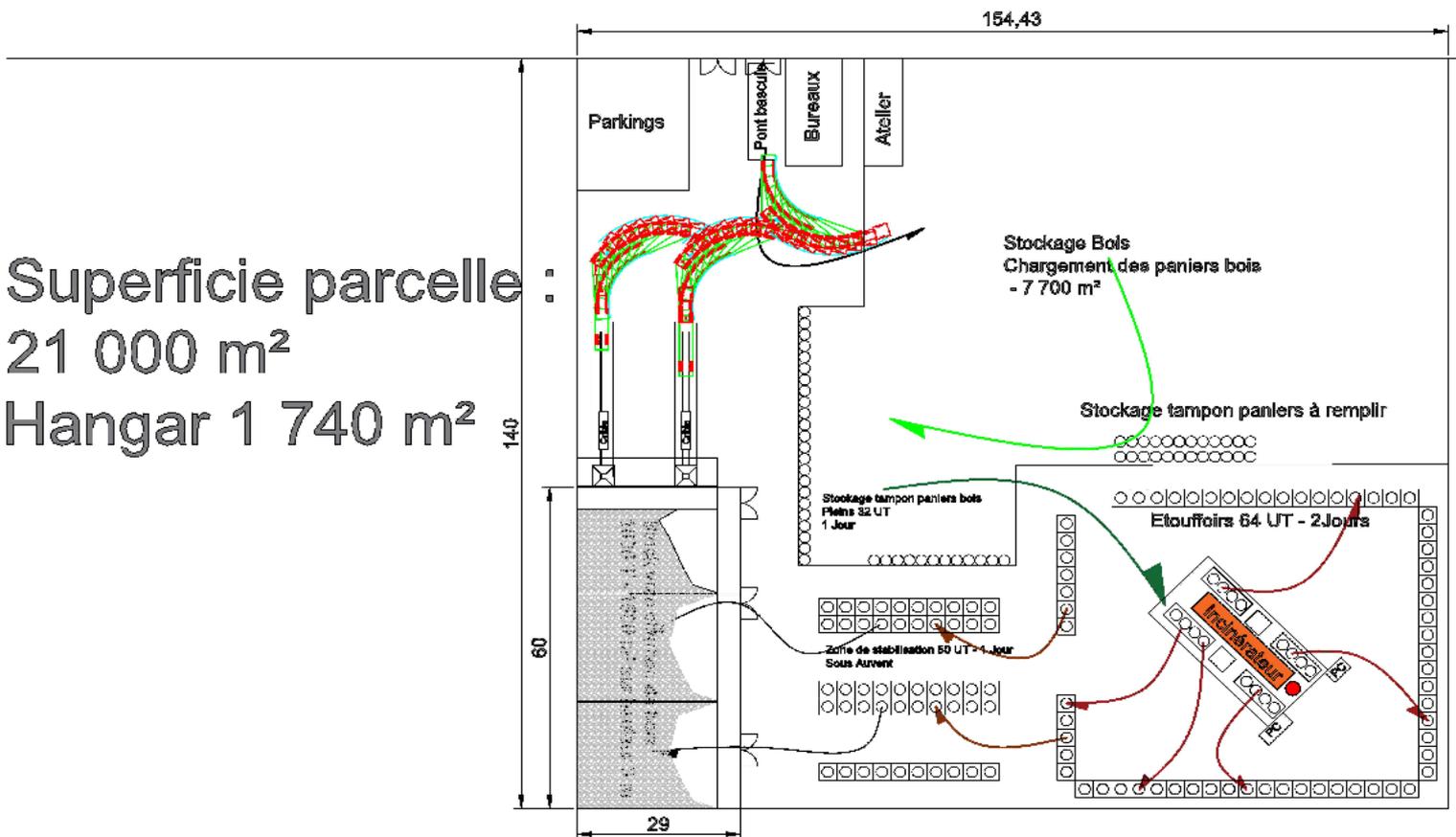
A Port Gentil l'acquisition d'une surface de 21000 m² sur la ZES de Mandji à un coût de 2M€, et les travaux de terrassement (assainissement du site marécageux) sont de 0,65 M€.

Sur les ZES, Les investissements dédiés à l'immobilier sont du même ordre de grandeur que les investissements techniques, ces coûts immobiliers élevés risquent de compromettre la faisabilité des projets.

PROJET CHARBON DE BOIS CBG/SIDENERGIE - V.0 - 19/9/2019

Étude Yves Coze/Ingénieur TP/CBG et Patrick Rueyres/Consultant Sidenergie

Superficie parcelle
21 000 m²
Hangar 1 740 m²





▪ **Le besoin en personnel.**

→ Encadrement :

- 1 cadre dirigeant
- 1 chef de production
- 1 secrétaire

→ Entretien/maintenance :

- 1 mécanicien - soudeur
- 1 gardien de nuit

→ Service des fours, 24 h/24, 3 équipes :

- 1 chef de fours x 2 postes = 2 (pendant la journée ce poste est pris en charge par le chef de production)
- 2 opérateurs cariste x 3 postes = 6
- 1 opérateur four x 3 postes = 3

→ Service du bois : sur 12 h, à adapter selon l'option du conditionnement du bois :

- 1 chauffeur poids-lourd pour les navettes du bois scierie/carbonisation
- 1 opérateur cariste
- 1 opérateur bois

→ Stockage charbon de bois, chargement camions, sur 8 h :

- 1 opérateur cariste

Total: Pour une capacité de production de 5500 t/an : environ 20 employés dont l'encadrement, à adapter selon l'option du conditionnement du bois,

- Opérateurs caristes : 8
- Chauffeur navettes : 1
- Opérateurs : 4
- Gardien : 1
- Mécanicien - soudeur : 1
- Secrétaire : 1
- Chef de fours : 2
- Chef de production : 1
- Cadre Dirigeant : 1

Le coût salarial au Gabon (contexte industriel de Port Gentil) :

- Pour les opérateurs : 500 €/mois,
- Pour les opérateurs spécialisés : 600 €/mois,
- Pour l'adjoint de direction : 2 000 €/mois,
- Pour le dirigeant : 7 000 €/mois.

Les coûts salariaux peuvent être moindres dans d'autres régions.



POLITIQUES GABONAISES EN FAVEUR DES BIOÉNERGIES RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE

Depuis la généralisation de la prise de conscience des incidences environnementales et climatiques du développement économique, les états d'Afrique Centrale ont mis en place et continuent à élaborer des politiques, un cadre législatif et des outils opérationnels (services ministériels et agences publiques) pour engager la bonne gouvernance et la promotion :

- De l'exploitation durable des forêts,
- D'une meilleure valorisation des produits forestiers,
- De la production énergétique à partir de la biomasse,
- De la valorisation énergétique des déchets bois, en particulier de l'industrie de première transformation du bois.

Ces politiques sont soutenues à la fois :

- Au niveau d'une mutualisation des états du bassin du Congo, par la COMIFAC et ses différents programmes dont le PPECF qui finance les études préalables nécessaires à la création de cette nouvelle filière de valorisation/carbonisation des rebuts connexes à l'industrie de la transformation du bois.
- Et au niveau de chaque état. Dans les domaines de l'exploitation et de l'industrie forestière, ils sont tous engagés dans des dynamiques très actives d'analyse des situations et dans des actions de préservation et de bonne gestion du patrimoine forestier.

Ici nous retiendrons le contexte institutionnel Gabonais :

- Service ministériel de promotion des bioénergies,
- Agence de promotion des filières Forêt Bois,
- Contexte réglementaire de la création d'une filière de carbonisation/valorisation des connexes de l'industrie du bois.

▪ **Politique Gabonaise de promotion de la filière.**

En 2010, la création du « Conseil National Climat » du Gabon réoriente le contexte de tous les axes du développement économique national en intégrant la condition de durabilité.

Les effets bénéfiques dans les domaines sociaux, environnementaux et climatiques sont les conditions nécessaires qui ont encadré la construction (2012) du « PSGE », Plan Stratégique Gabon Emergent, et de ses déclinaisons sectorielles de politique économique : « Gabon Vert » pour le secteur forestier, « Gabon Industriel » et « Gabon des Services ».

Le document, validé par les Nations Unies, qui recense les NAMA's « Actions Nationales Appropriées d'Atténuation » du changement climatique, définit les objectifs suivants comme leviers importants de réduction des émissions de gaz à effet de serre, applicables au secteur industriel de la transformation du bois :

- Le développement des énergies renouvelables,
- Le développement des techniques de valorisation durable de la biomasse,
- L'optimisation du recyclage des déchets industriels.

Le projet COMIFAC/PPECF/CBG « Valorisation des Déchets de l'Industrie du Bois par Carbonisation » est une des pistes industrielles préconisées par les NAMA's et par le projet national de politique économique forestière, *« le Gabon Vert » : [page 37, Valorisation énergétique des déchets bois ... par production de charbon de bois] et [page 69, Efficacité énergétique, production énergétique à partir de la biomasse].

* « Le plan opérationnel Gabon Vert horizon 2025, donner à l'émergence une trajectoire durable ».



A la suite des documents d'orientation stratégique de la politique économique nationale, le gouvernement du Gabon a créé les structures institutionnelles de gouvernance, de réglementation, de promotion et d'accompagnement des initiatives industrielles du secteur forestier et industriel du bois.

Ministère de la Forêt et de l'Environnement :

DVRIBPB :

Le 18 Février 2011, le décret n° 0291/PR/MEF relatif à l'organisation et aux attributions du Ministère des Eaux et Forêts, (articles n° 188 à 194) crée la « Direction de la Valorisation des Rebutis de l'Industrie du Bois et de la **Promotion des Bioénergies** » (DVRIBPB).

Ses attributions d'encadrement législatif, d'identification de nouvelles technologies, de promotion et de revue statistique de la filière, ont permis la mise en place d'un contexte de gouvernance favorable au développement des bioénergies à partir des déchets bois.

Monsieur Léon Freez, directeur du service, a reçu Sidenergie en 2018 pour la présentation d'une « étude préalable d'un projet biomasse énergie : cogénération charbon de bois/électricité » sur la ZES de Nkok et sa réaction favorable a démontré l'implication du Ministère des Forêts dans la mise en place de cette nouvelle filière.

AEAFFB :

Le 6 novembre 2011, le décret n° 01400/PR/MEF crée « l'Agence d'Exécution des Activités de la Filière Forêt Bois » (AEAFFB).

En plus des fonctions d'assistance à l'état pour la bonne gouvernance des problématiques de gestion du patrimoine forestier, l'AEAFFB prend en charge des programmes opérationnels de soutien, d'accompagnement et de mise en œuvre de filières à fortes incidences sociales, environnementales et économiques, en relation avec les forêts.

Les actions opérationnelles entreprises concernent, par exemple, des actions ciblées comme le développement de l'apiculture dans les forêts communautaires ou des actions transversales comme le PAFFB « Projet d'Appui à la Filière Forêt Bois » dont l'objectif est d'accompagner les entreprises forestières et de transformation du bois dans leur adaptation aux exigences du contexte économique et dans l'accès au financement de leurs investissements.

Le PAFFB est intéressé par l'initiative industrielle de CBG et se propose d'étudier un soutien à cette filière d'optimisation de la valorisation de la biomasse prélevée dans les forêts.

▪ **La réglementation environnementale.**

Dans un premier temps la loi n°16/93 du 26 Août 1993, puis la loi n° 007/2014 relative à la protection de l'environnement en République Gabonaise mettent en place les principes et le cadre institutionnel de la préservation de l'environnement.

Dans la loi n° 007/2014 les réglementations environnementales concernant les installations classées vis-à-vis de l'environnement sont régies par le titre VII : De la prévention et de la gestion des risques, des pollutions et des nuisances et le titre IV : Des outils, moyens et mécanismes, au chapitre 3 : des procédures environnementales.

D'autre part cette loi cadre, pour les sujets qui concernent le projet, impose à l'état de veiller à l'efficacité énergétique, aux énergies renouvelables et à une valorisation énergétique obligatoire dans les opérations d'incinération de déchets en milieu industriel.



Le cadre réglementaire environnemental qui régit la création et le fonctionnement du projet est constitué par les décrets d'application de la loi 007/2014 qui sont classés dans le code de l'environnement (annexe 8) :

- **Projets soumis à une étude d'impact** → Décret n° 539 du 15 Juillet 2005 réglementant les « Études d'Impact sur l'Environnement », (EIE),
 - Article 3. Installations soumises à EIE : Ex. Installations à combustible d'une puissance calorifique de 50 MW au moins.
 - Article 4. Pour les installations dont les inconvénients sont limités, la dispense d'EIE est subordonnée à l'élaboration « **d'une notice d'impact** » indiquant les incidences sur l'environnement et les conditions dans lesquelles l'opération projetée satisfait aux préoccupations de l'environnement.
 - Article 8. Pour les installations titulaires d'une autorisation administrative, elles sont tenues de communiquer à l'administration un « Rapport annuel d'exécution et de surveillance de son plan de gestion de l'environnement ».
- **Régime juridique des installations classées** → Décret n° 543 du 15 Juillet 2005 fixant le régime juridique des Installations classées,
 - Chapitre I. Les installations classées soumises au **régime de l'autorisation** et le contenu du dossier de demande d'autorisation : description de l'activité, plans, cartes, étude d'impact, étude des dangers, notice de conformité, consultation publique.
 - Chapitre II. Les installations classées soumises **au régime de la déclaration** et le contenu du dossier de déclaration : description de l'activité, plans, cartes, notice d'impact environnemental dont la gestion des rejets, dispositions prévues en cas de sinistre.
 - Chapitre III. Dispositions communes à toutes les installations classées : arrêt de l'activité, changement de propriétaire, sanctions, contrôles administratifs.
- **Classification des industries et détermination des éléments à considérer dans l'évaluation de la pollution** → Décret n° 39/PR-MRSEPN du 10 Janvier 1979,
 - Titre II. Les éléments à considérer dans l'évaluation de la pollution.
 - Annexe. Classification des industries par catégories.
Catégorie II. E (risque modéré) : La « production de charbon de bois par procédé en vase clos » - ce qui est le cas des technologies retenues dans le projet-
Catégorie III. E (risque haut) : La « production de charbon de bois » - sans procédés techniques d'atténuation des impacts, (remarque du rédacteur) -
- **Valeurs limites d'émission dans les eaux résiduaires** → Arrêté n° 198 du 28 Juin 1979.
- **Modalités de contrôle des installations classées** → Arrêté 0003 du 14 Avril 2006.



- **Manuel de procédure général des Études d'Impact sur l'Environnement** → Annexe I (du code de l'environnement), en appui au décret n° 539 du 15 Juillet 2005. 55
 - Chapitre 1 : Procédure de soumission de l'avis de projet,
 - Chapitre 2 : Évaluation administrative préliminaire,
 - Chapitre 3 : Cas où « l'Étude d'Impact Environnemental » est requise.
Une demande d'autorisation est adressée à l'administration selon les règles du chapitre I du décret 543 et l'EIE est réalisée, selon les règles de la 2^{ème} partie de l'annexe, par un cabinet agréé et une consultation du public est organisée ; puis les différentes administrations concernées donnent leur avis sur la demande pour aboutir à un arrêté d'autorisation de l'installation ou à une révision ou une annulation du projet.
 - Chapitre 4 : Cas où « l'Étude d'Impact Environnemental » n'est pas requise.
La déclaration est adressée à l'administration selon les règles du chapitre II du décret 543 et la notice d'impact environnemental doit être élaborée selon les règles de l'article 4 du décret 539.
- **Guide d'élaboration d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter** → Annexe II (du code de l'environnement) en application de la loi n° 16/93 et de son décret d'application n°543.
 - Chapitre I : Comment élaborer le dossier de demande d'autorisation,
 - Chapitre II : Comment élaborer l'étude d'impact environnemental,
 - Chapitre III : Comment élaborer l'étude des dangers,
 - Chapitre V : Installations classées et permis de construire.

Conclusion.

Les contextes institutionnels nationaux d'Afrique Centrale sont acquis à la cause du développement industriel des bioénergies à partir des déchets de la transformation du bois exploité durablement.

Comme au Gabon, dans les autres états les textes réglementaires d'encadrement de la filière sont prêts ou en cours d'élaboration. Ils permettent d'engager ce type de projet pionnier avec le soutien des administrations et dans un cadre réglementaire organisé et stable.



PARTIE 3- ÉTUDE TECHNOLOGIQUE PRÉALABLE ET COMPTES PRÉVISIONNELS D'EXPLOITATION

▪ Hypothèses/Cadre de « l'étude Technologique ».

L'ensemble des objectifs à atteindre est déterminé par les deux études préalables réalisées en 2019 :

→ **Partie 1** : Étude des marchés Régionaux et Européens, pour la commercialisation d'un charbon de bois tropical certifié FSC 100 % fabriqué à partir des déchets des industries de la transformation du bois en Afrique Centrale.

[Financement : PPECF/COMIFAC - étude PPECF C166].

→ **Partie 2** : Évaluation du pôle des industries du bois ; modèle CBG à Port-Gentil (Gabon). Analyses du « gisement déchet bois » des industries de la transformation du bois, des opérations de la chaîne de production du charbon de bois, du contexte institutionnel et réglementaire et de l'inventaire des technologies de production. [Financement : CBG/Sidmarine].

Ces travaux préalables ont conclu à la pertinence économique, socio-environnementale et climatique de la poursuite de l'étude, dans le but d'établir un modèle industriel adapté à la création et au développement de cette filière en Afrique Centrale.

▪ **Partie 3** [Financement PPECF/COMIFAC]/ **Termes De Référence** :

Pour retenir les options technologiques des matériels de production,

Pour établir le modèle industriel du projet et

Pour analyser sa faisabilité économique,

L'étude technologique devra se conformer aux critères suivants :

Caractéristiques du charbon de bois à produire :

- Caractéristiques physiques : respect de la norme NF EN 1860-2, % de carbone fixe, % de matières volatiles, taux de cendre, taux d'humidité, granulométrie, densité,
- Carbonisation de bois dur pour une meilleure valorisation en Europe,
- Certification durable de la production pour une meilleure valorisation en Europe,
- Commercialisation de vrac, respect des procédures de stabilisation pour éviter les risques de reprise de feu lors du transport,
- Le prix de revient usine plus le prix de la mise à disposition FOB : environ 280 €/t pour la commercialisation en Europe,
- Le prix de revient usine : environ 160 €/t pour la commercialisation Régionale.

Caractéristiques de l'usine :

- La conception des usines doit s'inscrire dans le cadre du développement durable, c'est-à-dire mettre en œuvre les meilleures technologies disponibles en faveur de :
 - La dépollution des fumées et la maîtrise des autres risques inhérents à toute activité industrielle (pollutions air, sol, eau, santé des travailleurs et du voisinage),



- L'efficacité énergétique c'est-à-dire l'optimisation de l'usage de la biomasse matière première: bon rendement de carbonisation (supérieur à 20 %), économie d'énergie fossile par utilisation/valorisation des sciures et fines pour les productions de chaleur nécessaires aux fours et à l'épurateur de fumée,
- La qualité de l'air ambiant du site de production et du voisinage (maîtrise des envols de poussières),
- D'autre part la technologie de l'usine doit être adaptable au contexte technologique de l'Afrique Centrale, elle doit être transférable à d'autres pôles régionaux de l'industrie du bois,
- La capacité de production dans le cas de CBG doit être comprise entre 3000 et 10 000 t/an. Elle doit pouvoir être évolutive en fonction des gisements de déchet bois des scieries industrielles environnantes.

Montage d'un modèle d'usine :

- Recensement des techniques de carbonisation adaptées :
 - Proposition de capacités de production,
 - Proposition d'options techniques de production et de leur coût approché,
 - Engins nécessaires.
- Etude du site de carbonisation
 - Surface du site: stockage matière première, broyage, séchage, production, stockage et expédition du produit fini,
 - Viabilisation du site: génie civil, électricité, gaz ?, eau,
 - Hangars, bureaux, vestiaires.
- Conformité réglementaire :
 - Revue de la législation environnementale en vigueur,
 - Préparation des éléments techniques nécessaires à la « procédure de soumission du projet » à l'administration en charge des installations industrielles classées vis-à-vis de la législation environnementale. (descriptif, débit et qualité des rejets atmosphériques, prise en charge des impacts ...).
- Analyse économique :
 - Le projet industriel sera chiffré pour tous les postes du bilan,
 - Coût des investissements technique et immobilier : CAPEX,
 - Coûts de maintenance, de fonctionnement,
 - Charges salariales, impôts et taxes,
 - OPEX,
 - Recettes
 - Compte de résultat prévisionnel.
- Rapport de l'étude technologique :
 - Par tranches de capacité de production: Proposition d'options techniques, leurs coûts d'investissement (technique et immobilier), de fonctionnement et l'analyse de quelques ratios: capacité d'autofinancement, Pay back period, fluctuation du résultat en fonction du prix de vente.



▪ **Résultat à atteindre par le prestataire.**

L 58

Produire un modèle technique et financier précis de l'implantation de l'usine : équipements, investissements, fonctionnement et prévisionnel de rentabilité et contexte réglementaire.

Etablir un rapport qui servira d'outil à la prise de décision pour l'investissement dans cette filière, avec des données techniques et financières précises, des recommandations et l'évaluation des risques y compris en fonction des régions et sites d'implantation.

Le modèle industriel doit répondre aux exigences des critères des référentiels de certification durable.

▪ **Plan de la « Partie 3 ».**

- Connaissance des technologies et visites de fabricants pour informations techniques sur les process, les quantités des manœuvres de manutention des conteneurs de bois, les capacités de production, la longévité opérationnelle de l'équipement, le coût de l'investissement,
- Premier inventaire des technologies qui semblent pertinentes avec le cahier des charges : « Les technologies adaptées, Présentation technique et économique ».
- Discussion économique et technique sur les technologies pertinentes.
- Fiches de préconisations des techniques adaptées aux différentes échelles de capacité de production.
- Situation du projet vis-à-vis de la législation environnementale.
- Synthèse et conclusion.



CONNAISSANCE DES TECHNOLOGIES ET VISITES DE FABRICANTS

L'ensemble des technologies industrielles expérimentées et durables adaptées au projet est porté par un nombre limité de fabricants/concepteurs de process.

[Important : Les rendements de production de charbon de bois « R » sont calculés à partir Du poids de charbon de bois obtenu à partir D'un bois à 20 % d'humidité.]

- **Les 3 technologies industrielles « Cornue »** sont proposées par la société MOVI située à Diessen au sud de la Hollande. (charcoalfurnace.com, movi.nl)

Entreprise Visitée les 10 et 11 Février 2020 : Mr Schepens Directeur, Mr Van den Heuvel Directeur des ventes.

- **La technologie « Green Eco Furnace », Rendement R = 20 %.**

Elle est plutôt adaptée aux petites capacités de productions de 500 à 1500 t/an en raison du volume limité des conteneurs de bois à enfourner (vessels : 3,7 m³, 200 à 250 kg de charbon de bois par cuisson). Les capacités de production importantes nécessiteraient un nombre important de carbonisation et de manutentions (12 000 à 13 000 cuissons par an ! pour une production de 3000 t/an).

- **Les deux technologies « MC Charcoal Furnace » et « HEAD » R = 20%**

Elles ont des volumes de conteneurs de bois (vessels) de 5,7 m³. Ce volume supplémentaire permet d'augmenter la capacité de production, en acceptant toutefois beaucoup de manutentions, qui représentent une dépense de fonctionnement.

Quelques usines Françaises contraintes par la réglementation sur l'amélioration de la qualité des rejets atmosphériques et d'autres en Europe de l'est, ont adopté ces technologies depuis une quinzaine d'années pour des capacités de production de l'ordre de 3000 à 10 000 t/an, avec la contrainte d'une très grande quantité de manutentions.

En complément d'information sur la technologie « HEAD », nous nous sommes rendu plusieurs fois depuis 1 an dans l'entreprise « Charbon de Bois du Périgord », pour évaluer la technologie → le directeur Mr Philippe Rousseau souligne l'impératif absolu d'utiliser du Bois sec pour éviter de grandes difficultés de fonctionnement et une forte perte de productivité.

- **La technologie à combustion partielle améliorée « CML », R = 15 %.**

Elle est proposée par la société LRCB. Nous connaissons bien cette technologie pour l'avoir utilisée pendant 10 ans.

→ Faible investissement mais faible rendement.



- **La technologie à circulation de gaz chaud «Bruni/Cirad/Sidenergie» R = 22%**
Ce process innovant à été proposé sous forme de prototype en 1994 par le CIRAD, puis il a été optimisé et adaptés aux contraintes industrielles (respect des normes environnementale et productivité). Il a été utilisé pendant 20 ans en usage industriel intensif. (400 000 tonnes de déchet bois recyclées)
 - Cette technologie est adaptée aux projets de moyenne à forte capacité de production pour des raisons de productivité, de facilité de fonctionnement, de rentabilité, de sécurité environnementale et d'adaptabilité au contexte Africain.

- **La technologie à circulation de gaz chaud « Carbonex », R = 22 %.**
Avec « Cogénération d'électricité ».
Elle est la plus aboutie en terme d'optimisation énergétique du bois matière première.
Rendement énergétique = 64 % → Sur charbon = 50 % + Sur électricité = 14 %.
Elle est opérationnelle en fonctionnement industriel intensif depuis 2012.
Elle représente une innovation majeure dans le domaine de la production de charbon de bois
Nous sommes allés de nombreuses fois chez Carbonex pour participer à la mise en place du système à circulation de gaz chaud et pour des relations techniques et commerciales régulières.
 - C'est la meilleure technologie sur le marché, mais ses lourds investissements imposent une capacité de production de 10 000 t/an au minimum de charbon de bois et un tarif favorable de rachat de l'électricité pour atteindre l'équilibre financier.

- **Le four en continu « Gaurus Technologie », R = 22 %.**
Ce four est très intéressant, mais malgré de nombreux contacts avec le bureau d'étude nous n'avons pas pu avoir plus de renseignements que ceux du site internet. (Désir de confidentialité sur le process ?)
 - Malgré ce manque d'informations de détail nous retiendrons cette technologie car elle bénéficie d'une longue expérience industrielle, et nous sommes assurés de sa fiabilité et de sa productivité.



LES « TECHNOLOGIES ADAPTÉES » DONNÉES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES

▪ Le cahier des charges.

Le cahier des charges, pour « la conception du projet industriel de carbonisation des déchets biomasse des pôles industriels de la première transformation du bois en Afrique centrale », encadre et oriente de façon très précise les possibilités de choix technologique :

- *Le contexte technologique local du projet*

Le projet est adossé à la grande industrie du bois donc il se développera dans un environnement technique où existent :

- De bonnes compétences techniques : soudeurs, électriciens, chauffeurs, techniciens, agents de maîtrise...
- Des possibilités locales de maintenance et d'approvisionnement en pièces détachées,
- Des possibilités de raccordement électrique au réseau public ou à celui de la scierie.

- *La capacité de production*

Le but est de valoriser la totalité du gisement de déchets bois d'une scierie industrielle ou d'un pôle industriel du bois.

Selon l'importance du volume de déchet bois à traiter, les capacités de production à installer seront de 500 à 12 000 t/an. Ce sont de grosses capacités qui dépassent largement celles des technologies traditionnelles.

- *La qualité du charbon de bois*

La commercialisation en Europe, recommandée par l'étude de marché, impose le strict respect de la Norme NF EN 1860-2. Pour cela il faut maîtriser de façon rigoureuse et permanente les « paramètres réactionnels » des carbonisations qui déterminent la qualité du charbon de bois : Températures, Paliers de cuisson, Vitesse de montée en température dT/dt.

Les technologies traditionnelles ne sont pas capables de maîtriser ces paramètres.

- *Le rendement de la technologie*

L'objectif durable d'efficacité énergétique du projet impose de faire le meilleur usage du bois qui a été prélevé en forêt, y compris l'utilisation des fines (sciures et copeaux) et de l'utilisation de l'énergie thermique de l'épuration des fumées pour les fournitures de la chaleur.

Cela exclut a priori les technologies traditionnelles.

- *L'impact de l'activité sur l'environnement et la santé*

L'épuration efficace des fumées est un critère incontournable.

La production traditionnelle non équipée de système d'épuration des fumées est un secteur très polluant pour l'atmosphère et pour la santé des travailleurs et du voisinage. Le projet doit respecter les VLE, Valeurs Limites d'Émission, de la réglementation environnementale du pays ou se référer aux VLE Européennes de la directive IED car les projets devront démontrer leur absence d'impact sur l'environnement pour être certifiables. Pour cela la technologie devra mettre en œuvre les MTD principales de l'IED (Meilleures Technologies Disponibles), c'est-à-dire :



- Le respect des conditions d'épuration des fumées : 850°C, temps de séjour 2 secondes minimum, bonne maîtrise de l'air comburant (quantité, points d'injection et bon mélange avec les fumées),
- La récupération / recyclage de l'énergie thermique générée par l'épuration des fumées (pour économiser les consommations d'énergie extérieure).

- **L'usine de charbon de bois doit être certifiable**

La technologie doit pouvoir respecter les principes d'un référentiel (par ex : FSC) qui garantit la durabilité de l'activité : conditions de travail, traçabilité des bois entrants, respect de l'environnement, salaires..., et qui permettra l'accès au marché Européen.

- **L'activité doit être rentable**

Les recettes de l'activité doivent être capables :

- De financer les surcoûts techniques et organisationnels de la durabilité,
- De dégager des marges bénéficiaires de façon à développer et assurer la pérennité de ce projet industriel, innovant et durable.

La rentabilité est l'atout fondamental pour permettre la duplicabilité à grande échelle de ce projet vertueux de valorisation d'un gisement de biomasse abandonné et éliminé dans de mauvaises conditions environnementales et sanitaires.

▪ **Les technologies face au cahier des charges.**

Résumé des « critères techniques » :

- 1) Capacité de production importante ou évolutive de moyenne à importante.
- 2) Épuration des fumées efficace.
- 3) Utilisation de l'énergie thermique de l'épuration des fumées pour les carbonisations et pour le préséchage :
 - économie du bois à carboniser,
 - bon rendement de carbonisation,
 - optimisation de l'usage du bois entrant.
- 4) Utilisation des fines pour fournir l'énergie thermique de soutien, nécessaire à l'épuration des fumées :
 - économie d'énergie fossile,
- 5) Cycles de carbonisation courts :
 - bonne productivité des fours, sensibilité de la technologie à l'humidité du bois,
- 6) Maîtrise des températures et des temps de cuisson pour obtenir en permanence :
 - une qualité du charbon de bois conforme à la norme NF-UE 1860-2.

Pour la suite de l'étude économique nous écarterons la technologie Brésilienne « DPC » (cf. page 42) qui est spécifiquement adaptée aux très grandes plantations forestières industrielles de plusieurs dizaines de milliers d'hectares, elle est envisageable pour des capacités supérieures à 20 000 t/an.

De même, malgré son concept intéressant, nous écarterons la technologie « TFD » (cf. page 37) qui actuellement manque d'expérience en fonctionnement industriel intensif.

Pour chacune des 7 technologies retenues plusieurs choix de capacité de production sont possibles en fonction du nombre d'[ensembles de fours] installés.

Certaines technologies sont adaptées à une évolutivité dans des capacités petites à moyennes (500 à 3 000 t/an) et d'autres technologies sont adaptées aux grandes capacités supérieures à 3 500 t/an et pouvant évoluer jusqu'à 10 000 t/an ou plus.



■ Analyse Économique des 7 technologies retenues.

Pour établir un comparatif des investissements, des charges de production et des comptes prévisionnels des résultats d'exploitation avant impôts des 7 technologies, il faut faire l'étude dans des conditions comparables, c'est à dire pour des équipements capables de traiter le même volume de déchet bois.

Nous ferons cette première partie de l'étude économique sur la base du volume de déchet bois de CBG à traiter.

Les résultats obtenus seront des ordres de grandeur relativement précis et réalistes pour des productions bien conduites, mais pour chaque projet ils peuvent être modulés par une grande quantité de paramètres :

- Prix d'acquisition du bois. Ici nous le considérerons comme nul du fait qu'il s'agit de créer une solution pour le recyclage d'un déchet problématique.
La marge bénéficiaire de l'unité de carbonisation peut : soit rémunérer un achat extérieur du bois, soit rémunérer l'industriel de la transformation du bois, détenteur du gisement de bois et promoteur du projet,
- Densité, « humidité », granulométrie du gisement de déchet bois,
- Performance de calibration et de séchage du bois à carboniser,
- Savoir faire de l'équipe de production,
- Possibilité de construction locale de certains éléments du matériel de production,
- Coût de transport et d'importation du matériel,
- En fonction du contexte local : coût salarial, prix d'acquisition du site, fiscalité ...

■ Hypothèse de capacité de production : Carbonisation du gisement de déchet bois de « CBG ».

Volume du gisement bois de référence à traiter.

Nous prendrons comme référence le volume du gisement de déchet de bois massif à traiter, recensé chez CBG pour l'année 2018. (Equivalent des déchets bois de 69 000 m³/an de grumes transformées par sciage).

Soit **23 000 t/an équivalent sec à 12 % d'humidité**, ou selon l'humidité :

- 20 240 t/an équivalent bois à 0 % d'humidité,
- 25 300 t/an équivalent bois à 20 %, (base de calcul pour la productivité des fours),
- 32 600 t/an équivalent bois à 38 %, (base de calcul pour la manipulation du bois brut sortie scierie).

Capacités de production de 5 technologies retenues, avec cette même quantité de bois.

- Fours « CML », R = 15 % sur bois 20 % d'humidité 3 795 t/an de charbon de bois.
- Fours « MC, MOVI.nl », R = 20 % sur bois 20 % 5 060 t/an de ch de b.
- Fours « Green Eco Furnace, MOVI.nl », R = 20 % sur bois 20 % ... 5 060 t/an de ch de b.
- Fours « HEAD, MOVI.nl », R = 20 % sur bois 20 % 5 060 t/an de ch de b.
- Fours « Bruni/Cirad/Sidenergie », R = 22 % sur bois 20 % 5 566 t/an de ch de b.

Autres capacités de production de 2 technologies non modulables pour les petites capacités.

- Fours « Carbonex », R = 22 % sur bois 20 % minimum 10 000 t/an de ch de b,
et 3 MW électrique avec 59 000 t/an de bois brut.
- Fours « Gaurus Technologie », R = 22 % sur bois 20 % 4 500 t/an de ch de b.
avec 26 000 t/an de bois brut.



- **Coût de l'aménagement du site, des équipements techniques et généraux et des consommables/Pour carboniser les déchets bois de « CBG ». 69 000 m³/an de grumes transformées.**

L 64

Pour la valorisation du gisement de déchet bois de CBG, soit une capacité de production de 5 500 t/an de charbon de bois, le site de carbonisation doit avoir une surface de 21 000 m² (cf. page 50).

→ L'ingénieur TP de CBG a réalisé une première approche des coûts de génie civil pour la viabilisation d'un site référence de 21 000 m² situé sur la ZES de Mandji (zone marécageuse) :

- 20 000 m³ de sable → 304 K€
- 20 000 m³ de latérite → 350 K€
- voirie, réseaux, surfaces béton → 400 K€
- clôtures → 100 K€
- hangars (60 x 29 m = 1 740 m²) → 450 K€
- locaux → 100 K€
- forage, bêche à eau 15 m³, surpresseur et réseau incendie pour sécuriser le hangar vrac charbon de bois → 30 K€
- système de détection incendie InfraRouge + relais d'alarmes → 100 K€.

Soit un total de 1 834 K€ amortissables sur 20 ans, soit 91,7 K€/an.

→ D'autre part, le site doit être équipé :

- d'une bascule pour poids lourd → 25 K€ (prix PRECIA MOLEN)
- d'un transformateur électrique 20 000/400 volts, 150 KVA → 12 K€ (prix des sociétés COELMO, CAHORS)
- d'un groupe électrogène de secours de 75 KVA → 22 K€
- du matériel de préparation du charbon de bois → 150 K€ (prix société RMIS)
 - 2 trémies (4x4 m = 25 m³ avec les rehausses)
 - 2 convoyeurs à bande (L 4,5 m), trémies /trommels
 - 2 cribles trommels (L 7 m, Ø 2 m)
 - 2 convoyeurs à bandes (L 15 m), trommels/chargement des camions

Soit un total de 209 K€ amortissables sur 15 ans soit, 14 K€/an.

→ D'un équipement du conditionnement du bois → 40 K€

à installer sur le site de la scierie ou sur le site de carbonisation

Soit un total de 40 K€ amortissables sur 10 ans, soit 4 K€/an.

→ Le besoin en engins roulants est à adapter en fonction des différentes technologies. L'amortissement sera réalisé sur 8 ans.

→ Le poste consommables est à adapter en fonction des différentes technologies.

Par exemple :

- 100 000 l de gasoil → 100 000 €/an
- électricité : 70 KW x 24 h x 290 j x 0,18 €/KWh → 88 000 €/an
- outillage entretien → 30 000 €/an
- vêtements, bureau, divers → 10 000 €/an
- soudure, huile → 15 000 €/an
- entretien mécanique → 40 000 €/an.

→ Les frais de transport et de douanes à l'importation du matériel sont à prendre en compte. Dans la contrainte d'évaluer ce « poste import » nous évaluerons une enveloppe malgré les différentes situations rencontrées dans les régions et les pays d'implantation des projets.



SIDMARINE/SIDENERGIE

Technologies/Critères	Capacité de production	Épuration des fumées	Recyclage thermique de l'épuration	Utilisation des fines	Rendement de carbonisation	Productivité des fours	Maîtrise des températures et des temps de carbonisation	Cogénération Électricité
Four cornue. MOVI.nl → « MC Charcoal Furnace »	Moyen + Petit volume des paniers	Bon Quelques dégagements	Très bon	Non	Très bon R=20%	Moyen Petit volume des paniers	Non Attention impératif : « bois bien séché »	Non
Four cornue. MOVI.nl → « Green Eco Furnace »	Moyen Petit volume des paniers	Bon Quelques dégagements	Très bon	Non	Très bon R=20%	Moyen Petit volume des paniers	Non Attention impératif : « bois bien séché »	Non
Four cornue. MOVI. nl → « HEAD »	Moyen + Attention Humidité bois	Bon	Très bon	Non	Très bon R=20%	Moyen + Attention Humidité bois	Non Attention impératif : « bois bien séché »	Non
Four cornue. « TFD »	? Pas de retour d'expérience	? Pas de retour d'expérience	?	Non	? R=20% ?	?	Non « bois bien séché »	Non
Four circulation gaz chaud. « DPC biomassa »	Considérable A l'échelle de la Sidérurgie	Bon	Très bon	Non	Très bon	Bon	Oui Peu sensible à l'humidité du bois	Non
Four circulation gaz chaud. → «Bruni/Sidenergie»	Très bon	Très bon	Très bon	Oui	Très bon R=22%	Très bon	Très bon Peu sensible à l'humidité du bois	Non
Four circulation gaz chaud. → « Carbonex »	Très bon	Très bon	Très bon	Oui	Très bon R=22%	Très bon	Très bon Peu sensible à l'humidité du bois	Oui
Four en continu. → « Gaurus, four Navarre »	Très bon	Très bon	Très bon	Non	Très bon R=22%	Très bon	Oui	Non
Four à combustion partielle Amélioré. → « CML »	Moyen Conso de bois combustible	Moyen Quelques dégagements	Non	Non	Moyen R=15% Conso de bois combustible	Bon Défournement à chaud	Non sensible à l'humidité du bois	Non

TECHNOLOGIES ADAPTÉES au CAHIER des CHARGES.



FOURS A « COMBUSTION PARTIELLE » AVEC INCINERATION DES FUMÉES.

▪ Le système amélioré à combustion partielle « CML ».

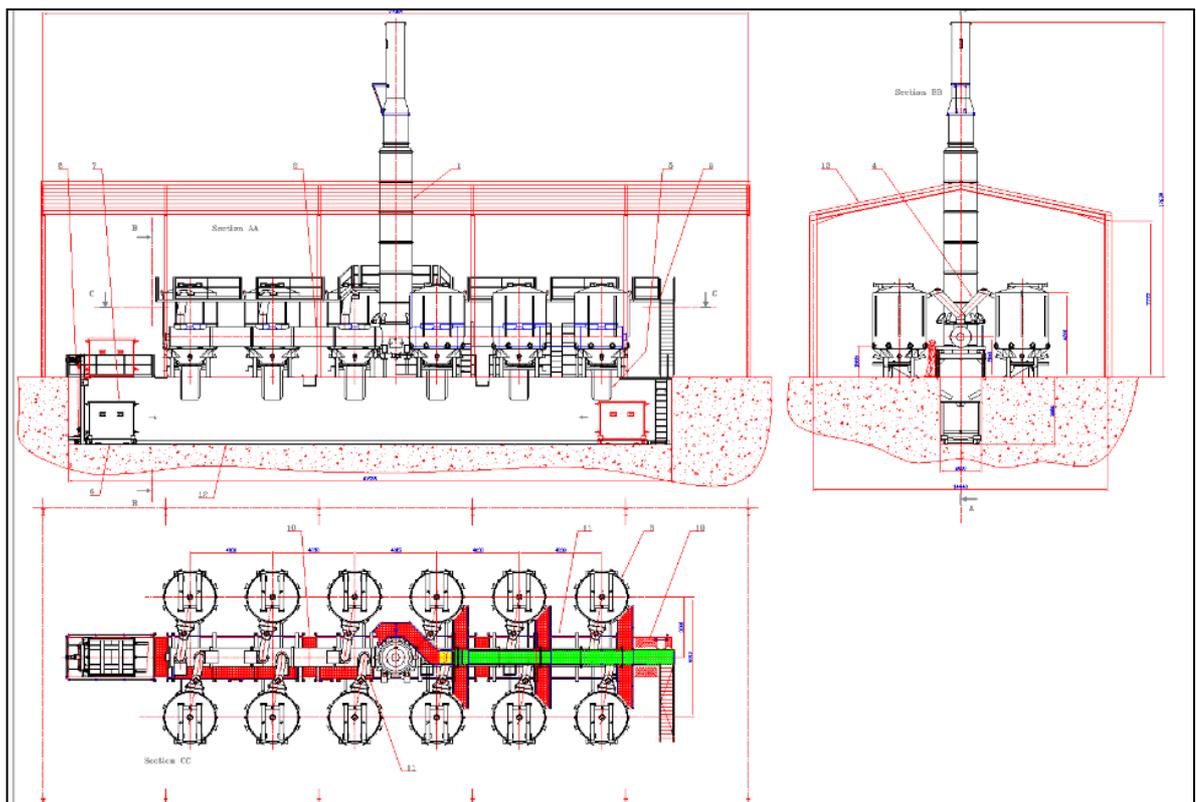
L 66

- La technologie « CML » dispose deux lignes de fours métalliques sur pieds connectés à un épurateur de fumée. L'intérieur des fours cylindriques de 15 m³ est protégé par des briques réfractaires, le haut des cylindres est fermé par un couvercle. Ils sont chargés mécaniquement par le haut et défournés à chaud par le bas dans des bennes étouffoir.
- Le rendement de carbonisation est de 15 % avec du bois à 20 % d'humidité.
- Le cycle de carbonisation dure 24 heures.
- A l'exception de la période de démarrage de la batterie de fours, l'épuration des fumées est satisfaisante et permet de respecter des bonnes conditions de travail. Le défournement à chaud augmente la productivité car il évite une longue mobilisation des fours pour le refroidissement.
- Après un criblage pour extraire des incuits éventuels, le « **charbon de bois respecte la norme EN 1860-2** ».

Bien que les fours à combustion partielle « CML » aient des « **rendements moyens** », les améliorations de « **dépollution des fumées** » et de « **rotation rapide des carbonisations** » ainsi que le « **faible coût d'investissement** », permettent de mettre en concurrence cette technologie pour de projets, de 1000 à 3000 t/an, à financement limité.

Nécessité d'utiliser des bois secs pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Une unité de [12 fours + 1 incinérateur de fumée + système de défournement à chaud] coûte 760 000 € (en 2020) et produit 2500 à 3000 t/an sur 310 jours/an.





▪ **Étude économique pour les fours à combustion partielle améliorés « CML ».**
3795 t/an de charbon de bois.

L 67

Nous nous référons à une étude ADEME réalisée à Mayotte en 2013 pour l'installation d'une batterie de 12 fours CML avec une capacité de production de 3000 t/an (étude A20138, « valorisation des déchets verts et du bois à Mayotte »), cf. annexe 9 : détails investissements et fonctionnement.

Pour traiter les 32 600 t/an de bois brut sortie scierie, l'extrapolation de capacité par rapport à l'étude ADEME est de 20 %. On fonctionnera avec 14 fours qui produiront 3 795 t/an (vendu à 250€/t sortie usine, cf. « étude de marché »), de plus on ajoutera 8 % supplémentaires pour le réajustement des coûts depuis 2013. Le site doit avoir une surface de 2 hectares.

Pour les coûts d'aménagement du site nous utiliserons les prix déterminés par Mr Yves COZE, ingénieur TP de CBG.

Productivité. R= 15 %.

- Fonctionnement : 310 jours/an, 24h/jour, 14 fours.
- Gisement bois à traiter : 32 600 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 3 795 t/an de charbon de bois.
- Pas d'évolutivité car cet équipement est utilisé au maximum de sa capacité.
- Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans une batterie de fours complémentaire à installer autour d'un nouvel épurateur de fumée.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport, douanes	889 000 €	(59,2 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet, 1 camion)	310 000 €	(38,8 K€)

Total investissement (hors achat site) 3 278 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 208 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (16 employés + 2 dirigeants).....	224 000 €
- Consommables	180 000 €
- Amortissements	208 000 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 682 000 €/an

Recette escomptée de 3795 tonnes à 250 €/t 948 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 266 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 342 K€/an

*La manipulation de 32 600 t/an de déchet bois et le service de 14 fours en 3 postes nécessitent 14 employés à la production, alors que l'étude ADEME extrapolée en compte 5. Donc en rajoutant les charges salariales de 9 opérateurs et une secrétaire et un gardien au salaire Gabonais de 600 €/employé/mois, on augmente ces charges à 115 200 €/an. On évalue les charges salariales du dirigeant à 7000 €/mois et de son adjoint à 2000 €/mois.



FOURS « CORNUE » AVEC INCINERATION DES FUMÉES ET UTILISATION DES GAZ CHAUDS.

▪ Les cornues « MC Charcoal Furnace » de Movi.nl.

68

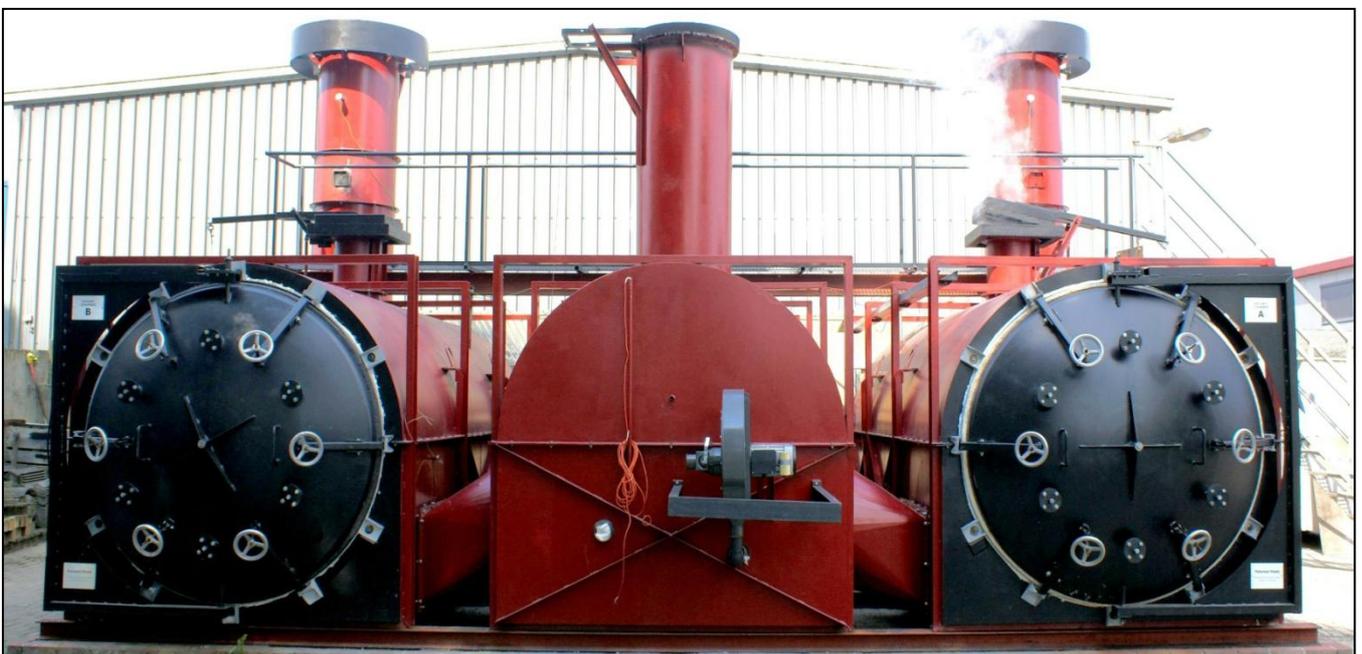
- Cette technologie « **répond aux critères pour une certification durable** » : bonne optimisation de l'usage de la biomasse entrante, bonne épuration des fumées et respect de la santé des travailleurs.
- Le rendement de carbonisation est de 20 % avec du bois à 20 % d'humidité.
- La « **qualité du charbon de bois est conforme à la norme** », malgré un manque de souplesse et de précision sur la maîtrise des températures et des temps de cuisson.
- Comme pour tous les fours cornue, la principale réserve provient de « **la nécessité absolue d'enfourner des bois très bien préséchés** » sinon la durée des carbonisations est longue et la perte de productivité est très importante.
- Pour des capacités de production importantes, le volume modéré des conteneurs à bois (**5,7 m³**) nécessite beaucoup de manutentions et de carbonisations par rapport au tonnage produit.

Un ensemble [1 incinérateur de fumée + 2 fours cornue + 1 enceinte de préséchage] avec les vessels et les prestations de montage et de formation sur site coûte 235 000 €, pour une capacité de production de 800 t/an en fonctionnant 24 heures/jour sur 330 jours/an.

Il est nécessaire de compléter ce prix par celui de la fabrication locale de 30 conteneurs de bois à enfourner (vessels), indispensables pour un fonctionnement intensif, soit 60 000 à 80 000 € selon les conditions de fabrication.

Le transport du matériel de carbonisation est réalisé sur 3 racks équivalents à 3 conteneurs de 20'. Les frais de douanes à l'importation sont à prendre en compte. Dans la contrainte d'évaluer ce « poste import » nous lui réserverons 25 000 € malgré les différentes situations rencontrées dans les régions et les pays d'implantation des projets.

Cette technologie peut être mise en concurrence pour les petites et moyennes capacités de production, de 800 à 3200 t/an. Certains carbonisateurs de l'est de la France et de l'Europe de l'est l'utilisent pour des capacités allant jusqu'à 10 000 t/an.





▪ **Étude économique pour les fours cornue « MC Charcoal Furnace » de Movi.nl.
5060 t/an de charbon de bois.**

L 69

Pour cette étude financière on conservera les mêmes investissements pour l'aménagement du site de 2 hectares puisque la même quantité de déchet bois sera manipulée, par contre la capacité de production accrue de 1265 t/an et le nombre important de conteneurs de bois à manipuler nécessiteront 18 employés + 2 dirigeants, 3 chariots élévateur (4 t), dont 1 avec retourneur et une augmentation des consommables.

Coût process.

- 7 couples de fours : (7 x 235 K€),
- Conteneurs : 7 x 30 = (7 x 60 K€) en fabrication locale,
- Transport, douanes : (7 x 25 K€), poste à réévaluer pour chaque projet.

Productivité. R = 20 %.

- Fonctionnement : 310 j/an, 7 couples de cornues, 210 Conteneurs de bois (vessels).
- Gisement bois à traiter : 32 600 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 5060 t/an de charbon de bois.
- Une augmentation de capacité de production nécessiterait l'investissement dans des batteries de fours complémentaires, mais ce n'est pas pertinent avec cette technologie.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport, douanes	2 245 000 €	(149,6 K€)
- Matériel roulant (3 chariots 4 t + godet, 1 camion)	390 000 €	(48,7 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 714 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 308 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	225 000 €
- Amortissements	308 000 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 841 000 €/an

Recette escomptée de 5060 tonnes à 250 €/t ... 1 265 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t ... 424 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t ... 525 K€/an



▪ **Les cornues « Green Eco Furnace » de Movi.nl.:**

- Cette technologie « **répond aux critères pour une certification durable** » : bonne optimisation de l'usage de la biomasse entrante, bonne épuration des fumées et respect de la santé des travailleurs.
- Le rendement de carbonisation est de 20 % avec du bois à 20 % d'humidité.
- La « **qualité du charbon de bois est conforme à la norme** », malgré un manque de souplesse et de précision sur la maîtrise des températures et des temps de cuisson.
- Comme pour tous les fours cornue, la principale réserve provient de « **la nécessité absolue d'enfourner des bois très bien préséchés** » sinon la durée des carbonisations est longue et la perte de productivité est très importante.
- Pour des capacités de production importantes, le très petit volume des conteneurs de bois (3,7 m³) nécessite énormément de manutentions et de carbonisations par rapport au tonnage produit.

L 70

Un ensemble [1 incinérateur de fumée + 2 fours cornue + 1 portique de chargement] avec les prestations de montage et de formation sur site coûte 150 000 €, pour une capacité de production de 500 t/an en fonctionnant 24 heures/jour sur 330 jours/an.

Il est nécessaire de compléter ce prix par celui de la fabrication locale de 30 conteneurs de bois à enfourner (vessels), indispensables pour un fonctionnement intensif, soit 70 000 à 80 000 €.

Le transport est réalisé sur 1 rack équivalent à 1 conteneur de 20'.

Cette technologie peut être mise en concurrence pour les petites et moyennes capacités de production, de 500 à 2500 t/an.

Du fait du petit volume des conteneurs de bois, cette technologie n'est pas la plus adaptée aux grandes capacités de production.





▪ **Étude économique pour les fours cornue « Green Eco Furnace » de Movi.nl.
5060 t/an de charbon de bois.**

L 71

Pour cette étude financière on conservera les mêmes investissements pour l'aménagement du site de 2 hectares et les mêmes postes de charges de fonctionnement puisque la même quantité de déchet bois sera manipulée et la capacité de production de 5060 t/an est identique. Seul le poste investissement process est modifié.

Coût process.

- 10 couples de fours : (10 x 150 K€),
- Conteneurs : 10 x 30 = (10 x 70 K€) en fabrication locale,
- Transport, douanes : (10 x 20 K€), poste à réévaluer pour chaque projet.

Productivité. R = 20 %.

- Fonctionnement : 330 j/an, 10 couples de cornues, 220 Conteneurs de bois (vessels).
- Gisement bois à traiter : 32 600 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 5060 t/an de charbon de bois.
- Une augmentation de capacité de production nécessiterait l'investissement dans des batteries de fours complémentaires, mais ce n'est pas pertinent avec cette technologie.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport	2 400 000 €	(160 K€)
- Matériel roulant (3 chariots 4 t + godet, 1 camion)	390 000 €	(48,7 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 769 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 319 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	225 000 €
- Amortissements	319 000 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 852 000 €/an

Recette escomptée de 5060 tonnes à 250 €/t ... 1 265 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t ... 413 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t ... 514 K€/an



■ **Les cornues « HEAD » de Movi.nl.:**

- Cette technologie « **répond aux critères pour une certification durable** » : bonne optimisation de l'usage de la biomasse entrante, bonne épuration des fumées et respect de la santé des travailleurs.
- Le rendement de carbonisation est de 20 % avec du bois à 20 % d'humidité.
- La « **qualité du charbon de bois est conforme à la norme** », malgré un manque de souplesse et de précision sur la maîtrise des températures et des temps de cuisson.
- Comme pour tous les fours cornue, la principale réserve provient de « **la nécessité absolue d'enfourner des bois très bien préséchés** » sinon la durée des carbonisations est longue et la perte de productivité est très importante.
- Pour des capacités de production importantes, le volume modéré des conteneurs de bois (5,7 m³) nécessite beaucoup de manutentions et de carbonisations par rapport au tonnage produit.

L 72

Un ensemble [1 incinérateur de fumée + 2 fours cornue + 1 portique de chargement] avec les prestations de montage et de formation sur site coûte 500 000 €, pour une capacité de production de 1250 à 1550 t/an (selon l'humidité du bois), en fonctionnant 24 heures/jour sur 330 jours/an.

Il est nécessaire de compléter ce prix par celui de la fabrication locale de 30 conteneurs de bois à enfourner (vessels), indispensables pour un fonctionnement intensif, soit 80 000 à 90 000 €.

Le process doit être complété par un système de préséchage efficace, soit environ 50 000 €.

Les éléments préfabriqués sont transportés et montés sur place.

Cette technologie peut être mise en concurrence pour des capacités de production, de 1500 à 5000 t/an. Avec l'installation d'unités de process supplémentaires, cette technologie peut être adaptée aux grandes capacités de production supérieures à 5000 t/an à la condition d'avoir un système de préséchage extrêmement performant. Cf. page 34.





▪ **Étude économique pour les fours cornue « HEAD » de Movi.nl.
5060 t/an de charbon de bois.**

L 73

Pour cette étude financière on conservera les mêmes investissements pour l'aménagement du site de 2 hectares et les mêmes postes de charges de fonctionnement puisque la même quantité de déchet bois sera manipulée et la capacité de production de 5060 t/an est identique. Seul le poste investissement process est modifié.

Coût process.

- 4 couples de fours : (4 x 500 K€),
- Conteneurs : 4 x 30 = (4 x 90 K€) en fabrication locale,
- Transport, douanes : (4 x 60 K€), poste à réévaluer pour chaque projet.

Productivité. R = 20 %.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 4 unités de [2 cornues + épurateur].
- Gisement bois à traiter : 32 600 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 5060 t/an de charbon de bois.
- Pas d'évolutivité car l'équipement est utilisé au maximum de sa capacité.

Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans une unité complémentaire (600 K€).

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport, douanes	2 600 000 €	(173 K€)
- Matériel roulant (3 chariots 4 t + godet, 1 camion)	390 000 €	(48,7 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 969 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 327 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	225 000 €
- Amortissements	327 000 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 860 000 €/an

Recette escomptée de 5060 tonnes à 250 €/t ... 1 265 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t ... 405 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t ... 506 K€/an



FOURS A « CIRCULATION DE GAZ CHAUD » AVEC INCINERATION DES FUMÉES ET UTILISATION DES GAZ CHAUDS.

Cette technologie « **répond à tous les critères pour une certification durable** ».

La circulation forcée et régulée des gaz chauds à travers la charge de bois à carboniser permet de maîtriser précisément les températures et les temps de cuisson. On obtient une « **qualité de charbon de bois conforme à la norme** », on peut aussi faire des choix de durée de cuisson plus longue ou/et à température plus haute pour obtenir d'autres classes de charbon de bois, par exemple des charbons actifs pour la filtration.

Le « **préséchage du bois est un facteur beaucoup moins sensible** » que dans les fours cornue car le forçage des gaz chauds directement au contact du bois permet d'accélérer les transferts de chaleur et de réaliser rapidement le séchage à l'intérieur du four.

Ce principe de carbonisation est adapté aux capacités de production industrielles à partir de 2500 t/an.

▪ **Les fours « Bruni/Cirad/Sidenergie » à circulation de gaz chaud :**

- L'incinérateur de fumée est entouré de 3 ou 4 « fours cloche » qui fonctionnent en relais avec des cycles de fournée de 8 à 12 heures. La solution à 4 fours est optimale pour alimenter en permanence l'épurateur de fumée et disposer de façon continue de l'énergie thermique de l'incinération des fumées.
- Chaque four contient 4 conteneurs de bois à carboniser, soit 33 m³ par fournée et 1 foyer dans lequel une partie des gaz de carbonisation sont brûlés en interne pour fournir l'énergie thermique nécessaire à la carbonisation.
- Le forçage régulé des gaz chauds, directement au contact du bois, maîtrise le milieu réactionnel des carbonisations jusqu'à des températures permettant la fabrication de charbon actif.
- La technologie dispose d'un puissant ventilateur de brassage à l'intérieur du four. Au démarrage du four, la première phase de séchage du bois (jusqu'à 140°) est très rapide et peut accepter une humidité relativement élevée des bois entrants.
- La fournée simultanée de 4 conteneurs de bois de 8,3 m³ (environ 22 tonnes de bois brut par four) réduit considérablement le nombre d'opérations de carbonisation et de manutention et produit 3,2 à 4 tonnes de charbon de bois par fournée.
- **La fin de carbonisation (1 h 30 à partir de 410°c) est une activation à la vapeur d'eau**, de façon accélérer l'extraction des COV résiduels et à obtenir un charbon à fort taux (de 85 à 93 %) de carbone fixe, ainsi qu'à éliminer les risques ultérieurs de reprise de feu.

Des réglages de production du carbone végétal adaptés aux applications industrielle, santé, filtration, agricole, fonderie, combustible domestique:

L'automatisation du process, la maîtrise des gradients de montée en températures et du choix de la température du palier de fin de carbonisation permettent de respecter les cahiers des charges des différentes applications potentielles du charbon végétal.

- **Filtration, dépollution industrielle** en milieu gazeux ou liquide : « Charbon Actif » pulvérulent ou en paillettes cuit haute température pour augmenter la porosité et la capacité d'adsorption (surface spécifique).
- **Santé** : « Charbon Actif » pour applications pharmaceutiques.



- **Agriculture** : « Biochar », amendement de sol pour l'amélioration du taux de carbone, de l'oxygénation, de la capacité de captation et d'échange des nutriments (CEC) et de l'activité biologique, surtout en culture maraichère : « La terra preta » des amérindiens.
- **Fonderie** d'aluminium et de cuivre.
- **Industrie** : pneu, peinture, cosmétique, artificiers, chimie.
- **Charbon de bois domestique**, conforme à la Norme EN 1860-2, carbone fixe supérieur à 85%.
- **De nombreuses** autres applications sont possibles : puits électrique, pigments, potabilisation d'eau ...

75



Exemple de 3 fours de carbonisation à brassage de gaz chauds, épuration des fumées, collecte des gaz chauds pour l'unité de préséchage des bois.
Capacité : environ 5 500 t/an, usine certifiée ISO 14001 (management environnemental).

Chaque four coûte 610 K€ (avant transport), pour une capacité de production de 2100 t/an sur 330 jours par an. La durée de vie des équipements est supérieure à 20 ans. Cette technologie éprouvée, d'une gestion aisée et non polluante, peut fonctionner avec 3, 4, 5 ou 6 fours autour de l'incinérateur des fumées. En fonction du nombre de fours elle est modulable pour des capacités de production de 3000 à 12000 t/an. Elle est adaptable à l'environnement industriel du bois d'Afrique Centrale et de l'ouest, sa technologie est simple et de nombreux éléments de chaudronnerie et de maçonnerie (conteneurs de bois à enfourner, étouffoirs, chambre d'incinération des fumées...) peuvent être fabriqués sur place pour réduire les coûts d'investissement et de transport.



▪ **Étude économique pour les fours à circulation de gaz chaud « Bruni/Sidenergie ».**
5566 t/an de charbon de bois.

L 76

Coût process, 3 fours.

- 3 fours : (3 x 610 K€),
- Conteneurs : 3 x 25 → (3 x 50 K€) en fabrication locale,
- Incinérateur de fumée : 200 K€,
- Transport, douanes : (4 éléments x 30 K€), poste à réévaluer pour chaque projet.

Productivité, 3 fours. R = 22 %.

- Fonctionnement : 290 jours/an, 3 fours + épurateur.
- Gisement bois à traiter : 32 600 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 5566 t/an de charbon de bois - 19,2 t/jour sur 290 jours.
- Évolutivité → capacité de production maximum jusqu'à 6300 t/an sur 330 j/an.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport, douanes	2 300 000 €	(154 K€)
- Engins (2 chariots 4 t + 1 chariot 12 t, 1 camion)	450 000 €	(56,2 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 829 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 315 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	235 000 €
- Amortissements	315 000 €
- Entretien mécanique	45 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 863 000 €/an

Recette escomptée de 5566 tonnes à 250 €/t ... 1 391 500 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 528 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 639 K€/an

Évolutivité de la capacité de production et du résultat pour 3 fours.

- Avec 3 fours sur 290 jours → 5566 t → Résultat brut à 250 €/t : 528 K€
- Avec 3 fours sur 330 jours → 6300 t → Résultat brut à 250 €/t : 712 K€ (cf. page 114)
- Avec 3 fours sur 330 jours → 6300 t → Résultat brut à 270 €/t : 838 K€ (cf. page 114)

**Coût process, 4 fours.**

- 4 fours : (4 x 610 K€),
- Conteneurs : 4 x 25 = (4 x 50 K€) en fabrication locale,
- Incinérateur de fumée : 210 K€,
- Transport, douanes : (5 éléments x 30 K€), poste à réévaluer pour chaque projet.

L 77

Productivité, 4 fours. En vue d'une extension de capacité de production. R = 22 %.

- Fonctionnement : 218 jours/an, 4 fours + épurateur.
- Gisement bois à traiter : 32 600 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 5566 t/an de charbon de bois - 25,6 t/jour sur 218 jours.
- Évolutivité → capacité de production maximum jusqu'à 8400 t/an sur 330 j/an.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport, douanes	3 000 000 €	(200 K€)
- Engins (2 chariots 4 t + 2 chariots 12 t, 1 camion)	600 000 €	(75 K€)

Total investissement (hors achat site) 5 679 000 €**Amortissements (8, 15 et 20 ans) 385 000 €/an****Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).**

- Personnel (20 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	235 000 €
- Amortissements	385 000 €
- Entretien mécanique	45 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 933 000 €/an**Recette escomptée de 5566 tonnes à 250 €/t ... 1 391 500 €/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 458 K€/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 569 K€/an****Évolutivité de la capacité de production et du résultat pour 4 fours.**

Avec 4 fours sur 218 jours → 5566 t → Résultat brut à 250 €/t : 458 K€

Avec 4 fours sur 330 jours → 8500 t → Résultat brut à 250 €/t : 1 072 K€ (cf. page 117)

Avec 4 fours sur 330 jours → 8500 t → Résultat brut à 270 €/t : 1 242 K€ (cf. page 117)



▪ **Les fours à circulation de gaz chaud « Carbonex » Cogénération d'Électricité :**

Cette technologie innovante optimise au maximum le potentiel énergétique du bois. L'énergie thermique issue de l'épuration de fumées sert aux carbonisations, au préséchage et l'important surplus d'énergie alimente une cogénération d'électricité via une production de vapeur surchauffée qui est envoyée dans un turbo-alternateur.

Ce principe de fonctionnement est le plus abouti en terme de rendement thermodynamique d'un process de carbonisation. C'est la meilleure technologie disponible en carbonisation, elle a été démontrée Greentech aux salons des solutions bas carbone aux COP 21 et 23.

Les 8 ans de fonctionnement industriel intensif ont permis de fiabiliser son exploitation automatisée, elle requiert peu de personnel.

Sur le plan de la maîtrise des paramètres du milieu réactionnel cette technologie présente les mêmes atouts que le four à circulation de gaz chaud décrit précédemment, elle est capable de produire du charbon à fort taux de carbone fixe qui a déjà les caractéristiques d'un charbon actif.

Cette **technologie mature et vertueuse nécessite des équipements industriels importants** tels que la chaudière vapeur et le turbo-alternateur, il faut de grandes capacités de production pour assurer la rentabilité de ces matériels, ils ne peuvent être amortis qu'à partir de 10 000 t/an de charbon de bois et dans le cas d'un tarif de rachat favorable de « l'électricité biomasse ».

Pour que l'analyse financière du process soit cohérente avec ses particularités techniques, nous baserons l'étude sur une capacité de production de 10 000 t/an de charbon de bois et une puissance électrique de 3 MW – 25 000 MWh/an commercialisés - (comme le modèle français en service depuis 2012).

Cette capacité nécessite 59 000 t/an de bois brut à 38 % d'humidité, c'est un tonnage disponible dans les pôles des industries du bois (ex : sur la ZES de Nkok ou à Port Gentil en cumulant les déchets bois de CBG et de CoraWood).

Remarque :

Dans le contexte Français, l'équilibre financier de l'unité repose sur un prix de rachat de l'électricité de l'ordre de 0,15 €/KWh ce qui correspond à un tarif élevé qui n'est atteint que dans le cas d'un soutien institutionnel à « l'électricité verte » ou d'un déficit local de disponibilité électrique.

Ici nous prendrons un tarif de rachat de l'électricité à un prix de 0,07 €/KWh qui est cohérent avec les tarifs possibles en Afrique Centrale.

Le choix d'investir 23 M€ dans cette technologie représente un véritable engagement industriel en faveur de la réduction des impacts sur le changement climatique.

Le développement économique des pays d'Afrique Centrale est directement lié à la disponibilité d'énergie électrique et l'augmentation de la puissance électrique produite de façon durable est un objectif des stratégies nationales. Cette technologie rentre dans le cadre des objectifs nationaux de production d'électricité verte.

Le volume de bois nécessaire est disponible dans les grands pôles industriels du bois, mais il peut aussi être fourni par des plantations industrielles d'acacias et d'eucalyptus (ex : les plantations de Pointe Noire ou les plantations mises en œuvre sur les plateaux Batéké de RDC par le Cirad et Ibi Village).

En s'appuyant sur les travaux des chercheurs, une plantation de 5000 ha (7 x 7 Km) exploitée par tranches de 400 ha/an avec une rotation de 11 ans permet de produire de façon durable 10 000 t/an de charbon de bois et la fourniture électrique de 10 000 ménages Africains.



▪ **Étude économique pour les fours à circulation de gaz chaud « Carbonex », avec cogénération électricité 3 MW/charbon de bois 10 000 t/an.**

L 79

Productivité. R = 22 %.

- Fonctionnement : 330 jours/an.
- Gisement bois à traiter : 59 000 t/an à 38 % d'humidité sortie scieries ou plantation.
- Capacité de production : 10 000 t/an de charbon de bois - 30 t/jour, 25 000 MWh/an,
- L'autoconsommation d'électricité génère une économie de 70 K€/an,
- Évolutivité → capacité de production accrue avec des équipements supplémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	1 000 000 €	(50 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	800 000 €	(40 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	750 000 €	(37,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	110 000 €	(5,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	200 000 €	(13,3 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	70 000 €	(7 K€)
- Process, transport, douanes	23 000 000 €	(1 534 K€)
- Engins (2 chariots 4 t + 2 chariots 12 t, 1 camion)	600 000 €	(75 K€)

Total investissement (hors achat site) 26 619 000 € (Invest.. technique : 23 980 K€)

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 1 767 700 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (24 employés + 2 dirigeants)	283 000 €
- Consommables	220 000 €
- Amortissements	1 767 700 €
- Entretien, mécanique	80 000 €
- Divers, honoraires	50 000 €

Total charges d'exploitation 2 400 700 €/an

Total recette 4 250 000 €/an

Recette escomptée de 10 000 t/an charbon à 250 €/t 2 500 000 €/an

Recette escomptée de 25 000 MWh à 70 €/MWh 1 750 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 1 849 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 2 049 K€/an

Remarque : Approvisionnement bois à partir de plantations industrielles.

La recette permettrait la création, l'entretien, l'exploitation et le renouvellement du couvert forestier d'une plantation industrielle durable de 5000 ha nécessaire à l'approvisionnement bois de l'usine de cogénération « charbon de bois 10 000 t/an / électricité 3 MW ».

En se référant aux travaux du CIRAD sur les plantations d'acacias auriculiformis de RDC et sur l'expérience du PRONAR de la République du Congo (Programme National d'Afforestation et de Reboisement), les charges de fonctionnement de 5000 ha (rotation sur 11 ans) sont de l'ordre de 1,16 million €/an pour fournir 42 800 t/an de matière sèche, soit un bois rendu usine à 27 €/t de matière sèche ou 19 €/t de bois à 30% d'humidité.

Cette opération « Plantation industrielle durable/Cogénération électricité/Charbon de bois » est financièrement réalisable avec cette technologie.

(5000 ha, 11 ans, 400 ha/an → 10 000 t/an de charbon de bois durable + 3MW d'électricité verte)



FOURS A FONCTIONNEMENT CONTINU.

Cette technologie « **répond à tous les critères pour une certification durable** ».

On obtient une « **qualité de charbon de bois conforme à la norme** », on peut aussi faire des choix de durée de cuisson plus longue ou/et de température plus haute pour obtenir d'autres classes de charbon de bois, par exemple du charbon actif pour la filtration.

Ce principe de carbonisation est adapté aux capacités de production industrielles par tranches de 4500 t/an.

Le fonctionnement en continu élimine la grande quantité de manutentions des conteneurs de bois et permet de réduire le besoin en personnel.

80

- **Le four en Continu « Gaurus Technologie » avec valorisation des jus pyroligneux:**

1,7 M€ : ensemble four en continu + système de valorisation des fumées.

4500 t/an de charbon sur 330 j/an, R = 22 % sur bois à 20 % d'humidité.

Les deux unités installées sont chacune équipées de deux fours, pour des capacités de production de 9 000 t/an de charbon de bois.

Cette technologie industrielle peut être adaptée aux ZES/pôles d'industries du bois qui ont de gros volumes de déchet bois à traiter.

La grande capacité de production de charbon de bois et la valorisation des produits chimiques obtenus par distillation des fumées nécessitent des compétences spécialisées.





▪ **Étude économique pour le four en continu « Gaurus Technologie »,
4500 t/an de charbon de bois et valorisation des jus pyrolygneux (fumée).**

81

Pour cette étude financière on prendra des investissements pour l'aménagement d'un site de 1,6 hectare et les postes de charges salariales, de consommables (gasoil) et des gros chariots élévateurs diminuent car il n'y a pas les nombreuses manutentions des conteneurs de bois à effectuer.

Productivité. R = 22 %.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 1 unité [1 four en continu + système de valorisation des fumées].
- Gisement bois à traiter : 29 300 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 4500 t/an de charbon de bois.
- Pas d'évolutivité car l'équipement est utilisé au maximum de sa capacité.

Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans une unité complémentaire (1 700 K€).

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	550 000 €	(27,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process, transport, douanes	1 800 000 €	(120 K€)
- Engins (2 chariots 4 t, 1 camion)	320 000 €	(40 K€)

Total investissement (hors achat site) 3 999 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 259 400 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (15 employés + 2 dirigeants).....	216 000 €
- Consommables	210 000 €
- Amortissements	260 000 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 756 000 €/an

Recette escomptée de 4500 tonnes à 250 €/t ... 1 125 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 369 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 459 K€/an

Remarque :

D'après le fabricant « Gaurus Technologie » et sur la base des usines qui fonctionnent en Biélorussie et en Lituanie, la valorisation des jus pyrolygneux peut compléter la recette de 200 à 300 K€/an.



ENCADREMENT RÉGLEMENTAIRE DU PROJET - EXEMPLE DU GABON

Les technologies adaptées au projet de CBG et en général aux projets de production industrielle durable de charbon de bois à partir des déchets de l'industrie de la première transformation du bois en Afrique centrale, bénéficieront des meilleures technologies disponibles (MTD) au sens de la directive IED/ 2010/75 UE. Cette directive a intégré pour la première fois les objectifs d'optimisation énergétique aux prescriptions réglementaires environnementales auxquelles les industries doivent se conformer.

Les technologies qui mettent en œuvre les MTD sont les plus rentables car :

- Elles optimisent la valorisation du pouvoir énergétique du bois-entrant en utilisant le potentiel thermique de la dépollution des fumées et en ayant de très bons rendements de production du charbon de bois,
- En conséquence elles n'émettent aucun rejet atmosphérique,
- Et elles évitent l'usage de combustible fossile pour la fourniture de chaleur au process.

Dans la réglementation Gabonaise (décret n°39 classification des industries) ce type de technologie est classé dans la « catégorie II. E : Carbonisation en vase clos » (risque modéré), alors que la carbonisation avec dégagement des fumées à l'atmosphère est classée dans la catégorie qui présente le plus de risque : la « catégorie III. E ».

La procédure initiale de « soumission de l'avis de projet » et son examen par l'administration déterminera :

- **Si l'installation projetée est soumise à autorisation administrative.**

Dans ce cas le dossier de demande d'autorisation sera réalisé par un cabinet d'Études Environnementales agréé par l'administration. Ce dossier devra comprendre « l'Étude d'Impact Environnemental » qui est une étude coûteuse et longue, elle comprend par exemple des études géologiques et épidémiologiques.

Puis après la mise à disposition du dossier auprès du public « l'enquête publique » sera réalisée.

Cette procédure très longue et approfondie est justifiée dans les cas de risques élevés et d'incidences importantes sur les milieux, la faune et/ou sur les populations.

- **Si l'installation projetée est soumise à déclaration administrative.**

Dans ce cas le dossier de déclaration comprendra « la Notice d'Impact Environnemental ». Cette procédure plus légère est adaptée aux projets qui présentent un risque très modéré.

Une installation qui fonctionne sous le régime de la « Déclaration Administrative » doit néanmoins se conformer à ses engagements et aux prescriptions et inspections du service administratif compétent sous peine de sanctions ou d'obligation d'arrêt de l'activité.

Dans le domaine des installations industrielles classées vis-à-vis de l'environnement, la réglementation Gabonaise manque de référence pour les secteurs industriels qui n'existent pas encore au Gabon.

Pour les textes qui ne sont pas disponibles au niveau national, par exemple en ce qui concerne les rejets atmosphériques, la réglementation Gabonaise demande de se référer aux textes élaborés dans les pays réglementés, en particulier aux textes Européens (Par exemple : la Directive IED : 2010/75 UE - Industrial Emissions Directive- et les différents textes nationaux existants pour l'activité de carbonisation).



En France, les installations de carbonisation sont classées au titre de la législation sur l'environnement pour les activités principales suivantes :

- Rubrique n°2420 : Charbon de bois (fabrication du),
- Rubrique n°1510 : Entrepôt couvert (stockage de produits inflammables en quantité supérieure à 500 tonnes),
- Rubrique n°2910 : Installations de combustion (combustibles non dangereux),
- Rubrique n°2260 : Broyage, criblage (puissance des machines fonctionnant en simultané, supérieure à 100 KW).

Rubrique n°2420, Fabrication de charbon de bois :

- Sont interdites toutes les installations qui ne sont pas équipées de système d'épuration des fumées.
- Les installations de carbonisation équipées d'un système d'épuration des fumées sont classées dans la rubrique 2420 de la nomenclature des installations classées.
 - Les procédés en continu, classement n° 2420.1 sont soumis au régime de l'autorisation.
 - Pour les procédés en discontinu, c'est la capacité totale des enceintes où s'effectue la carbonisation qui détermine le seuil de classement sous le régime de la déclaration ou sous le régime de l'autorisation.
 - Régime de la déclaration, classement n° 2420.2-b : Enceintes de carbonisation de moins de 100 m³. (en fonctionnement simultané, note du rédacteur).
 - Régime de l'autorisation, classement n° 2420.2-a : Enceintes de carbonisation de plus de 100 m³. (en fonctionnement simultané, note du rédacteur).

Rubrique n°1510, Stockage de charbon de bois supérieur à 500 tonnes dans des entrepôts couverts :

- Volume de l'entrepôt inférieur à 5 000 m³ : non soumis à la réglementation,
- Volume de l'entrepôt inférieur à 50 000 m³ et supérieur à 5 000 m³, classement n° 1510-3 : régime de la déclaration,
- Volume de l'entrepôt inférieur à 300 000 m³ et supérieur à 50 000 m³, classement n° 1510-2 : régime de l'enregistrement (nouveau statut en France),
- Volume de l'entrepôt supérieur à 300 000 m³, classement n° 1510-1 : régime de l'autorisation.

Rubrique n°2910, Installations de combustion à, , biomasse (non souillée) :

- Puissance thermique supérieure à 20 MW : n° 2910-A-1, régime de l'autorisation,
- Puissance thermique supérieure à 2 MW mais inférieure à 20 MW : n° 2910-A-2, régime de la déclaration,
- Puissance thermique inférieure à 2 MW : non soumis à la réglementation.

Rubrique n°2260, Installations de concassage, , broyage, criblage :

- Puissance des machines, fonctionnant simultanément, inférieure à 100 KW : non soumis à la réglementation,
- Puissance des machines, fonctionnant simultanément, comprise entre 100 et 500 KW : n° 2260-b, régime de la déclaration.
- Puissance supérieure à 500 KW : régime de l'autorisation.



▪ **Situation administrative du projet vis-à-vis de la réglementation environnementale.**

Au Gabon et dans les autres pays d'Afrique Centrale, il n'existe pas de réglementation spécifique à l'activité industrielle de la carbonisation hormis la distinction des procédés en vases clos qui sont classés dans la catégorie II des risques modérés.

Ce classement tend à laisser penser que l'administration pourrait envisager de considérer les process retenus comme étant soumis au régime de la déclaration.

Examinons la situation administrative des process retenus vis-à-vis d'une législation de référence, expérimentée sur le sujet de la carbonisation : la législation Française. (La France reste le plus gros producteur de charbon de bois d'Europe Occidentale, devant l'Espagne)

- Rubrique 2420, Fabrication de charbon de bois.
 - Pas de dégagement de fumée → La permission d'exploiter est possible.
 - Le volume cumulé des enceintes de carbonisation est inférieur à 100 m³, donc : « Classement sous le régime de la déclaration : 2420.2-b ».
- Rubrique 1510, Stockage de combustible (charbon de bois) supérieur à 500 tonnes.
 - Le volume de l'entrepôt nécessaire est de 1740 m² x 5 m de hauteur soit 8700 m³, ce qui est compris entre 5000 et 50 000 m³, donc : « Classement sous le régime de la déclaration : 1510-3 ».
- Rubrique 2910, Installation de combustion d'une puissance supérieure à 2 MW.
 - L'incinérateur des fumées nécessite un foyer d'une puissance maximale de 3,5 MW, ce foyer fonctionne avec les sciures et copeaux issus du sciage et du déroulage. La puissance thermique est comprise entre 2 et 20 MW, donc : « Classement sous le régime de la déclaration : 2910-A-2 ».
- Rubrique 2260, Installation de concassage, broyage, criblage supérieure à 100 KW.
 - L'ensemble des deux lignes (convoyeurs à bande et crible rotatif) de préparation du charbon de bois nécessite une puissance maximum de 40 MW, soit inférieure à 100 MW, donc : « Non soumis à la réglementation ».

Ainsi vis-à-vis de **la réglementation Française** qui a beaucoup évolué de façon contraignante ces dernières années, en intégrant les problématiques modernes des intérêts de l'environnement :

→ « **Le projet est classé sous le régime de la Déclaration** »



▪ **Document de soumission du projet à communiquer à l'administration en charge des installations classées.**

Au Gabon le premier contact avec l'administration est la présentation du dossier de l'avis de soumission du projet à la DGEPN (Direction Générale de l'Environnement et de la Protection de la Nature).

Puis le dossier d'avis de soumission est examiné par le Comité Interministériel des Études d'Impact afin de statuer sur la situation administrative du projet, c'est-à-dire s'il est assujéti à une «Étude d' Impact sur l'Environnement » -EIE- ou s'il est soumis à «La procédure allégée de la Notice d' Impact sur l'Environnement ».

La constitution de l'avis de soumission est encadrée par le manuel de procédure générale des études d'impact sur l'environnement situé dans les annexes du code de l'environnement.

Ce dossier doit comprendre les renseignements suivants :

- Nom coordonnée du promoteur,
- Titre du projet,
- Objectif et justification,
- Localisation du site,
- Description du projet et de ses alternatives,
- Composante du milieu et principales contraintes à la réalisation du projet,
- Principaux impacts appréhendés,
- Calendrier de réalisation,
- Régime juridique,
- Nature et volume des activités envisagées,
- Implantation et description des installations permanentes,
- Capacités techniques et financières,
- Autres renseignements.

Ce premier niveau des démarches administratives est très important car il déterminera le statut administratif définitif de l'activité. Ce doit être un plaidoyer technique en faveur du projet.

Il important de démontrer l'absence d'impacts négatifs (composition et flux des rejets atmosphériques, imperméabilisation des sols, gestion des déchets..), exposer les mesures engagées pour maîtriser les risques (procédures de surveillance des rejets atmosphériques, du risque incendie..).

Il faudra développer l'intérêt environnemental et climatique du projet en particulier chiffrer les réductions d'émission de CO₂ afin que l'administration puisse les enregistrer au niveau de ses actions en faveur du climat vis-à-vis de ses engagements auprès de la communauté internationale.



COMPARAISON DES « PERFORMANCES ÉCONOMIQUES » DES TECHNOLOGIES ADAPTÉES

■ Préalables.

Le prix d'acquisition du site d'implantation de l'usine de carbonisation dépend du contexte de chaque projet. Pour la surface nécessaire de 20 000 m², cet investissement peut varier de 2 millions d'euros pour l'implantation dans une ZES à une somme nulle dans le cas de l'installation sur un site mis à disposition par la scierie.

Donc dans l'étude de la performance économique de chacun des différents process, ce poste « investissement d'acquisition du site » n'est pas inclus.

Pour les investissements, nous prendrons en compte la totalité de tous les autres postes :

- La viabilisation et l'aménagement du site, (stabilisation, goudron, surfaces et massifs béton, réseaux, clôtures, voirie, parking, bascule pour camions poids lourd, éclairage, transfo électrique, GE de secours, réseau incendie ...)
- Les hangars, bureaux, vestiaires, atelier,
- Outillage, bureautique,
- Process : fours, incinérateur des fumées, le grand nombre de conteneurs (vessels) de bois à enfourner, étouffoirs,
- Matériel de pré-conditionnement du bois,
- Matériel de préparation et de chargement du charbon de bois
- Les engins roulants : chariots élévateurs et camions avec équipements spéciaux (retourneur, godet, grappin, remorque porte conteneur).

Pour les charges fixes et les charges variables tous les postes de dépense de fonctionnement d'une usine de carbonisation sont pris en compte :

- Masse salariale,
- Consommables : kWh électrique, carburant, EPI ...
- Maintenance des engins, du process,
- Une rubrique « divers » pour les postes assurances, honoraires, études.

■ Les critères de l'analyse de la performance économique des technologies.

Elle s'appuie sur :

- L'étude ADEME n° A20138 pour l'installation à Mayotte d'une usine de production de charbon de bois avec le procédé CML (cf. annexe 9),
- L'étude du coût du génie civil d'aménagement du site de carbonisation réalisée par l'ingénieur TP de CBG. (conditions de Port Gentil) Cf. page 64.
- L'expérience du consultant en direction et gestion d'usines de charbon de bois, ayant utilisé plusieurs types de process de production,
- Et sur les techniques d'analyse comptable des Ratios financiers des entreprises :
 - Marge brute, **Résultat Net** (après IS),
 - **CAF** - Capacité d'Autofinancement = résultat net + amortissement,
 - **BFR** initial avant les premières recettes (Besoin en Fonds de Roulement initial = 3 mois de charges de production),
 - **Tableau des FNT non actualisé = CAF** - Flux Net de Trésorerie ou Cash Flow.



- Nous considérons la « Valeur Résiduelle des Investissements en fin de période considérée » comme nulle, d'une part pour ne pas alourdir l'analyse par des incertitudes sur la valeur de ce type d'équipements après les quelques années de fonctionnement pendant la « période considérée » et d'autre part parce que cette valeur n'est pas une liquidité capable de rembourser et rémunérer l'investissement.
- Choix du **Taux d'actualisation t** : on fait l'étude pour 2 taux différents de façon à avoir une approche de la sensibilité du projet au coût du capital. On fera les calculs pour les taux d'actualisation t de 5% et de 3,5% (rentabilités du capital acceptables en 2020),
- **Tableau des FNT actualisé** à 5% et à 3,5% pour déterminer les **VAN** de chaque technologie pour chaque taux d'actualisation (Valeur Actualisée Nette) au cours des années de production,
- Et finalement le **DRCI** ou **Pay Back Period** (Délai de Récupération du Capital Investi, VAN=0) pour chaque technologie et pour chaque taux d'actualisation retenu.
- Remarque : le **TIR** (Taux Interne de Rentabilité) doit être calculé à une date déterminée, en général cette date est celle de la fin de l'usage d'un investissement de production. Ici, nous nous limiterons à déterminer la date du DRCI à partir de laquelle l'usine est dégagée du remboursement de l'investissement initial.
Au-delà de la date du DRCI du projet, le capital initial et ses intérêts au taux t sont remboursés et le projet dispose de sa **CAF** (Cash Flow) pour investir ou distribuer des dividendes.

- **Formules de calcul de la VAN et du DRCI pour les taux t (ici : (5% et 3,5%).**

- $$VAN = - [\text{investissement} + \text{BFR}] + \frac{[\text{CAF année 1}]}{(1+t)^1} + \frac{[\text{CAF année 2}]}{(1+t)^2} + \frac{[\text{CAF année 3}]}{(1+t)^3} + \dots + \frac{[\text{CAF année n}]}{(1+t)^n}$$
- Pour VAN = 0 → DRCI = n

- **Plan de l'étude des performances économiques des technologies.**

Nous aborderons l'étude sous deux angles.

Dans la suite de ce chapitre :

Comparaison économique des technologies pour des capacités identiques de traitement du gisement de déchet bois. Ici nous prendrons le volume de déchet bois de CBG à traiter soit 32 600 t/an de bois « sortie scierie équivalent 38% d'humidité (environ 70 000 m³/an de grumes transformés).

Dans cette partie nous étudierons aussi les ratios comptables pour les deux technologies « Cogé-Élec Carbonex » et « Gaurus Technologie » dont les capacités de production sont différentes et non modulables (adaptables) pour le volume de CBG.

Dans le chapitre suivant :

Préconisation Technico-économique pour différentes échelles de capacité de production :

Pour répondre à des capacités de traitement de déchet bois différentes de celle de CBG, nous ferons une étude complémentaire qui préconise des choix techniques (et leur performance économique) pour des modèles de capacité de production de charbon de bois de : 1500 t/an, 3000 t/an, 4500 t/an, 5600 t/an, 6300 t/an 8500 t/an et 10 000 t/an.



- Comparaison pour « 32 600 t/an de déchet bois sortie scierie » traité, Excepté pour « Carbonex » et « Gaurus » qui ne sont pas adaptables à ce volume.

RATIOS DE PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES TECHNOLOGIES PRÉSENTÉES

88

Calculs avec prix de vente sortie usine de carbonisation : 250 €/tonne.

Technologie	COMBUSTION PARTIELLE CML	CORNUE MC	CORNUE GREEN ECO	CORNUE HEAD	CIRCULATION GAZ CHAUD SIDÉNERGIE	CIRCULATION GAZ CHAUD COGÉ ÉLEC CARBONEX	FOUR CONTINU GAURUS TECH
Gisement bois traité (38 % d'humidité)	32 600 t/an Gisement de CBG	58 700 t/an Nécessaire à la technologie	29 300 t/an				
Production	3 795 t/an	5 060 t/an	5 060 t/an	5 060 t/an	5 566 t/an	10 000 t/an 25 000 MWh/an	4 500 t/an
Chiffre d'Affaire /an (PV 250 €/t)	948 K€	1 265 K€	1 265 K€	1 265 K€	1 391 K€	4 250 K€	1 125 K€
Investissements techniques	1 489 K€	2 925 K€	3 080 K€	3 280 K€	3 040 K€	23 980 K€	2 410 K€
Σ Investissements Hors achat site	3 278 K€	4 714 K€	4 769 K€	4 969 K€	4 829 K€	26 619 K€	3 999 K€
Amortissement/an	208 K€	308 K€	319 K€	327 K€	315 K€	1 768 K€	260 K€
Résultat brut/an	266 K€	424 K€	413 K€	405 K€	528 K€	1 849 K€	369 K€
IS 30 %/an (Gabon)	80 K€	127 K€	124 K€	122 K€	158 K€	555 K€	111 K€
Résultat net/an	186 K€	297 K€	289 K€	283 K€	370 K€	1 294 K€	258 K€
CAF/an (Capacité Autofinancement)	394 K€	605 K€	608 K€	610 K€	685 K€	3 062 K€	518 K€
BFR (3 mois de prod) (Besoin fonds de roulement)	119 K€	133 K€	133 K€	133 K€	136 K€	159 K€	124 K€
FNT/an (Flux net de trésorerie, Cash flow année standard)	394 K€	605 K€	608 K€	610 K€	685 K€	3 062 K€	518 K€

DRCI en nombre d'années de production, Prix de vente sortie usine = 250 €/tonne

DÉLAI DE RÉCUPÉRATION DU COÛT DE L'INVESTISSEMENT / PAY BACK PERIOD

Technologie	CML	MC	GREEN ECO	HEAD	SIDÉNERGIE	COGÉ ÉLEC CARBONEX	CONTINU GAURUS TECH
DRCI avec Taux d'actualisation 5 %	11 ans 7 mois	10 ans 3 mois	10 ans 5 mois	11 ans 1 mois	9 ans 3 mois	11 ans 9 mois	10 ans 5 mois
DRCI avec Taux d'actualisation 3,5 %	10 ans 5 mois	9 ans 4 mois	9 ans 4 mois	10 ans 1 mois	8 ans 6 mois	10 ans 8 mois	9 ans 6 mois
Résultat net/an	186 K€	297 K€	289 K€	283 K€	370 K€	1 294 K€	258 K€



RATIOS DE PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES TECHNOLOGIES PRÉSENTÉES

Calculs avec prix de vente sortie usine de carbonisation : **270 €/tonne.**

89

Technologie	COMBUSTION PARTIELLE CML	CORNUE MC	CORNUE GREEN ECO	CORNUE HEAD	CIRCULATION GAZ CHAUD SIDÉNERGIE	CIRCULATION GAZ CHAUD COGÉ ÉLEC CARBONEX	FOUR CONTINU GAURUS TECH
Gisement bois traité (38 % d'humidité)	32 600 t/an Gisement de CBG	58 700 t/an Nécessaire à la technologie	29 300 t/an				
Production	3 795 t/an	5 060 t/an	5 060 t/an	5 060 t/an	5 566 t/an	10 000 t/an 25 000 MWh/an	4 500 t/an
Chiffre d'Affaire /an (PV 270 €/t)	1 025 K€	1 366 K€	1 366 K€	1 366 K€	1 503 K€	4 450 K€	1 215 K€
Investissements techniques	1 489 K€	2 925 K€	3 080 K€	3 280 K€	3 040 K€	23 980 K€	2 410 K€
Σ Investissements Hors achat site	3 278 K€	4 714 K€	4 769 K€	4 969 K€	4 829 K€	26 619 K€	3 999 K€
Amortissement/an	208 K€	308 K€	319 K€	327 K€	315 K€	1 768 K€	260K€
Résultat brut/an	342 K€	525 K€	514 K€	506 K€	639 K€	2 049 K€	459 K€
IS 30 %/an (Gabon)	103 K€	158 K€	154 K€	152 K€	192 K€	615 K€	138 K€
Résultat net/an	239 K€	367 K€	360 K€	354 K€	447 K€	1 434 K€	321 K€
CAF/an (Capacité Autofinancement)	447 K€	675 K€	679 K€	681 K€	762 K€	3 202 K€	581 K€
BFR (3 mois de prod) (Besoin fonds de roulement)	119 K€	133 K€	133 K€	133 K€	136 K€	159 K€	124 K€
FNT/an (Flux net de trésorerie Cash flow année standard)	447 K€	675 K€	679 K€	681 K€	762 K€	3 202 K€	581 K€

DRCI en nombre d'années de production, Prix de vente sortie usine = 270 €/tonne

DÉLAI DE RÉCUPÉRATION DU COÛT DE L'INVESTISSEMENT / PAY BACK PERIOD

Technologie	CML	MC	GREEN ECO	HEAD	SIDÉNERGIE	COGÉ ÉLEC CARBONEX	CONTINU GAURUS TECH
DRCI avec Taux d'actualisation 5 %	9 ans 10 mois	8 ans 11 mois	9 ans 2 mois	9 ans 7 mois	8 ans 1 mois	11 ans 1 mois	9 ans
DRCI avec Taux d'actualisation 3,5 %	9 ans	8 ans 3 mois	8 ans 6 mois	8 ans 10 mois	7 ans 6 mois	10 ans 1 mois	8 ans 4 mois
Résultat net/an	239 K€	367 K€	360 K€	354 K€	447 K€	1 434 K€	321 K€



- **Conclusion sur les performances économiques pour la capacité de traitement de 32 600 t/an de déchet bois. (Volume de « CBG »)**

- **Analyse du DRCI (Pay Back Period):**

- **Sensibilité au choix technologique :**

Les temps de retour sur investissement de toutes les technologies présentées sont du même ordre ; ils sont compris dans un écart de 1 an pour un prix de vente et un taux d'actualisation t donnés.

Seule la technologie « Carbonex avec cogénération d'électricité » a un temps de retour supérieur aux autres process de 2 ans, ce qui est justifié et très favorable pour un investissement industriel de 26 millions d'euros (qui génère par la suite de très bons résultats nets pour des conditions standard de rachat de l'électricité).

- **Sensibilité au prix de vente :**

Les temps de retour des financements de l'investissement et du BFR initial sont **réduits de 1 an pour 20 €/t d'augmentation du prix de vente du charbon de bois** sortie usine, soit par exemple un prix de vente probable à 270 €/t au lieu de 250 €/t (hypothèse prudente prévue dans l'étude de marché).

Cette tendance de 20 €/t supplémentaires est à envisager avec une bonne certitude au vu des marges supplémentaires permises par :

- les prix de transport maritime,
- la conjoncture Européenne porteuse pour la valorisation des charbons de bois durables munis d'une certification robuste.

Ces deux tendances favorables à la rentabilité des projets permettraient de prévoir un prix de vente sortie usine de l'ordre de 280 €/t, ce qui améliore encore le DRCI de 6 mois.

- **Sensibilité au taux d'actualisation t :**

- Pour un taux $t = 0$, le DRCI moyen est de : 7,2 ans pour des ventes à 270 €/t
8,1 ans pour des ventes à 250 €/t.
- Pour un taux t qui varie de 1,5 point (de 3,5 à 5 %) le DRCI varie en moyenne de 8 mois. Par exemple pour les deux technologies les plus crédibles à ce niveau de capacité de production (cf.ci-dessous, analyse des résultats nets).
 - «Cornue MC» à 270 €/t, $t = 5\%$: DRCI= 8 ans 11 mois,
 $t = 3,5\%$: DRCI= 8 ans 3 mois.
 - «Bruni/Sidenergie» à 270 €/t $t = 5\%$: DRCI= 8 ans 1 mois,
 $t = 3,5\%$: DRCI= 7ans 6 mois.

- **Analyse du résultat net :**

- **Sensibilité au choix technologique :**

La technologie à combustion partielle améliorée « CML » a la production la plus faible donc elle génère le résultat net le plus faible : 239 K€/an (à 270€/t).

Les technologies Cornue de la société MOVI, « MC, Green Eco, HEAD » ont des taux de rentabilité équivalents : de 350 à 370 K€/an (à 270€/t).

Le process « Bruni/Sidenergie » génère le meilleur résultat net à 447 K€/an (à 270€/t) soit 70% de plus que la technologie Cornue.

- **Sensibilité au prix de vente sortie usine (250 → 270 €/t) :**

Pour la capacité de production de 5060 t/an (fours Cornue) l'augmentation du prix de vente de 20€/t améliore le résultat net de 71 K€ : **297 → 367 K€.**

Pour la capacité de production de 5566 t/an (circulation de gaz chaud) l'augmentation du prix de vente de 20€/t améliore le résultat net de 77 K€ : **370 → 447 K€.**



- **Conclusion générale pour la capacité de traitement de 32 600 t/an de déchet bois brut sortie scierie (à une humidité moyenne de 38 %).**
(Volume de déchets bois d'une scierie qui traite 70 000 m³/an de grumes, modèle CBG)

L 91

Toutes les technologies ont des temps de retour sur investissement analogues, de l'ordre de 8 à 9 ans pour un taux d'actualisation de 5 % et un prix de vente sortie usine de 270 €/tonne.

La technologie à combustion partielle améliorée « CML » a le plus faible rendement de production mais du fait de son investissement limité elle permet d'avoir une rentabilité significative pour les projets à faible capacité d'investissement. Cette technologie peut être adaptée pour une plage de capacité de production assez fréquente : de 1000 à 3000 t/an.

Toutefois une attention particulière doit être portée à l'efficacité du **préséchage du bois** sous peine de voir chuter la productivité (rendement très faible, durée des carbonisations augmentée et épuration des fumées dégradée).

Pour traiter 32 600 t/an de bois, soit 3795 t/an de charbon de bois à un prix de vente de 270 €/t :

- Le résultat net est de 239 K€/an,
- Investissement process carbonisation + transport, douanes : 889 K€/an,
- Investissement total hors achat site : 3278 K€,
- Le Pay Back Period est de 9 ans 10 mois, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.

La technologie cornue « MOVI.nl » déclinée sous 3 process différents « MC », « Green Eco », « HEAD » est bien adaptée aux petites et moyennes capacités de production mais dès que la capacité de production dépasse 3000 t/an le nombre de manipulations et de carbonisations des conteneurs de bois (vessels) devient très important, cela entraîne des surcoûts significatifs.

Toutefois et c'est un **impératif** : une attention très particulière doit être portée à l'efficacité du **préséchage du bois** sous peine de voir chuter la productivité (rendement faible, durée des carbonisations augmentée, limitation de la disponibilité de chaleur pour les carbonisations due à une épuration des fumées dégradée et consommation de source d'énergie d'appoint – fuel, gaz-).

Pour traiter 32 600 t/an de bois soit 5060 t/an de charbon de bois à un prix de vente de 270 €/t :

- **Cornue « MC »**, 5060 t/an, volume des conteneurs de bois 5,7 m³ :
Le résultat net est de 367 K€/an,
Investissement process carbonisation + transport, douanes : 2245 K€/an,
Investissement total hors achat site : 4614 K€,
Le Pay Back Period est de 8 ans 11 mois, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.
- **Cornue « Green Eco »**, 5060 t/an, petit volume des conteneurs de bois : 3,7 m³,
(peu adapté au dessus de 2000 t/an) :
Le résultat net est de 360 K€/an,
Investissement process carbonisation + transport, douanes : 2400 K€/an,
Investissement total hors achat site : 4769 K€,
Le Pay Back Period est de 9 ans 2 mois, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.
- **Cornue « HEAD »**, 5060 t/an, volume des conteneurs de bois 5,7 m³ :
Le résultat net est de 354 K€/an,
Investissement process carbonisation + transport, douanes : 2600 K€/an,
Investissement total hors achat site : 4969 K€,
Le Pay Back Period est de 9 ans 7 mois, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.



La technologie à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie » nécessite un épurateur de fumée entouré de 3 fours (au minimum pour une bonne épuration des fumées) ou de 4 ou 5 fours. Chaque four contient 4 conteneurs de 8,3 m³. Elle est adaptée et évolutive pour des capacités de production allant de 4000 à 10 000 t/an. Sa rentabilité est croissante avec la capacité de production.

La circulation de gaz chaud dans la charge à carboniser permet d'enfourner des bois relativement humides sans dégrader les performances de production.

Pour traiter 32 600 t/an de bois, soit 5566 t/an de charbon de bois à un prix de vente de 270 €/t :

Le résultat net est de 447 K€/an,

Investissement process carbonisation + transport, douanes : 2300 K€/an,

Investissement total hors achat site : 4829 K€,

Le Pay Back Period est de 8 ans 1 mois, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.

La technologie en continu « Gaurus » a une capacité de production de 4500 t/an non modulable, elle a de bons résultats économiques. Pour un prix de vente à 270 €/t :

Le résultat net est de 321 K€/an,

Investissement process carbonisation + transport, douanes : 1800 K€/an,

Investissement total hors achat site : 3999 K€,

Le Pay Back Period est de 9 ans, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.

La technologie « CARBONEX » à circulation de gaz chaud avec « Cogénération d'électricité » est la plus performante du fait de l'utilisation des Meilleures Technologies Disponibles (cf. Directive IED) sur l'efficacité énergétique car la totalité du pouvoir calorifique du bois entrant est optimisée. Les investissements importants de cette technologie ne permettent pas d'envisager de petites capacités de production.

La circulation de gaz chaud dans la charge à carboniser permet d'enfourner des bois relativement humides sans dégrader les performances de production.

Cette technologie est adaptée à partir de 10 000 t/an de charbon de bois et 3 MW électrique (25 000 MWh/an).

Le temps de retour sur investissement est légèrement supérieur aux autres technologies (+ 20 mois), mais le résultat net très important permet de retenir cette technologie dans des projets ambitieux de développement de l'électricité verte qui pourraient être portés par des structures importantes telles que les ZES où de grandes quantités de déchet bois sont disponibles.

Grace à la recette complémentaire significative de la production d'électricité, cette technologie est aussi particulièrement adaptée au contexte Africain du faible prix de vente du charbon de bois à destination des ménages à revenu limité.

Ce choix technologique est aussi une solution particulièrement adaptée pour valoriser des plantations forestières industrielles (modèles de plantations des projets Makala – Cirad-, Mampu en RDC et Pointe Noire République du Congo). Pour la capacité de 10 000 t/an de charbon de bois et 3 MWé il faut la récolte de 450 ha/an d'une plantation de 5000 ha en rotation de 11ans (sur acacia auriculiformis, travaux forestiers et socio-environnementaux du Cirad sur le projet Makala).

Pour une capacité de production de 10 000 t/an de charbon de bois à 270 €/t et de 25 000 MWh/an à 70 €/MWh (traitement de 58 700 t/an de déchet de bois brut, soit une capacité de sciage de 123 700 m³/an).

Le résultat net est de 1 434 K€/an,

Investissement process carbonisation + transport, douanes : 23 000 K€/an,

Investissement total hors achat site : 26 619 K€,

Le Pay Back Period est de 11 ans et 1 mois, pour un taux d'actualisation $t = 5\%$.



SIDMARINE/SIDENERGIE

Four à combustion partielle amélioré « CML ». 3795 t/an à 250 €/t- Résultat net : 186 K€. FNT actualisé et DRCI (Pay Back Period)

Investissements + BFR	3278 + 119	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	DRCI
CAF pour 250 €/t		394	394	394	394	394	394	394	394	394	394	394	394	t=0 → 8,6 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-3397	375	358	341	324	309	294	280	267	254	242	230	123 / 219	11 ans 7 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-3397	381	368	355	343	332	321	310	299	289	279	120 / 270		10 ans 5 mois
CAF pour 270 €/t		447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	t=0 → 7,6 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-3397	426	406	386	368	350	334	318	302	288	219 / 274			9 ans 10 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-3397	432	417	403	389	376	364	351	339	328				9 ans

Four cornue « MC ». 5060 t/an à 250 €/t- Résultat net : 297 K€. FNT actualisé et DRCI (Pay Back Period)

Investissements + BFR	4714 + 133	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	DRCI
CAF pour 250 €/t		605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	t=0 → 7,8 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4847	576	549	523	498	474	451	430	409	390	371	176 / 354	10 ans 5 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4847	585	565	546	527	509	492	476	459	444	243 / 429		9 ans 7 mois
CAF pour 270 €/t		675	675	675	675	675	675	675	675	675	675	675	t=0 → 7 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4847	643	613	583	555	529	504	480	457	435	43 / 413		9 ans 1 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4847	652	630	609	588	568	549	531	513	207 / 495			8 ans 5 mois

Four cornue « Green Eco Furnace ». 5060 t/an à 250€/t - Résultat net : 289 K€. FNT actualisé et DRCI (Pay Back Period)

Investissements + BFR	4769 + 133	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	DRCI
CAF pour 250 €/t		608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	t=0 → 8 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4902	579	552	525	500	476	454	432	411	392	373	147 / 355	10 ans 5 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4902	587	568	548	530	512	495	478	462	446	155 / 431		9 ans 4 mois
CAF pour 270 €/t		679	679	679	679	679	679	679	679	679	679	679	t=0 → 7,2 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4902	647	616	587	558	532	507	483	459	438	75 / 417		9 ans 2 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4902	656	634	612	591	572	552	534	516	235 / 498			8 ans 6 mois



SIDMARINE/SIDENERGIE

Four cornue « HEAD ». 5060 t/an à 250 €/t - Résultat net : 283 K€. FNT actualisé et DRCI. (Pay Back Period)

Investissements + BFR	4969 + 133	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	DRCI
CAF pour 250 €/t		610	610	610	610	610	610	610	610	610	610	610	610	t=0 → 8,4 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-5102	581	554	527	502	478	455	434	413	393	374	357	34 / 340	11 ans 1 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-5102	589	570	550	531	513	496	480	463	448	432	30 / 418		10 ans 1 mois
CAF pour 270 €/t		681	681	681	681	681	681	681	681	681	681	681	681	t=0 → 7,5 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-5102	649	618	589	560	533	508	484	461	439	261 / 418			9 ans 7 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-5102	658	636	614	593	573	554	535	517	422 / 500				8 ans 10 mois

Four à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie ». 5566 t/an à 250€/t- Résultat net : 370 K€. FNT actualisé et DRCI. (Pay Back Period)

Investissements + BFR	4829 + 136	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	DRCI
CAF pour 250 €/t		685	685	685	685	685	685	685	685	685	685	685	t=0 → 7,2 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4965	652	622	592	563	536	511	487	463	442	97 / 421		9 ans 3 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4965	662	640	618	597	577	557	539	520	255 / 503			8 ans 6 mois
CAF pour 270 €/t		762	762	762	762	762	762	762	762	762	762	762	t=0 → 6,5 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4965	726	691	659	627	597	569	542	516	38 / 491			8 ans 1 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4965	736	711	687	664	641	620	599	307 / 579				7 ans 7 mois



SIDMARINE/SIDENERGIE

Four à circulation de gaz chaud « Cogé-Elec Carbonex ». 10 000 t/an à 250 €/t + 3MW élec à 0,07 €/KWh - **Résultat net : 1294 K€.**
FNT actualisé et DRCI (Pay Back Period)

Investissements + BFR	26619+159	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	DRCI
CAF pour 250 €/t		3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	t=0 → 8,7 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-26778	2996	2779	2646	2518	2397	2285	2176	2072	1974	1878	1790	1267 / 1705	11 ans 9 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-26778	2958	2859	2761	2667	2577	2491	2407	2325	2247	2170	1316 / 2097		10 ans 8 mois
CAF pour 270 €/t		3202	3202	3202	3202	3202	3202	3202	3202	3202	3202	3202	3202	t=0 → 8,4 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-26778	3050	2906	2768	2633	2507	2390	2276	2166	2064	1966	1871	181 / 1783	11 ans 1 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-26778	3094	2990	2887	2789	2695	2605	2517	2431	2349	2269	152 / 2193		10 ans 1 mois

Four en continu « Gaurus Technologie ». 4500 t/an à 250 €/t - **Résultat net : 258 K€.** **FNT actualisé et DRCI (Pay Back Period)**

Investissements + BFR	3999 + 124	Année 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	DRCI
CAF pour 250 €/t		518	518	518	518	518	518	518	518	518	518	518	t=0 → 8 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4123	493	470	448	426	406	387	368	350	334	318	123 / 303	10 ans 5 mois
FNT actualisé à 1,035 →	-4123	500	484	467	451	436	421	407	393	380	184 / 367		9 ans 6 mois
CAF pour 270 €/t		581	581	581	581	581	581	581	581	581	581	581	t=0 → 7,1 ans
FNT actualisé à 1,05 →	-4123	553	527	502	478	455	434	413	393	375			9 ans
FNT actualisé à 1,035 →	-4123	561	542	524	506	489	473	457	441	130 / 426			8 ans 4 mois



FICHES DES « PRÉCONISATIONS TECHNICO-ÉCONOMIQUES » ADAPTÉES A DIFFÉRENTES CAPACITÉS DE PRODUCTION

Pour répondre aux besoins de capacités de valorisation de déchets bois différentes de celle de CBG, ce chapitre présente une étude complémentaire qui préconise les choix techniques (et leur performance économique) adaptés à différentes tranches de capacité de production de charbon de bois selon l'importance du pôle de transformation du bois de chaque projet.

En fonction du rendement de chaque technologie :

- 1500 t/an de charbon de bois → 21 000 à 28 000 m³ de grumes sciées,
- 3000 t/an de ch d b → 41 000 à 55 000 m³ de grumes sciées,
- Tranches de 4500 à 6300 t/an de ch d b → 55 000 à 85 000 m³ de grumes sciées,
- 8500 t/an de ch d b → 105 000 à 115 000 m³ de grumes sciées,
- 10 000 t/an de ch d b → 124 000 à 136 000 m³ de grumes sciées.

Pour toute technologie, les meilleurs résultats économiques sont obtenus pour un fonctionnement à pleine charge de sa capacité de production nominale.

Donc pour chaque tranche de capacité de production, les études des performances techniques et économiques de chaque technologie sont ajustées en fonction de leurs capacités nominales respectives.

Les coûts d'aménagement du site sont calculés à partir des chiffres (octobre 2019) de l'étude Monsieur Yves Coze (Ingénieur TP de CBG, cf. pages 50 et 64).

▪ Fiches process « 1500 t/an de charbon de bois » - cf. les 3 pages suivantes.

Dans cette gamme de capacité de production, les seules techniques adaptées sont :

- « CML » (rendement 15 % sur bois à 20 % d'humidité),
- « Cornue MC Charcoal Furnace » (rendement 20 % sur bois à 20 % d'humidité) et
- « Cornue Green Eco Furnace » (rendement 20 % sur bois à 20 % d'humidité).

Cette capacité de production nécessite un gisement de déchet bois (équ. 20 % d'humidité) de :

- Pour « CML » R = 15% : 10 000 t/an, soit **28 000 m³/an de grumes transformées**,
- Pour les « Cornues » R = 20% : 7 500 t/an, soit **21 000 m³/an de grumes transformées**.

CONCLUSION DES FICHES PROCESS « 1500 t/an de charbon de bois ».

La mise en œuvre de technologies durables (épuration des fumées, optimisation de la valorisation de la biomasse, bonnes conditions de travail) représente un investissement significatif.

Le faible prix de vente du charbon de bois est un grand handicap dans les petites capacités de production où les économies d'échelles ne sont pas possibles.

La capacité de production de 1500 t/an de charbon de bois est uniquement rentable dans le cas où l'installation de carbonisation est réalisée sur le site de la scierie, c'est-à-dire :

« en évitant les investissements de viabilisation et immobiliers d'un nouveau site industriel ».

Pour les scieries à 21 000 m³/an de grumes sciées → 1500 t/an de charbon de bois, la technologie « MC Charcoal Furnace », R = 20 %, est la plus adaptée du fait du volume supérieur des conteneurs, de son équipement de préséchage des bois et de sa possibilité d'évolutivité vers des capacités de production supérieures (avec l'installation de fours complémentaires).

« MC Charcoal Furnace » sans l'achat et l'aménagement du site :

- Résultat brut (hors achat et aménagement du site) : 37 K€/an à 250 €/t,
- Résultat brut (hors achat et aménagement du site) : 67 K€/an à 270 €/t,
- Investissement technique (hors achat et aménagement du site) : 910 K€.

**Fiche process « CML » Four à combustion partielle améliorée - 1500 t/an -**

La configuration à 6 fours « CML » produit 1500 t/an de charbon de bois (fiche fabricant).

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et pour conserver la productivité annoncée.

Adaptée à une scierie d'une capacité de 28 000 m³/an de grumes transformées.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 6 fours, rendement : 15 %.
- Gisement bois à traiter : 12 900 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 1 500 t/an de charbon de bois.
- Pas d'évolutivité car cet équipement (6 fours) est utilisé au maximum de sa capacité.
- Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans des fours complémentaires à installer autour de l'épurateur de fumée.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	260 000 €	(13 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	200 000 €	(10 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	220 000 €	(11 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	40 000 €	(2 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	60 000 €	(4 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (6 fours), transit	610 000 €	(40,6 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 1 649 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 106 500 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (9 employés + 2 dirigeants).....	136 000 €
- Consommables	88 000 €
- Amortissements	106 500 €
- Entretien mécanique	25 000 €
- Divers, honoraires	20 000 €

Total charges d'exploitation 375 500 €/an

Recette escomptée de 1500 tonnes à 250 €/t 375 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t (- 0,5) K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 29,5 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et dans les conditions modernes d'installation d'un site qui permet d'accéder à une certification : **Cette technologie n'est pas viable économiquement.**

Toutefois, étant donné le faible « investissement total en matériel de production », cette technologie peut être retenue dans les cas où l'installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site qui représentent la moitié des investissements.

Dans ce cas l'investissement technique est de 880 K€ et le résultat brut passe à :

- 39 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 69 K€/an (prix de vente à 270 €/t).

**Fiche process « MC Charcoal Furnace – Four cornue de MOVI. nl » - 1500 t/an -**

La configuration à 2 « couples de fours MC » produit 1600 t/an de charbon de bois (info MOVI).
Pour 1500 t/an de charbon de bois : **Adapté à une scierie d'une capacité de 21 000 m³/an de grumes transformées.**

Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site : 320 K€ et produit 800 t/an.
Volume des conteneurs de bois : 5,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 2 couples de fours, rendement : 20 %.
- Gisement bois à traiter : 9 700 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Production : 1 500 t/an de charbon de bois, (maximum : 1600 t/an).
- Au delà de 1600 t/an, une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans un ou plusieurs couples de fours complémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	260 000 €	(13 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	200 000 €	(10 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	220 000 €	(11 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	40 000 €	(2 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	60 000 €	(4 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (2 couples de fours), transit	640 000 €	(42,7 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 1 679 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 108 600 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (9 employés + 2 dirigeants).....	136 000 €
- Consommables	88 000 €
- Amortissements	108 600 €
- Entretien mécanique	25 000 €
- Divers, honoraires	20 000 €

Total charges d'exploitation 377 600 €/an

Recette escomptée de 1500 tonnes à 250 €/t 375 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t (- 2,6) K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 27,4 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'installation du site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification : **Cette technologie n'est pas viable économiquement pour 1500 t/an de capacité de production.**

Toutefois, étant donné le faible « investissement total en matériel de production », cette technologie peut être retenue dans les cas où l'installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site qui représentent la moitié des investissements.

Dans ce cas l'investissement technique est de 910 K€ et le résultat brut passe à :

- 36 800 €/an (prix de vente à 250 €/t),
- 66 800 €/an (prix de vente à 270 €/t).

**Fiche process « Green Eco Furnace – Four cornue de MOVI. nl » - 1500 t/an -**

La configuration à 3 « couples de fours Green Eco » produit 1500 t/an de charbon de bois (info MOVI). **Adaptée à une scierie d'une capacité de 21 000 m³/an de grumes transformées.** Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site: 240 K€ et produit 500 t/an. Volume des conteneurs de bois : 3,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Pas de système de préséchage compris dans le process.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 3 couples de fours, rendement : 20 %.
- Gisement bois à traiter : 9 700 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 1 500 t/an de charbon de bois.
- Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans un ou plusieurs couples de fours complémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	260 000 €	(13 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	200 000 €	(10 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	220 000 €	(11 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	40 000 €	(2 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	60 000 €	(4 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (6 couples de fours), transit	720 000 €	(48 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 1 559 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 113 900 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (9 employés + 2 dirigeants).....	136 000 €
- Consommables	88 000 €
- Amortissements	113 900 €
- Entretien mécanique	25 000 €
- Divers, honoraires	20 000 €

Total charges d'exploitation 382 900 €/an

Recette escomptée de 1500 tonnes à 250 €/t 375 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t (- 7,9) K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 22,1 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et dans les conditions modernes d'installation du site permettant d'accéder à une certification : **Cette technologie n'est pas viable économiquement pour 1500 t/an de capacité de production.**

Toutefois, étant donné le faible « investissement total en matériel de production », cette technologie peut être retenue dans le cas d'une installation sur le site de la scierie qui évite les coûts d'aménagement du site qui représentent la moitié des investissements. Dans ce cas l'investissement technique est de 890 K€ et le résultat brut passe à :

- 31 500 €/an (prix de vente à 250 €/t),
- 61 500 €/an (prix de vente à 270 €/t).



▪ **FICHES PROCESS « 3000 t/an de charbon de bois ».** cf. les 4 pages suivantes.

Dans cette gamme de capacité de production, les seules techniques adaptées sont :

- « CML » (rendement 15 % sur bois à 20 % d'humidité),
- « Cornue MC Charcoal Furnace » (rendement 20 % sur bois à 20 % d'humidité),
- « Cornue Green Eco Furnace » (rendement 20 % sur bois à 20 % d'humidité),
- « Cornue HEAD » (rendement 20 % sur bois à 20 % d'humidité).

L 100

Cette capacité de production nécessite un gisement de déchet bois (équ. 20 % d'humidité) de :

- Pour « CML » : 20 000 t/an, soit **55 000 m³/an de grumes transformées**,
- Pour les « Cornues » : 15 000 t/an, soit **41 000 m³/an de grumes transformées**.

CONCLUSION DES FICHES PROCESS « 3000 t/an de charbon de bois ».

La mise en œuvre de technologies durables (épuration des fumées, optimisation de la valorisation de la biomasse, bonnes conditions de travail) représente un investissement significatif.

Le faible prix de vente du charbon de bois est un grand handicap dans les petites et moyennes capacités de production où les économies d'échelles ne sont pas possibles.

La capacité de production de 3000 t/an de charbon de bois est le seuil à partir duquel l'investissement dans la filière de carbonisation durable commence à être rentable.

Cette rentabilité est accrue de 25 % dans le cas d'une installation possible sur le site de la scierie « qui évite l'investissement d'acquisition et d'aménagement d'un nouveau site industriel ».

... **La technologie cornue « MC Charcoal Furnace », R = 20 %**, est la plus adaptée du fait du volume supérieur des conteneurs et de son équipement de préséchage qui sécurise la productivité. Elle est adaptée aux scieries qui transforment 41 000 m³/an de grumes.

- Résultat brut (hors achat site) : 141 K€/an à 250 €/t,
- Investissement (hors achat site) : 3 099 K€.

Ou, sans l'achat et l'aménagement du site,

- Résultat brut (hors achat et aménagement du site) : 214 K€ à 250 €/t,
- Résultat brut (hors achat et aménagement du site) : 274 K€ à 270 €/t,
- Investissement technique (hors achat et aménagement du site) : 1 650 K€.

... **La technologie « CML », R = 15 %**, a des résultats économiques analogues pour une production de 3000 t/an, mais elle consomme 33 % de bois supplémentaire, qui pourraient produire 1000 t/an de charbon de bois avec des Fours Cornue et générer 250 K€/an de recette supplémentaire. Donc le procédé « CML » n'est pas adapté à cette capacité de production à cause de son rendement de carbonisation inférieur.

... **La technologie cornue « Green Eco Furnace », R = 20 %**, qui a des petits volumes de conteneur de bois trouve sa limite dans cette plage de capacité de production. Le nombre de manipulations et de carbonisations devient très important avec l'augmentation de capacité de production.

... **Nous écartons la technologie « HEAD »** à la suite des difficultés rencontrées par ce process pendant les mois d'hiver en France et cela malgré un investissement significatif dans un système de préséchage. (Humidité : l'épuration des fumées ne produit plus assez d'énergie donc la durée des carbonisations est allongée, le fonctionnement est perturbé, la productivité est réduite).

Pour les scieries à 41 000 m³/an de grumes sciées, nous retiendrons le process « MC, 4 fours ». La capacité de production de 3000 à 3200 t/an de charbon de bois, peut être évolutive à la hausse avec l'installation de fours complémentaires, mais dans les capacités de production supérieures à 3200 t/an, d'autres process sont plus performants.

**Fiche process « CML » Four à combustion partielle améliorée - 3000 t/an -**

La configuration à 12 fours « CML » produit 3000 t/an de charbon de bois (fiche fabricant).

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et pour conserver la productivité annoncée.

Adaptée à une scierie d'une capacité de 55 000 m³/an de grumes transformées.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 12 fours, rendement : 15 %.
- Gisement bois à traiter : 25 800 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 3 000 t/an de charbon de bois.
- Une augmentation de capacité de production nécessiterait l'investissement dans des fours complémentaire, mais ce n'est pas pertinent avec un rendement à 15 %.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	520 000 €	(26 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	440 000 €	(22 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	80 000 €	(4 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	120 000 €	(8 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (12 fours), transport	760 000 €	(50,6 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 2 579 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 156 500 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (13 employés + 2 dirigeants).....	227 200 €
- Consommables	140 000 €
- Amortissements	156 500 €
- Entretien mécanique	35 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 588 700 €/an

Recette escomptée de 3000 tonnes à 250 €/t 750 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 161,3 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 221,3 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et dans les conditions modernes d'équipement d'un nouveau site permettant d'accéder à une certification : **Cette technologie est viable économiquement.**

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où l'installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site qui représentent la moitié des investissements.

Dans ce cas l'investissement technique est de 1130 K€ et le résultat brut passe à :

- 234 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 294 K€/an (prix de vente à 270 €/t).

**Fiche process « MC Charcoal Furnace – Four cornue de MOVI. nl » - 3000 t/an -**

La configuration à 4 « couples de fours MC » produit 3200 t/an de charbon de bois (info MOVI).
Pour 3000 t/an de charbon de bois : **Adapté à une scierie d'une capacité de 41 000 m³/an de grumes transformées.**

Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site : 320 K€ et produit 800 t/an.
Volume des conteneurs de bois : 5,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Un système de préséchage est compris dans le process.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 4 couples de fours, rendement : 20 %.
- Gisement bois à traiter : 19 400 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Production : 3 000 t/an de charbon de bois. (maximum 3200 t/an)
- Au delà de 3200 t/an, une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans un ou plusieurs couples de fours complémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	520 000 €	(26 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	440 000 €	(22 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	80 000 €	(4 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	120 000 €	(8 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (4 couples de fours), transit	1 280 000 €	(85,3K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 3 099 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 191 100 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (11 employés + 2 dirigeants).....	212 800 €
- Consommables	140 000 €
- Amortissements	191 100 €
- Entretien mécanique	35 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 608 600 €/an

Recette escomptée de 3000 tonnes à 250 €/t 750 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 141,1 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 201,1 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 3000 t/an de capacité de production.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 1 650 K€ et le résultat brut passe à :

- 214 K€/an pour 3000 t/an à 250 €/t,
- 274 K€/an pour 3000 t/an à 270 €/t,
- 264 K€/an pour 3200 t/an à 250 €/t, pleine capacité de production,
- 324 K€/an pour 3200 t/an à 270 €/t, pleine capacité de production.



Fiche process « Green Eco Furnace – Four cornue de MOVI. nl » - 3000 t/an - 6 couples de fours à 100 % de la capacité nominale de production.

La configuration à 6 « couples de fours Green Eco » produit 3000 t/an de charbon de bois (info MOVI). **Adapté à une scierie d'une capacité de 41 000 m³/an de grumes transformées.** Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site: 240 K€ et produit 500 t/an. Volume des conteneurs de bois : 3,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Pas de système de préséchage compris dans le process.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 6 couples de fours, rendement : 20 %.
- Gisement bois à traiter : 19 400 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Capacité de production : 3 000 t/an de charbon de bois.
- Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans un ou plusieurs couples de fours complémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	520 000 €	(26 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	440 000 €	(22 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	80 000 €	(4 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	120 000 €	(8 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (6 couples de fours), transit	1 440 000 €	(96 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 3 259 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 201 900 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (11 employés + 2 dirigeants).....	212 800 €
- Consommables	140 000 €
- Amortissements	201 900 €
- Entretien mécanique	35 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 619 700 €/an

Recette escomptée de 3000 tonnes à 250 €/t 750 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 130,3 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 190,3 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 3000 t/an de capacité de production.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 1 810 K€ et le résultat brut passe à :

- 203 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 263 K€/an (prix de vente à 270 €/t).



**Fiche process « HEAD – Four cornue de MOVI. nl » - 3000 t/an –
2 couples de fours à 100 % de la capacité nominale de production.**

L 104

La configuration à 2 « couples de fours HEAD » produit 3000 t/an de charbon de bois (info MOVI).

Adapté à une scierie d'une capacité de 41 000 m³/an de grumes transformées.

Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site: 650 K€ et produit 1500 t/an.

Volume des conteneurs de bois : 5,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Pas de système de préséchage compris dans le process : équipement à installer.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 2 couples de fours, rendement : 20 %
- Gisement bois à traiter : 19 400 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Production : 3 000 t/an de charbon de bois.
- Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans une batterie de fours complémentaire à installer autour de l'épurateur de fumée.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	520 000 €	(26 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	440 000 €	(22 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	80 000 €	(4 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	120 000 €	(8 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	30 000 €	(3 K€)
- Process (2 fours), préséchage, transit	1 370 000 €	(91,3 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + godet)	140 000 €	(17,5 K€)

Total investissement (hors achat site) 3 189 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 197 200 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (11 employés + 2 dirigeants).....	212 800 €
- Consommables	140 000 €
- Amortissements	197 200 €
- Entretien mécanique	35 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 615 000 €/an

Recette escomptée de 3000 tonnes à 250 €/t 750 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 135 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 195 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 3000 t/an de capacité de production.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 1 740 K€ et le résultat brut passe à :

- 208 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 268 K€/an (prix de vente à 270 €/t).



- **FICHES PROCESS « de 4500 à 6300 t/an de charbon de bois ».**
cf. les 9 pages suivantes.

Dans cette gamme de capacité de production, les techniques adaptées sont :

- « Cornue MC Charcoal Furnace » (rendement 20 % sur bois à 20 % d'humidité),
 - 6 couples de fours cornue → capacité max : 4800 t/an (330 j/an),
 - 7 couples de fours cornue → capacité max : 5600 t/an (330 j/an).
- Four en continu « Gaurus Technologie » (rendement 22 % sur bois à 20 % d'humidité),
 - 1 unité → capacité max : 4500 t/an (330 j/an).
- Four à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie » (rendement 22 % sur bois 20%),
 - 3 fours + incinérateur → capacité max : 6336 t/an (330 j/an).

Les performances économiques d'une technologie sont toujours optimisées pour un fonctionnement à pleine charge. Donc cette étude devra prendre en compte les capacités de production différentes de chaque technologie.

- **Étude pour 4500 t/an,**

- Favorable à : « Gaurus » → la capacité nominale est exploitée à 100 %.
R = 22%, 20 500 t/an de bois à 20% : 56 000 m³/an de grumes sciées.
- Favorable à « Fours cornue MC, 6 unités » → la capacité nominale est exploitée à 93 %.
R = 20%, 22 500 t/an de bois à 20% : 61 000 m³/an de grumes sciées.
- Défavorable à « Bruni/Cirad/Sidenergie, 3 fours » → seulement 71 % de la capacité nominale est exploitée.
R = 22%, 20 500 t/an de bois à 20% : 56 000 m³/an de grumes sciées.

- **Étude pour 5600 t/an,**

- Favorable aux « Fours cornue MC, 7 unités » → Capacité nominale exploitée à 100 %,
R = 20%, 28 000 t/an de bois à 20% : 76 000 m³/an de grumes sciées.
- Moyennement favorable à « Bruni/Cirad/Sidenergie, 3 fours » → 88 % de la capacité nominale est exploitée,
R = 22%, 25 500 t/an de bois à 20% : 69 000 m³/an de grumes sciées.

- **Étude pour 6300 t/an,**

- Favorable aux « Fours cornue MC, 8 unités » → capacité nominale exploitée à 100 %,
R = 20%, 31 500 t/an de bois à 20% : 86 000 m³/an de grumes sciées.
- Favorable à « Bruni/Cirad/Sidenergie, 3 fours » → capacité nominale exploitée à 100 %,
R = 22%, 28 700 t/an de bois à 20% : 78 000 m³/an de grumes sciées.



CONCLUSION DES FICHES PROCESS « 4500 t/an de charbon de bois ».

Pour la capacité de production de 4500 t/an de charbon de bois la filière de carbonisation durable des déchets bois de scierie est rentable.

Cette rentabilité est accrue de 25 % et l'investissement est diminué de 35 % dans le cas d'une installation possible sur le site de la scierie « qui évite l'investissement d'acquisition et d'aménagement d'un nouveau site industriel ».

... **La technologie four en continu « Gaurus », R = 22%** sur bois à 20% d'humidité.

Elle fonctionne à sa capacité nominale de 4500 t/an, donc elle n'a pas d'évolutivité progressive vers des capacités supérieures. (La capacité avec un 2^{ème} four passe à 9000 t/an).

Elle est adaptée aux scieries d'une capacité de 55 600 m³/an de grumes transformées.

Ce process est fiable mais nécessite des bois relativement secs.

- Investissement aménagement site + process = 3999 K€,
- Résultat brut = 369 K€ à 250 €/t et 459 K€ à 270 €/t.

Ou sans l'aménagement du site (installation sur le site de la scierie) :

- Investissement technique = 2410 K€,
- Résultat brut = 450 K€ à 250 €/t et 540 K€ à 270 €/t.

... **La technologie cornue 6 couples de fours « MC Charcoal Furnace », R = 20%** sur bois à 20% d'humidité.

Sa capacité nominale est de 4800 t/an. Pour 4500 t/an elle est adaptée aux scieries d'une capacité de 61 200 m³/an de grumes transformées.

Son équipement de préséchage des bois sécurise sa productivité.

- Investissement aménagement site + process = 4119 K€,
- Résultat brut = 361 K€ à 250 €/t et 451 K€ à 270 €/t.

Ou sans l'aménagement du site (installation sur le site de la scierie) :

- Investissement technique = 2530 K€,
- Résultat brut = 442 K€ à 250 €/t et 532 K€ à 270 €/t.
- Pour 4800 t/an : Résultat brut = 517 K€ à 250 €/t et 607 K€ à 270 €/t.

... **La technologie à circulation de gaz chaud 3 fours « Bruni/Cirad/Sidenergie », R = 22%** sur bois à 20% d'humidité.

Sa capacité nominale est de 6300 t/an. Pour 4500 t/an (71% de sa capacité) elle est adaptée aux scieries d'une capacité de 55 600 m³/an de grumes transformées.

Ce process accepte des bois relativement humides, sa longue expérience industrielle a démontré sa fiabilité et sa productivité.

- Investissement aménagement site + process = 4629 K€,
- Résultat brut = 309 K€ à 250 €/t et 399 K€ à 270 €/t.

Ou sans l'aménagement du site (installation sur le site de la scierie) :

- Investissement technique = 3040 K€,
- Résultat brut = 389 K€ à 250 €/t et 479 K€ à 270 €/t à 71% de la capacité.
- Pour 6300 t/an : Résultat brut = 802 K€ à 250 €/t et 928 K€ à 270 €/t. (cf. p 114)

. **Pour les scieries à 56 000 m³/an de grumes sciées sans évolutivité potentielle de capacité nous retiendrons le process continu « Gaurus », R = 22%.**

. **L'ensemble 6 couples de fours cornue « MC », et ses nombreuses carbonisations et manipulations des conteneurs de petit volume, trouve ses limites dans cette gamme de capacité. Le rendement : R = 20% nécessite 10% de bois en plus.**

. **La technologie à 3 fours « Bruni/Cirad/Sidenergie » commence à être rentable dans cette gamme de capacité de production et présente de très forts potentiels d'évolutivité de capacité et de rentabilité. A partir de 4500 t/an, cette technologie est la plus adaptée et la plus fiable.**

**Fiche process 1 Four en continu « Gaurus Technologie » - 4500 t/an - Avec valorisation des jus pyrolygneux. (100 % de la capacité nominale)**

L 107

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 4500 t/an de charbon de bois, rendement : 22 %.
- 1 four en continu, système de valorisation des fumées, transit, installation, coûte 1800 K€.
- Gisement bois à traiter : 26 500 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 56 000 m³/an de grumes transformées.
- Pas d'évolutivité car l'équipement est utilisé au maximum de sa capacité.
- Une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans une unité complémentaire (1 800 K€) pour passer à 9000 t/an de charbon de bois.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	550 000 €	(27,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (1 four), transit	1 800 000 €	(120 K€)
- Engins (2 chariots 4 t, 1 camion)	320 000 €	(40 K€)

Total investissement (hors achat site) 3 999 000 €**Amortissements (8, 15 et 20 ans) 259 400 €/an****Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).**

- Personnel (15 employés + 2 dirigeants).....	216 000 €
- Consommables	210 000 €
- Amortissements	259 400 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 755 400 €/an**Recette escomptée de 4500 tonnes à 250 €/t ... 1 125 000 €/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 369,6 K€/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 459,6 K€/an**

D'après le fabricant « Gaurus Technologie » et sur la base des usines qui fonctionnent en Biélorussie et en Lituanie, la valorisation des jus pyrolygneux peut compléter la recette de 200 à 300 K€/an.

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 4500 t/an de charbon de bois.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 2 410 K€ et le résultat brut passe à :

- 450 K€/an pour 4500 t/an de charbon de bois à 250 €/t.
- 540 K€/an pour 4500 t/an de charbon de bois à 270 €/t.

**Fiche process « MC Charcoal Furnace – Four cornue de MOVI. nl » - 4500 t/an - 6 couples de fours à 94 % de la capacité nominale de production.**

La configuration à 6 « couples de fours MC » produit 4800 t/an de charbon de bois (info MOVI).
Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site : 320 K€ et produit 800 t/an.
Volume des conteneurs de bois : 5,7 m³.

108

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Un système de préséchage est compris dans le process.

Productivité.

- Fonctionnement : 310 jours/an, 24h/jour, 6 couples de fours, rendement : 20 %.
- Pour une production de 4 500 t/an de charbon de bois.
- Gisement bois à traiter : 29 100 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 61 200 m³/an de grumes transformées.
- Au delà 4800 t/an, une augmentation de capacité de production nécessite l'investissement dans des fours complémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	550 000 €	(27,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (6 couples de fours), transit	1 920 000 €	(128 K€)
- Matériel roulant (2 chariots 4 t + 1 camion)	320 000 €	(40 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 119 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 267 400 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (15 employés + 2 dirigeants).....	216 000 €
- Consommables	210 000 €
- Amortissements	267 400 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 763 400 €/an

Recette escomptée de 4500 tonnes à 250 €/t 1 125 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 361,6 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 451,6 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 4500 t/an de capacité de production.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 2 530 K€ et le résultat brut passe à :

- 442 K€/an pour 4500 t/an de charbon de bois à 250 €/t,
- 532 K€/an pour 4500 t/an de charbon de bois à 270 €/t,
- 517 K€/an pour 4800 t/an de charbon de bois à 250 €/t,
- 607 K€/an pour 4800 t/an de charbon de bois à 270 €/t.



Fiche process 3 fours «Bruni/Cirad/Sidenergie » - 4500 t/an - à 71 % de la capacité nominale de production.

La configuration à 3 fours « Bruni/Sidenergie » produit au maximum 6300 t/an (19,2 t/jour).
L'ensemble process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit) installé sur site coûte 2300 K€.
Volume des conteneurs de bois : 8,3 m³.
Ce process peut fonctionner avec des bois relativement humides.

Productivité.

- Pour une production de 4500 t/an,
- Fonctionnement : 235 jours/an, 24h/jour, 3 fours, rendement : 22 %.
- Gisement bois à traiter : 26 500 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 55 600 m³/an de grumes transformées.
- Evolutivité 3 fours : Capacité de production maximum : 6 300 t/an de charbon de bois.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	550 000 €	(27,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	400 000 €	(20 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit)	2 300 000 €	(154 K€)
- Matériel roulant (chariots 2x4 t + 1x12 t, 1 camion)	450 000 €	(56,2 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 629 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 309 600 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (15 employés + 2 dirigeants).....	216 000 €
- Consommables	220 000 €
- Amortissements	309 600 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 815 600 €/an

Recette escomptée de 4500 tonnes à 250 €/t 1 125 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 309,4 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 399,4 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :
Cette technologie est viable économiquement pour 4500 t/an de capacité de production.
Sa capacité de production (3 fours) peut évoluer jusqu'à 6300 t/an.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 3 040 K€ et le résultat brut passe à :

- 389 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 479 K€/an (prix de vente à 270 €/t).

Avec une forte évolutivité potentielle car à 4500 t/an le process est seulement utilisé à 71 % de sa capacité.



CONCLUSION DES FICHES PROCESS « 5600 et 6300 t/an de charbon de bois ».

110

Pour les capacités de production de 5600 à 6300 t/an de charbon de bois la filière de carbonisation durable des déchets bois de scierie est très rentable.

Cette rentabilité est accrue de 12 % et l'investissement est diminué de 35 % dans le cas d'une installation possible sur le site de la scierie « qui évite l'investissement d'acquisition et d'aménagement d'un nouveau site industriel ».

Les différences, de rendement et de volume des conteneurs à carboniser, entre les 2 technologies étudiées pour cette gamme de capacité de production :

- Fours cornue « MC », R = 20 %, conteneurs de 5,7 m³,
 - Fours à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie », R = 22 %, 8,3 m³,
- Entraînent de grandes différences de fonctionnement de l'usine, pour 6300 t/an de ch d b :
- Le process « Bruni/Cirad/Sidenergie » doit réaliser la carbonisation de 7875 conteneurs par fournées de 4 conteneurs,
 - Le process « MC » doit réaliser la carbonisation de 12 614 conteneurs soit 4739 carbonisations et manutentions de plus (+ 60 %), qui entraînent des coûts de fonctionnement. Ces surcoûts de fonctionnement sont impossibles à chiffrer précisément, c'est pour cela qu'ils n'ont pas été pris en compte dans les différents comptes de résultats. Il en est de même pour la surconsommation de 10 % de bois.

Malgré ces arguments en défaveur du process « MC », nous avons continué à l'étudier car dans cette gamme de capacité, des entreprises l'utilisent depuis de nombreuses années. (jusqu'à des capacités de 10 000 t/an, principalement en Europe de l'est, Ukraine, Pologne ..).

Depuis les années 2000 avec la mise au point des systèmes à circulation de gaz chaud (à des coûts process comparables), il est démontré qu'à partir de 4500 t/an il faut s'orienter vers les technologies à circulation de gaz chaud (ou en Continu telles que « Gaurus ») qui ont amélioré de 10 à 20 % l'optimisation énergétique de la valorisation de la biomasse matière première et diminué sensiblement la quantité d'opérations à réaliser en permettant une augmentation significative du volume des enceintes de carbonisation.

... La technologie cornue à 7 ou 8 couples de fours « MC Charcoal Furnace », R = 20% sur bois à 20% d'humidité.

Pour 6300 t/an de charbon de bois, il faut 40 700 t de bois sortie d'une scierie à 85 600 m³/an.

- Investissement aménagement site + process = 5049 K€,
- Résultat brut = 696 K€ à 250 €/t et 822 K€ à 270 €/t.

Ou sans l'aménagement du site (installation sur le site de la scierie) :

- Investissement technique = 3260 K€,
- Résultat brut = 787 K€ à 250 €/t et 913 K€ à 270 €/t.

... La technologie à circulation de gaz chaud 3 fours « Bruni/Cirad/Sidenergie », R = 22% sur bois à 20% d'humidité.

Ce process accepte des bois relativement humides, sa longue expérience industrielle a démontré sa fiabilité et sa productivité.

Pour 6300 t/an de charbon de bois il faut 37 000 t de bois sortie d'une scierie à 77 700 m³/an.

- Investissement aménagement site + process = 4829 K€,
- Résultat brut = 712 K€ à 250 €/t et 838 K€ à 270 €/t.

Ou sans l'aménagement du site (installation sur le site de la scierie) :

- Investissement technique = 3040 K€,
- Résultat brut = 802 K€ à 250 €/t et 928 K€ à 270 €/t.

**Fiche process « MC Charcoal Furnace – Four cornue de MOVI.nl » - 5600 t/an - 7 couples de fours à 100 % de la capacité nominale de production.**

111

La configuration à 7 « couples de fours MC » produit 5600 t/an de charbon de bois (info MOVI). Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site : 320 K€ et produit 800 t/an. Volume des conteneurs de bois : 5,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Un système de préséchage est compris dans le process.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 7 couples de fours, rendement : 20 %.
- Pour une production de 5 600 t/an de charbon de bois.
- Gisement bois à traiter : 36 000 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 76 100 m³/an de grumes transformées.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (7 couples de fours), transit	2 245 000 €	(149,6 K€)
- Matériel roulant (3 chariots 4 t + 1 camion)	390 000 €	(48,7 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 714 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 307 700 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	225 000 €
- Amortissements	307 700 €
- Entretien mécanique	40 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 840 700 €/an

Recette escomptée de 5600 tonnes à 250 €/t 1 400 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 559,3 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 671,3 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 5600 t/an de capacité de production.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 2 925 K€ et le résultat brut passe à :

- 649,7 K€/an pour 5600 t/an de charbon de bois à 250 €/t,
- 761,7 K€/an pour 5600 t/an de charbon de bois à 270 €/t,



Fiche process 3 fours «Bruni/Cirad/Sidenergie» - 5600 t/an - à 89 % de la capacité nominale de production.

La configuration à 3 fours « Bruni/Sidenergie » produit au maximum 6300 t/an (19,2 t/jour). L'ensemble process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit) installé sur site coûte 2300 K€. Volume des conteneurs de bois : 8,3 m³. Ce process peut fonctionner avec des bois relativement humides.

L 112

Productivité.

- Pour une production de 5600 t/an,
- Fonctionnement : 294 jours/an, 24h/jour, 3 fours, rendement : 22 %.
- Gisement bois à traiter : 33 000 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 69 000 m³/an de grumes transformées.
- Evolutivité 3 fours : Capacité de production maximum : 6 300 t/an de charbon de bois.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit)	2 300 000 €	(154 K€)
- Matériel roulant (chariots 2x4 t + 1x12 t, 1 camion)	450 000 €	(56,2 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 829 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 315 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	235 000 €
- Amortissements	315 000 €
- Entretien mécanique	45 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 863 000 €/an

Recette escomptée de 5600 tonnes à 250 €/t 1 400 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 537 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 649 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 5600 t/an de capacité de production.

Sa capacité de production (3 fours) peut évoluer jusqu'à 6300 t/an.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 3 040 K€ et le résultat brut passe à :

- 627,4 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 739,4 K€/an (prix de vente à 270 €/t).

Avec une évolutivité potentielle de 11 % car à 5600 t/an le process est seulement utilisé à 89 % de sa capacité nominale.

**Fiche process « MC Charcoal Furnace – Four cornue de MOVI.nl » - 6300 t/an - 8 couples de fours à 100 % de la capacité nominale de production.**

113

La configuration à 8 « couples de fours MC » produit 6300 t/an de charbon de bois (info MOVI). Chaque (couple de fours, conteneurs, transit) coûte monté sur site : 320 K€ et produit 800 t/an. Volume des conteneurs de bois : 5,7 m³.

Nécessité de bois très sec pour un bon fonctionnement et une bonne productivité.

Un système de préséchage est compris dans le process.

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 8 couples de fours, rendement : 20 %.
- Pour une production de 6 300 t/an de charbon de bois.
- Gisement bois à traiter : 40 700 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 85 600 m³/an de grumes transformées.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bâche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (8 couples de fours), transit	2 580 000 €	(172 K€)
- Matériel roulant (3 chariots 4 t + 1 camion)	390 000 €	(48,7 K€)

Total investissement (hors achat site) 5 049 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 330 100 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	235 000 €
- Amortissements	330 100 €
- Entretien mécanique	45 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 878 100 €/an

Recette escomptée de 6300 tonnes à 250 €/t 1 575 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 696,9 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 822,9 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification :

Cette technologie est viable économiquement pour 6300 t/an de capacité de production.

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 3 260 K€ et le résultat brut passe à :

- 787,3 K€/an pour 6300 t/an de charbon de bois à 250 €/t,
- 913,3 K€/an pour 6300 t/an de charbon de bois à 270 €/t,



Fiche process 3 fours «Bruni/Cirad/Sidenergie » - 6300 t/an - à 100 % de la capacité nominale de production.

La configuration à 3 fours « Bruni/Sidenergie » produit au maximum 6300 t/an (19,2 t/jour). L'ensemble process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit) installé sur site coûte 2300 K€. Volume des conteneurs de bois : 8,3 m³. Ce process peut fonctionner avec des bois relativement humides.

Productivité.

- Pour une production de 6300 t/an,
- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 3 fours, rendement : 22 %.
- Gisement bois à traiter : 37 000 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 77 700 m³/an de grumes transformées.
- Evolutivité de capacité de production en installant un 4^{ème} four (+ 700 K€).

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	550 000 €	(27,5 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	150 000 €	(10 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	40 000 €	(4 K€)
- Process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit)	2 300 000 €	(154 K€)
- Matériel roulant (chariots 2x4 t + 1x12 t, 1 camion)	450 000 €	(56,2 K€)

Total investissement (hors achat site) 4 829 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 315 000 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (18 employés + 2 dirigeants).....	238 000 €
- Consommables	235 000 €
- Amortissements	315 000 €
- Entretien mécanique	45 000 €
- Divers, honoraires	30 000 €

Total charges d'exploitation 863 000 €/an

Recette escomptée de 6300 tonnes à 250 €/t 1 575 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 712 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 838 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification : **Cette technologie a de très bons résultats économiques pour 6300 t/an de capacité de production.**

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 3 040 K€ et le résultat brut passe à :

- 802,4 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 928,4 K€/an (prix de vente à 270 €/t).

Avec une évolutivité potentielle de capacité de production en installant un 4^{ème} four connecté à l'épurateur de fumée.



- **FICHES PROCESS « 8500 et 10 000 t/an de charbon de bois ».**
cf. les 5 pages suivantes.

Dans cette gamme de capacité de production très importante, les technologies cornues sont écartées, en particulier le process « Cornue MC Charcoal Furnace » (cf. argumentaire page 110), malgré son utilisation dans cette gamme de capacité chez des carbonisateurs qui ont réalisé leurs investissements dans les années 1985 à 2000 (avant que d'autres technologies plus performantes soient mises au point).

Ici il s'agit de grandes productions industrielles, il faut porter une attention particulière aux paramètres de :

- Rendement,
- Sécurisation de la régularité de la productivité (sensibilité à l'humidité du bois, encrassement des conduits),
- Possibilité d'utiliser au maximum les « fines de déchet bois » pour fournir de l'énergie process (séchage bois, carbonisation, épuration des fumées),
- Quantité du nombre de manutentions,
- Performances environnementales,
- Longévité des équipements,
- Garantie d'une expérience en fonctionnement industriel intensif.

Nous retiendrons les process industriels à fort rendement (R=22 % sur bois à 20 % d'humidité) et expérimentés depuis de longues années.

Étude pour 8 500 t/an → Pôle bois à 105 000 m³/an de grumes sciées.

38 600 t/an de bois à 20 % d'humidité ou 49 800 t/an de bois brut sortie scierie.

- Four en continu « Gaurus Technologie » (rendement 22 % sur bois à 20 % d'humidité),
 - 2 unités → capacité max : 9 000 t/an (330 j/an).
- Four à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie » (rendement 22 % sur bois 20%),
 - 4 fours + incinérateur → capacité max : 8 500 t/an (330 j/an).

Étude pour 10 000 t/an → Pôle bois à 123 700 m³/an de grumes sciées.

45 500 t/an de bois à 20 % d'humidité ou 58 700 t/an de bois brut sortie scierie.

- Four à circulation de gaz chaud « Carbonex / Cogénération d'électricité » (rendement 22% sur bois à 20 % d'humidité),
 - Capacité max : 10 000 t/an (330 j/an) et 25 000 MWhé/an (3MW).
- Four à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie » (rendement 22 % sur bois 20%),
 - 5 fours + incinérateur → capacité max : 10 500 t/an (330 j/an).



CONCLUSION DES FICHES PROCESS « 8500 et 10 000 t/an de charbon de bois ».

Pour les capacités de production de l'ordre de grandeur de 10 000 t/an de charbon de bois la filière de carbonisation durable des déchets bois de scierie est très rentable à l'export.

... La technologie « Four en continu Gaurus », R = 22 %.

Avec 2 fours sa capacité de production nominale est de 9000 t/an, elle n'a pas d'évolutivité progressive vers des capacités supérieures. Le saut de capacité est de 4500 tonnes avec l'installation de chaque nouveau four. (La capacité avec un 3^{ème} four passe à 13 500 t/an).

Ce process est fiable mais nécessite des bois bien préséchés pour conserver sa productivité.

Il faut réaliser un système de préséchage du bois avec la combustion de fines (sciures, copeaux). Pour 8500 t/an, elle est adaptée aux scieries d'une capacité de 105 000 m³/an de grumes transformées.

- Investissement aménagement site + process = 6 269 K€,
- Investissement technique = 4 330 K€,
- Résultat brut 8 500 t/an = 1 117 K€ à 250 €/t et 1 287 K€ à 270 €/t.

... La technologie fours à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie », R = 22%.

Le saut de capacité est de 2 100 tonnes avec l'installation de chaque nouveau four.

Ce process accepte des bois relativement humides, sa longue expérience industrielle a démontré sa fiabilité et sa productivité.

. Avec 4 fours elle a une capacité de production maximale de 8500 t/an, adaptée à des scieries d'une capacité de sciage de 105 000 m³/an de grumes.

Pour 8 500 t/an de charbon de bois.

- Investissement aménagement site + process = 6 449 K€,
- Investissement technique = 3 940 K€,
- Résultat brut = 1 072 K€ à 250 €/t et 1 242 K€ à 270 €/t.

. Avec 5 fours elle a une capacité de production maximale de 10 500 t/an.

Pour 10 000 t/an de charbon de bois elle est adaptée à des scieries d'une capacité de sciage de 123 700 m³/an de grumes.

- Investissement aménagement site + process = 7 319 K€,
- Investissement technique = 4 690 K€,
- Résultat brut 10 000 t/an = 1 316 K€ à 250 €/t et 1 516 K€ à 270 €/t.

... La technologie fours à circulation de gaz chaud « Carbonex/Cogé d'électricité », R = 22 %.

Elle a une capacité de production nominale de 10 000t/an de charbon de bois et 25 000 MWh/an

- Investissement aménagement site + process = 26 619 K€,
- Investissement technique = 23 980 K€,
- Résultat brut 10 000 t/an = 1 849 K€ à 250 €/t et 2 049 K€ à 270 €/t.

Les technologies à circulation de gaz chaud « Carbonex » et « Bruni/Cirad/Sidenergie » permettent de maîtriser le réglage des paramètres de carbonisation et d'obtenir des taux de carbone fixe très élevés (cf. annexe 3). Elles peuvent améliorer la valeur ajoutée en fournissant du « charbon actif » à des spécialistes de la filtration industrielle. Cf. pages 14 et 76.

Dans cette gamme de capacité de production la technologie « Cogénération d'électricité/Carbonex » est la plus aboutie en terme d'optimisation énergétique, mais ses investissements sont importants. Toutefois le volet « production d'électricité verte locale » est un atout socio-environnemental et climatique important qui rentre dans les objectifs bas carbone des stratégies nationales d'Afrique Centrale (Carbonex : démonstrateur Greentech aux COP 21 et 23). La technologie « Gaurus » présente moins de souplesse dans la carbonisation de bois humides, c'est un handicap à prendre en compte en Afrique Centrale, en installant un système de préséchage très performant.

**Fiche process 2 Fours en continu « Gaurus Technologie » - 8500 t/an - Avec valorisation des jus pyrolygneux. (95 % de la capacité nominale)****Productivité.**

- Fonctionnement : 312 jours/an, 8500 t/an de charbon de bois, rendement : 22 %.
- 2 fours en continu, système valorisation des fumées, transit, installation, coûte 3600 K€.
- Gisement bois à traiter : 49 800 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 105 000 m³/an de grumes transformées.
- Evolutivité jusqu'à 9000 t/an sur 330 j/an (capacité nominale)..
- Une augmentation de capacité de production nécessiterait l'investissement dans une unité complémentaire (1 800 K€) pour passer à 13 500 t/an de charbon de bois.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	650 000 €	(32,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	500 000 €	(25 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	700 000 €	(35,1 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	180 000 €	(12 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	60 000 €	(6 K€)
- Process (1 four), transit	3 600 000 €	(240 K€)
- Engins (3 chariots 4 t, 1 camion)	390 000 €	(48,7 K€)

Total investissement (hors achat site) 6 269 000 €**Amortissements (8, 15 et 20 ans) 409 700 €/an****Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).**

- Personnel (20 employés + 2 dirigeants).....	253 000 €
- Consommables	260 000 €
- Amortissements	409 700 €
- Entretien mécanique	45 000 €
- Divers, honoraires	40 000 €

Total charges d'exploitation 1 007 700 €/an**Recette escomptée de 8500 tonnes à 250 €/t ... 2 125 000 €/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 1 117,3 K€/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 1 287,3 K€/an**

D'après le fabricant « Gaurus Technologie » et sur la base des usines qui fonctionnent en Biélorussie et en Lituanie, la valorisation des jus pyrolygneux peut compléter la recette de 400 à 600 K€/an.

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification : **Cette technologie est viable économiquement pour 8500 t/an de charbon de bois.**

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 4 330 K€ et le résultat brut passe à :

- 1 215 K€/an pour 8500 t/an de charbon de bois à 250 €/t.
- 1 385 K€/an pour 8500 t/an de charbon de bois à 270 €/t.



Fiche process 4 fours «Bruni/Cirad/Sidenergie » - 8500 t/an - à 100 % de la capacité nominale de production.

La configuration à 4 fours « Bruni/Sidenergie » produit au maximum 8500 t/an (25,6 t/jour).
L'ensemble process (4 fours, conteneurs, incinérateur, transit) installé sur site coûte 3 000 K€. L 118
Volume des conteneurs de bois : 8,3 m³.
Ce process peut fonctionner avec des bois relativement humides.

Productivité.

- Pour une production de 8500 t/an,
- Fonctionnement : 330 jours/an, 24h/jour, 4 fours, rendement : 22 %.
- Gisement bois à traiter : 49 800 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 105 000 m³/an de grumes transformées.
- Evolutivité de capacité de production en installant un 5^{ème} four (+ 2100 t, + 700 K€).

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	970 000 €	(48,5 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	750 000 €	(37,5 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	700 000 €	(35 K€)
- Forage, bêche à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	100 000 €	(5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	180 000 €	(12 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	60 000 €	(6 K€)
- Process (4 fours, conteneurs, incinérateur, transit)	3 000 000 €	(200 K€)
- Matériel roulant (chariots 2x4 t + 2x12 t, 1 camion)	600 000 €	(75 K€)

Total investissement (hors achat site) 6 449 000 €

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 424 400 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (22 employés + 2 dirigeants).....	268 000 €
- Consommables	260 000 €
- Amortissements	424 400 €
- Entretien mécanique	60 000 €
- Divers, honoraires	40 000 €

Total charges d'exploitation 1 052 400 €/an

Recette escomptée de 8 500 tonnes à 250 €/t 2 125 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 1 072,6 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 1 242,6 K€/an

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification : **Cette technologie a de très bons résultats économiques pour 8 500 t/an de capacité de production.**

Cette technologie peut aussi être retenue dans le cas où une installation possible sur le site de la scierie évite les coûts d'aménagement du site de carbonisation.

Dans ce cas l'investissement technique est de 3 940 K€ et le résultat brut passe à :

- 1 199 K€/an (prix de vente à 250 €/t),
- 1 369 K€/an (prix de vente à 270 €/t).

Avec une évolutivité potentielle de capacité de production en installant un 5^{ème} four connecté à l'épurateur de fumée.

**Fiche process pour les fours à circulation de gaz chaud « Carbonex », avec cogénération électricité-3 MW-/charbon de bois 10 000 t/an.**

Cf. page 77.

L 119

Productivité.

- Fonctionnement : 330 jours/an. Rendement = 22 %.
- Gisement bois à traiter : 58 700 t/an à 38 % d'humidité sortie scieries ou plantation.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 123 700 m³/an de grumes transformées.
- Production : 10 000 t/an de charbon de bois - 30 t/jour, 25 000 MWhé/an.
- Évolutivité → capacité de production accrue avec des équipements supplémentaires.

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	1 000 000 €	(50 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	800 000 €	(40 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	750 000 €	(37,5 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	110 000 €	(5,5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	200 000 €	(13,3 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	70 000 €	(7 K€)
- Process, transport, douanes	23 000 000 €	(1 534 K€)
- Engins (2 chariots 4 t + 2 chariots 12 t, 1 camion)	600 000 €	(75 K€)

Total investissement (hors achat site) ... 26 619 000 €, (Invest. technique : 23 980 K€)**Amortissements (8, 15 et 20 ans) 1 767 700 €/an****Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).**

- Personnel (24 employés + 2 dirigeants) 283 000 €
- Consommables
- Amortissements 1 767 700 €
- Entretien, mécanique 80 000 €
- Divers, honoraires 50 000 €

Total charges d'exploitation 2 400 700 €/an**Total recette 4 250 000 €/an****Recette escomptée de 10 000 t/an charbon à 250 €/t 2 500 000 €/an****Recette escomptée de 25 000 MWh à 70 €/MWh 1 750 000 €/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 1 849 K€/an****Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 2 049 K€/an****Remarque : Approvisionnement bois à partir de plantations industrielles.**

La recette permettrait la création, l'entretien, l'exploitation et le renouvellement du couvert forestier d'une plantation industrielle durable de 5000 ha nécessaire à l'approvisionnement bois de l'usine de cogénération « charbon de bois 10 000 t/an / électricité 3 MW ».

En se référant aux travaux du CIRAD sur les plantations d'acacias auriculiformis de RDC et sur l'expérience du PRONAR de la République du Congo (Programme National d'Afforestation et de Reboisement), les charges de fonctionnement de 5000 ha (rotation sur 11 ans) sont de l'ordre de 1 160 K€/an pour fournir 42 800 t/an de matière sèche, soit un bois rendu usine à 27 €/t de matière sèche ou 19 €/t de bois à 30% d'humidité.

Cette opération « Plantation industrielle durable/Cogénération électricité/Charbon de bois » est financièrement réalisable avec cette technologie pour des prix de vente export. (5000 ha -450 ha/an- → 10 000 t/an de charbon de bois durable + 3MW d'électricité verte)



Fiche process 5 fours «Bruni/Cirad/Sidenergie» - 10 000 t/an - à 95 % de la capacité nominale de production.

L 120

La configuration à 5 fours « Bruni/Sidenergie » produit au maximum 10 500 t/an (32 t/jour). L'ensemble process (5 fours, conteneurs, incinérateur, transit) installé sur site coûte 3000 K€. Volume des conteneurs de bois : 8,3 m³. Ce process peut fonctionner avec des bois relativement humides.

Productivité.

- Pour une production de 10 000 t/an,
- Fonctionnement : 313 jours/an, 24h/jour, 5 fours, rendement : 22 %.
- Gisement bois à traiter : 58 700 t/an à 38 % d'humidité sortie scierie.
- Valorisation des déchets bois de scieries à 123 700 m³/an de grumes transformées.
- Evolutivité de capacité de production en installant un 6^{ème} four (+ 2100 t,+ 700 K€).

Investissements, (Amortissements).

- Viabilisation du terrain	1 000 000 €	(50 K€)
- Voirie, réseaux, surfaces béton, clôtures	800 000 €	(40 K€)
- Locaux, hangar (60 x 29 m = 1740 m ²)	750 000 €	(37,5 K€)
- Forage, bache à eau 15 m ³ , réseau incendie	30 000 €	(1,5 K€)
- Bascule, transfo, GE	59 000 €	(3,9 K€)
- Système de détection incendie, alarmes	110 000 €	(5,5 K€)
- Matériel de préparation du charbon de bois	200 000 €	(13,3 K€)
- Matériel de conditionnement du bois	70 000 €	(7 K€)
- Process (3 fours, conteneurs, incinérateur, transit)	3 700 000 €	(246,7 K€)
- Matériel roulant (chariots 2x4 t + 2x12 t, 1 camion)	600 000 €	(75 K€)

Total investissement (hors achat site) 7 319 000 €, (invest. technique 4 690 K€)

Amortissements (8, 15 et 20 ans) 480 400 €/an

Compte prévisionnel d'exploitation (préparation du bois + carbonisation).

- Personnel (24 employés + 2 dirigeants)..... 283 000 €
- Consommables 290 000 € |- Amortissements 480 400 € |- Entretien mécanique 80 000 € |- Divers, honoraires 50 000 € |

Total charges d'exploitation 1 183 400 €/an

Recette escomptée de 10 000 tonnes à 250 €/t 2 500 000 €/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 250 €/t 1 316,6 K€/an

Résultat brut (avant impôt, hors achat site) à 270 €/t 1 516,6 K€/an

Résultat brut 10 500 t/an (avant impôt, hors achat site) = 1 441 K€ à 250 €/t

Résultat brut 10 500 t/an (avant impôt, hors achat site) = 1 651 K€ à 270 €/t.

Au prix de vente cible de 250 €/t et en investissant dans des conditions modernes d'aménagement d'un nouveau site de carbonisation qui permettent d'accéder à une certification : **Cette technologie a de très bons résultats économiques pour 10 000 t/an de capacité de production.**

Avec une évolutivité potentielle de capacité de production en installant un 6^{ème} four connecté à l'épurateur de fumée pour passer à une capacité de production de 12 600 t/an.



REFLEXION SUR UN PROJET DE « PLANTATION INDUSTRIELLE DURABLE » DÉDIÉE A LA PRODUCTION : « CHARBON DE BOIS/COGÉNÉRATION D'ÉLECTRICITÉ »

121

La destruction des milieux arborés et forestiers d'Afrique subsaharienne due à l'exploitation du bois énergie (bois de feu et charbon de bois) est généralisée, intense et croissante.

En 2020 l'Afrique produit « artisanalement 37 millions de tonnes de charbon de bois ! » à partir de 315 millions de tonnes de bois non durable. (La situation extrême est représentée par le Nigéria qui a perdu 25 % de ses forêts en 5 ans, autour de 2015, en majorité pour le bois énergie de sa consommation domestique et aussi pour de l'exportation vers l'Europe).

Face aux gigantesques besoins de bois énergie des ménages, en forte croissance en Afrique, **La solution industrielle « durable » de grande capacité de production** représente la voie majeure à développer dans le prolongement des programmes des organisations internationales qui ont mis en œuvre des projets pilotes de productions de charbon de bois durable qui intègrent la régénération de la biomasse matière première.

Bien que ces projets de recherche aient des capacités de production d'échelle artisanale, ils ont produit le matériel scientifique nécessaire à la création et au développement de la filière durable « Plantation/Carbonisation ».

Cf. FAO 2017. "The charcoal transition -Greening the charcoal value chain to mitigate climate change ..."

L'objet général de cette étude concerne la valorisation/carbonisation des déchets connexes à l'industrie de la transformation du bois, mais nous proposons dans ce chapitre un complément sur :

***La possibilité technique et économique de développer une offre industrielle de
« Charbon de bois durable »
Basée sur des reboisements durables de zones périurbaines déforestées.***

Nous nous référons aux travaux des équipes de chercheurs, en particulier du Cirad qui est le maître d'œuvre historique du « Projet Makala » en RDC et en république du Congo.

Ce programme d'une dizaine d'années, de plusieurs milliers d'hectares plantés et exploités, a approfondi les nombreux sujets d'étude liés à l'activité :

- Enjeux fonciers,
- Matériel génétique des espèces à planter,
- Intégration sociale, création de valeur en zone rurale, aménagement du territoire,
- Organisation des pépinières,
- Itinéraires techniques, modèles de plantation (régénération naturelle assistée...), Cultures intercalaires, productions de PFNL,
- Productivité des plantations,
- Impacts environnementaux, hydrologie,
- Pérennité des plantations, l'étude de l'épuisement ou de la régénération des sols,
- Biodiversité, recolonisation par une nouvelle faune

Les résultats structurent une grande quantité d'éléments scientifiques. A partir de 2013, les acquis des travaux sont capitalisés dans un deuxième programme (Cap Makala) afin de fournir des modes opératoires pour développer la filière : « Forêt plantée durable/Carbonisation ».



Nous nous basons sur les résultats de ces travaux scientifiques pour établir l'approche économique d'un modèle de projet industriel :

- Production de 10 000 t/an de charbon de bois durable,
- Besoin biomasse de 42 800 t/an de matière sèche,
- Basé sur une plantation d'Acacias Auriculiformis/Mangium, d'une surface de 5000 ha en rotation de 400 ha sur 11 ans,
- Sur des sites proches d'un port, pour des ventes à l'export (prix de vente sortie usine 250 à 280 €/t), par exemple à Pointe Noire,
- Ou sur des sites périurbains pour un usage domestique local (prix de vente 200 à 220 €/t selon le mode d'acheminement vers la ville. Cf. pages 23, 24 de l'étude de marché PPECF. C 166).
- Ou la combinaison des 2 modes de commercialisation.

L 122

On utilise une étude de 2019 réalisée pour le ProNAR (Programme National d'Afforestation et de Reboisement) du Ministère de l'Économie Forestière de la République du Congo, cf. annexe 10.

Préalable économique pour le choix de la technologie de carbonisation.

■ **Le coût de création de la plantation (investissement).**

La création de 400 ha/an pendant 10 ans et son entretien représentent un investissement de 6 384 K€ qui sera amortissable sur 25 ans à partir de la 11^{ème} année (date de la première récolte et du début de la carbonisation) soit 256 K€/an.
(35 ans est la « durée de vie comptable » de la plantation qui permet d'assurer 3 rotations)

■ **Le coût de fonctionnement de la plantation.**

Puis lorsque la production de charbon de bois fonctionne à partir de la 11^{ème} année :

- Les opérations de récolte du bois (107 t/ha x 400 ha/an = 42 800 t/an de ms cf. Cirad),
- De replantation et d'entretien,

(c'est à dire le fonctionnement de la plantation) ont un coût de 902 K€/an.

■ **Le total des charges de la plantation, l'équivalent « coût du bois ».**

Donc la récolte des 42 800 t/an de bois sec nécessaires à la production de 10 000 t/an de charbon de bois coûte 256 K€ (création de la plantation) + 902 K€ (fonctionnement et récolte) :

- Soit 1 158 K€/an de charges de plantation (amortissement + fonctionnement) ou
- L'équivalent de 27 €/t de bois sec rendu à l'usine de carbonisation.

(En France le prix moyen est supérieur à 50 €/t).

■ **Le choix technologique.**

Parmi les technologies étudiées dans les pages précédentes, où le déchet bois matière première a un coût nul, il faut retenir un process capable de dégager suffisamment de résultat brut pour supporter le coût du bois issu de la plantation, c'est-à-dire 1 158 K€/an.

La seule technologie économiquement viable est le process « Carbonex » (cf. page 117) avec une production de 10 000 t/an de charbon de bois, la cogénération (3 MWé) de 25 000 MWhé/an et un résultat brut de 1849 K€/an.

Cet ensemble industriel peut donc intégrer la plantation de 5000 ha à l'unité de cogénération « charbon de bois/électricité » en dégagant un résultat brut de : 691 K€/an,

- Charges de fonctionnement de la plantation : 1 158 K€/an,
- Charges de fonctionnement de l'usine : 2 401 K€/an,
- Recettes (prix de vente sortie usine à 250 €/t et 0,07 €/KWhé) : 4 250 K€/an.



Remarque.

Les façons de présenter les investissements et les coûts de fonctionnement de la technologie «Carbonex » sont différentes dans les 2 études (celle-ci et l'étude ProNAR, annexe 10), du fait de contextes différents. Mais les grandes masses comptables sont quasi identiques, à 5 % près pour les charges d'exploitation, ce qui donne la possibilité d'adapter le modèle « Carbonex/Plantation » à différents contextes.

123

Discussion sur les prix de vente des productions, qui assurent la pérennité économique de l'ensemble « Plantation/Carbonisation/Cogénération d'électricité ».

Par rapport : Au prix de vente du charbon de bois de : 250 €/t (10 000 t/an),
Au prix de vente de l'électricité de : 70 €/MWh (25 000 MWh/an),
Et au résultat brut de l'activité de : 691 K€/an,

Nous devons évaluer les prix de vente plancher des deux produits qui permettent de conserver l'équilibre financier du projet.

■ Hypothèses sur le prix de l'électricité.

Au Gabon l'électricité industrielle coûte de 0,09 €/KWh en heure creuse à 0,18 €/KWh en heure pleine.

On peut évaluer que la part d'autoconsommation de l'usine réduit la charge des consommables de 70 K€/an. (70 KW x 24 h x 330 j x 0,13 €/KWh).

Au Gabon et en République du Congo (réf. Directeur Général de l'Énergie du Ministère) le coût de rachat de l'électricité verte pourrait être de 0,07 €/KWh, ce qui génère une recette 1 750 K€/an. D'autre part, une partie de la production pourrait fournir des consommateurs industriels voisins avec une meilleure valorisation que la mise à disposition du réseau public.

Le prix de 70 €/MWh d'électricité verte semble être une valeur crédible pour beaucoup de pays d'Afrique centrale. (En France l'électricité biomasse durable est achetée par le réseau public à des tarifs promotionnels autour de 150 €/MWh, au titre de la lutte contre le changement climatique).

■ Hypothèses sur le prix du charbon de bois. (En fixant le prix de l'électricité à 70 €/MWh)

Prix de vente à l'export 270 €/t → Résultat brut = 891 K€/an,

Prix de vente à l'export 250 €/t → Résultat brut = 691 K€/an.

Pour conserver un résultat brut minimum de 191 K€/an, le prix de vente du charbon peut baisser à 200 €/t, ce qui est un prix sortie usine encore élevé pour le marché d'Afrique Centrale.

Cf. étude de marché PPECF. C 166 pages 21 à 23 :

- Gabon, Guinée Equatoriale : très peu de consommation,
- Cameroun : prix détail 247 €/t,
- République du Congo : prix détail de 144 à 267 €/t selon la saison et les villes,
- République Démocratique du Congo : prix détail 289 €/t à Kinshasa,
- République Centrafricaine : prix détail de 205 à 253 €/t à Bangui selon la saison.

L'activité industrielle durable a aussi la possibilité de capter une grande partie (de 20 à 40 €/t) de la marge bénéficiaire des oligopoles grossistes et transporteurs du charbon non durable en organisant, en interne, le transport vers les dépôts des centres urbains consommateurs.

Ainsi le prix de vente de 200 €/t est possible en prenant le transport en charge, dans ce cas l'équilibre économique est atteint mais sa marge de sécurité est faible pour développer cette **filière durable, qui est la seule apte à généraliser l'écologisation de la chaîne de valeur** du charbon de bois.

Cette filière peut lutter à grande échelle contre la déforestation engendrée par cet énorme besoin en charbon de bois, produit de première nécessité à usage de 70% de ménages de la plupart des mégapoles régionales.



La solution : « La rémunération des services socio-environnementaux et climatiques »
Soutien public ou privé pour initier la filière :
« Afforestation de savanes dégradées / Électricité verte et charbon de bois durable ».

124

Le « bois énergie durable », KWh thermiques et KWh électriques, est une composante majeure de l'économie verte.

Les prix du marché, pour les énergies domestiques de première nécessité charbon de bois et électricité, sont très faibles en Afrique Centrale. Ils sont juste en dessous (de quelques CFA ou centimes d'Euro) de la limite qui permet la sécurisation économique et le développement de la filière industrielle durable « Plantation/Production de charbon de bois/Cogé d'électricité ».

Une augmentation du prix du charbon de bois de 14 CFA/Kg ou 0,02 €/Kg (21€/t, soit 10%) permettrait de garantir la pérennité économique de la filière et de rompre avec l'inéluctable déforestation généralisée du bois de feu et la paupérisation de ses acteurs.

Mais une augmentation du prix poserait un problème majeur, car étant donné le faible pouvoir d'achat des usagés (une majorité à moins de 100 €/mois/ménage), elle accentuerait la précarité énergétique et alimentaire de millions de familles.

Dans l'économie de marché traditionnelle, les nombreux services socio-environnementaux et climatiques rendus par la filière ne sont pas pris en compte et donc, ne sont pas rémunérés.

La marge économique supplémentaire nécessaire à la mise en œuvre de la filière est extrêmement faible en cofinancement et infinitésimale par rapport aux nombreux bénéfices écosystémiques, climatiques et sociaux générés :

- Proposer un charbon de bois durable en substitution à la production régionale informelle actuelle, acteur majeur de la déforestation, destinée aux marchés locaux et à l'exportation vers l'Europe.
- Produire de l'électricité « renouvelable » à partir du potentiel énergétique contenu dans les fumées de carbonisation. (Process industriel démonstrateur aux COP 21,23)
- Optimiser l'usage de la biomasse prélevée par la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles. (Très bon rendement énergétique global : environ 64 %)
- Créer des compétences et de la valeur partagée avec les populations en créant des emplois locaux et de la valeur ajoutée (emplois directs et délégation aux populations locales des pépinières, cultures intercalaires, arbres fruitiers, miel, chasse ...).
- Redynamisation de zones périurbaines désertées à la suite de la déforestation (aménagement du territoire, limitation de l'exode rurale).
- Initier une nouvelle dynamique industrielle durable à partir de la biomasse, ressource emblématique d'Afrique Centrale. Avec un fort potentiel à l'export du fait du déficit mondial d'offres de charbon de bois durable.
- Reconquête d'espaces dégradés, amélioration des sols et de la biodiversité des zones de boisement, constitution de zones tampon pour la protection des forêts galerie.
- **Réduction d'émission de CO₂ pour 10 000 t/an de charbon de bois durable :**
→ **85 000 tCO₂/an. (Substitution à la déforestation)**
Fraction non renouvelable du bois utilisé actuellement = 0,9 (Réf. IPCC)
(Réf. AMS III BG, CDM, unfccc). $ER_y = 10000 \text{ t} \times 8,3/1 \times 0,015 \text{ TJ/t} \times 1 \times 0,9 \times 81,6 \text{ tCO}_2/\text{TJ}$.
- **Réduction d'émission de CO₂ pour 25 000 MWh/an d'électricité biomasse durable :**
→ **6 000 tCO₂/an. (Substitution à l'énergie fossile)**
Ex. Le facteur d'émission moyen du Congo : 266 g de CO₂/KWh,
et celui du projet : 25 g de CO₂/KWh soit une réduction de 241 Kg/MWh x 25 000 MWh.



- **Séquestration de CO₂ du puits de carbone/boisement de 5 000 ha :**
 - **600 000 t CO₂, avec permanence. (Création de la forêt plantée durable)**
- (Réf. Cirad, Makala) Après 10 ans : biomasse totale = 171,1 t/ha.10ans, donc :
Une productivité biomasse de 17 t/ha.an soit 30 tCO₂/ha.an (17 x 0,49 x 44/12),
Une parcelle de 400 ha séquestre 12 000 tCO₂/an,
Les 10 parcelles en croissance, depuis 1, 2... 10 ans, ont séquestré 12 000 t x [n(n+1)/2]
soit 660 000 tCO₂ après 10 ans (n=10). On prend 600 000 t après déduction du carbone initial de la savane (baseline) et des énergies fossiles consommées.

125

La promotion de cette filière s'inscrit dans les objectifs de la FAO :

« **La transition du secteur du charbon de bois est une nécessité climatique** » et dans les « **Objectifs du Développement Durable** » des Nations Unies:

- ODD n° 7- Energie propre à un coût abordable.
- ODD n° 8- Travail décent et croissance économique.
- ODD n° 9- Industrie innovation et infrastructure.
- ODD n° 11- Villes et communautés durables.
- ODD n° 12- Consommation et production responsable.
- ODD n° 13- Mesures relatives à la lutte contre le changement climatique.
- ODD n° 17- Partenariats pour la réalisation des objectifs.

. La mise en œuvre de cette filière durable (Anti-déforestation) de grande ampleur demande un très faible accompagnement financier, mais toutefois indispensable.

. Pour lancer la filière, il est nécessaire que les pouvoirs publics, à travers des structures spécialisées telles que la COMIFAC, accompagnent ce projet qui n'est pas à but capitalistique traditionnel mais dont l'objectif est de participer à la lutte contre la déforestation croissante du bois énergie et contre ses multiples et graves conséquences. En France ce type de projet est soutenu par des contrats à 25 ans de tarif de rachat préférentiel de l'électricité biomasse durable de 140 à 180 €/MWh. Ce qui soutient à hauteur de 1 500 K€/an les projets de cette capacité.

En Afrique Centrale le besoin est moindre : Des prêts à taux zéro pour l'investissement et, en regard des services socio-environnementaux et climatiques fournis, un soutien de l'ordre de 200 K€/an serait suffisant pour lancer ce nouveau secteur économique durable dans les régions où l'exportation, et ses prix favorables, n'est pas envisageable.

Pour comparer certains paramètres du projet avec les productions traditionnelles d'énergie :

- La production verte de 3 MW élec économise 3 M€ dans l'investissement d'une nouvelle centrale à gaz. (Investissement de 1 M€/1MWé selon process et puissance)
- La fourniture de 25 000 MWh/an électrique durables économise l'équivalent de 3 500 à 5 000 t/an de fuel consommé par une centrale électrique classique (selon le process), soit le chargement de 180 à 220 camions semi-remorques.
- Les 10 000 t/an de charbon de bois durable économisent l'équivalent énergétique de 7 800 t/an de fuel rendu chez le client soit 350 semi-remorques.
- En 2019, les 5 pays de l'espace COMIFAC consomment 3,47 Millions de tonnes de charbon de bois non durable, cela correspond à 2,7 Millions de tonnes de fuel rendu chez le client ou à l'équivalent énergétique de 5 réacteurs nucléaires de 900 MW.
- Le faible rendement du secteur traditionnel du charbon de bois (8,3 Kg de bois pour 1 Kg de charbon) a consommé 28,8 millions de tonnes de bois en Afrique Centrale, soit l'équivalent de 10 Millions de tonnes de fuel ou l'équivalent de 440 000 camions.



SYNTHÈSE / CONCLUSION DE L'ÉTUDE TECHNOLOGIQUE POUR LA PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS TROPICAL CERTIFIÉ FSC 100 %

SYNTHÈSE :

Les travaux des chercheurs et ONG, qui ont servi de base de travail pour cette étude, montrent à quel point la production mondiale du charbon de bois est non durable en étant un acteur majeur de la dégradation/destruction des milieux forestiers et par conséquent de mutations des modes de vie des populations locales.

Cette pression anthropique sur les forêts est particulièrement intense et croissante en Afrique Centrale et en Afrique de l'Ouest où le bois énergie reste la source principale d'approvisionnement destinée à l'énergie domestique et aussi à une production de charbon de bois exportée vers le marché Européen.

Plusieurs séries d'initiatives sont mises en œuvre pour minimiser les incidences négatives de la filière du charbon de bois :

- Substituer le bois énergie domestique par des énergies fossiles à faible coût, (Ex : au Gabon, à l'aide de subventions),
- Optimiser les faibles rendements de production des charbonniers traditionnels pour consommer moins de bois matière première (programmes d'aide internationale),
- Fabriquer et diffuser des foyers domestiques améliorés pour consommer moins de combustible (programmes d'ONG).

Et des travaux de fond sont conduits pour proposer des modèles durables d'approvisionnement du bois matière première :

- Initier des programmes d'étude et de réalisation de plantation de forêts artificielles à but énergétique pour fournir un approvisionnement durable aux carbonisateurs (programmes d'aide internationale, chercheurs « forêts et société»),
- Valoriser les gisements de déchets du secteur de l'exploitation/transformation industrielle durable du bois (un cadre de gouvernance incitatif existe dans certains pays, peu de réalisations opérationnelles).

Mais le virage écologique proposé par toutes ces pistes est bloqué à cause du manque total de capacité d'autofinancement de la filière.

En effet, pour la quasi-totalité des consommations en Afrique, le charbon de bois est un produit de première nécessité à bas prix pour des ménages à très faible pouvoir d'achat. Cette filière, essentielle pour les populations, est composée des acteurs pauvres (charbonniers/détaillants/consommateurs) démunis d'alternatives et des oligopoles de négociants/transporteurs qui captent la majorité de la faible marge bénéficiaire mais qui n'ont ni les moyens financiers, ni la vocation pour engager un virage écologique de cette chaîne de valeur.

En Afrique Centrale, la non durabilité de la production actuelle de charbon de bois est bien analysée, les solutions sont élaborées, mais il y a un manque de moyens financiers autonomes pour transformer à grande échelle les pratiques informelles et habituelles de destruction du couvert forestier.

Dans ce dossier nous avons étudié une piste parallèle, financièrement autonome et durable, de « production de charbon de bois à partir des déchets bois non valorisés par l'industrie de la transformation du bois d'Afrique Centrale ».



En Afrique Centrale, le volume de grumes transformées dépasse 10 millions de m³/an (EFBC 2040 et FAO 2013) et génère au moins la moitié de déchets de bois dont une grande partie est abandonnée sur site, en étant enfouie et/ou brûlée.

Quelques productions traditionnelles de charbon de bois ont logiquement tenté de valoriser ce gisement de bois mais peu d'entre elles subsistent, toujours à cause du manque de marge bénéficiaire (prix de vente régional très bas et coût de transport élevé...).

A l'initiative du Directeur Général de la Compagnie des Bois du Gabon, « CBG » à Port Gentil, et soutenu financièrement par le programme PPECF de la COMIFAC, nous avons abordé le sujet de la valorisation/carbonisation des déchets de l'industrie de la transformation du bois avec l'objectif de « la pérennité économique (rentabilité) dans un cadre durable ».

La première étude (2019) « Étude de marché, - PPECF. C 166 - » a malheureusement montré que, pour le marché régional, le niveau de recettes extrêmement bas et les coûts élevés de transport ne permettent pas d'atteindre l'équilibre financier pour des investissements de modernisation technique à bon rendement et non polluants.

Par contre, cette « Étude de marché » a démontré que :

- Le marché de l'export vers l'Europe est très favorable pour du charbon de bois muni d'une certification durable robuste → La demande est croissante et les prix de vente sont à la hausse,
- Pour être économiquement équilibrée : cette production industrielle durable doit être implantée à proximité de ports d'exportation → Pour s'affranchir des coûts élevés du transport routier régional.

Une production durable pour ce marché export ne s'inscrit pas directement dans les problématiques de la non durabilité du marché Africain, mais peut apporter sa part de substitution à des importations Européennes non durables. Le potentiel de carbonisation des déchets bois sur les pôles de transformation du bois proches des ports d'exportation d'Afrique Centrale pourrait produire l'ordre de grandeur de 100 000 t/an de charbon de bois durable (10 % du marché Européen) soit une réduction d'émission de CO₂ potentielle de 1 Mt/an.

Il a donc été décidé de réaliser cette « Étude de faisabilité technologique » :

- Pour la production industrielle et durable de charbon de bois,
- Fabriqué en Afrique Centrale,
- Par « Valorisation/Carbonisation » des déchets biomasse des pôles industriels de la transformation du bois situés à proximité de ports d'exportation,
- Provenant de l'exploitation certifiée des forêts,
- A destination du marché Européen.

Un chapitre particulier a été rajouté (du fait de son analogie technologique avec l'étude générale) sur le sujet de « la production à grande échelle de charbon de bois avec cogénération d'électricité à partir de plantations artificielles durables ».

Le cahier des charges (TDR) de cette étude technique reprend les éléments principaux d'une production industrielle durable et rentable adaptée au contexte de l'Afrique Centrale.

- Un charbon de bois conforme à la Norme NF EN 1860-2. Cela implique une maîtrise des paramètres du milieu réactionnel de carbonisation (températures, durée des paliers de carbonisation, gradient de montée en température),



- Une technologie de production durable et certifiable (dépollution des fumées, respect des VLE sur les rejets atmosphériques, optimisation de l'usage de la matière première : bons rendements, utilisation thermique des grandes quantités de fines déchets bois et bonnes conditions de travail avec des salaires décents),
- Une technologie adaptable au contexte industriel d'Afrique Centrale (compétences et maintenance locales et fabrication locales de certains éléments techniques),
- Une capacité de production évolutive et adaptable au volume du gisement de déchet bois de chaque projet et/ou adaptable à des choix d'investissements progressifs,
- Une technologie rentable : objectifs de coûts de production et du transport local cohérents avec le marché export.

▪ **Recherche des technologies fiables, à bons rendements, non polluantes.**

Nous sommes dans un projet de production industrielle, nous avons donc écarté les nombreuses propositions d'innovations technologiques adaptées au secteur artisanal. Nous avons recherché des technologies à bon rendement, non polluantes et qui présentent une expérience et une fiabilité de bon fonctionnement en usage industriel intensif.

Remarque sur les rendements « R » des différents process.

« R » = Tonnes de charbon de bois/Tonnes de bois matière première à 20% d'humidité.

Pendant les 2 premières heures la carbonisation :

- Une tonne de bois à 20 % d'humidité consomme 0,3 MWh d'énergie thermique,
- Une tonne de bois à 40 % d'humidité consomme 0,45 MWh d'énergie thermique.

Dans les procédés traditionnels (combustion partielle) la chaleur est fournie par la combustion d'une partie du bois à carboniser ce qui entraîne une perte de matière première. Les rendements de carbonisation sont de l'ordre de 15 % (sur du bois à 20 % d'humidité).

Les bons rendements du chauffage externe (à partir de l'incinération des fumées):

Dans les procédés modernes la totalité des besoins thermiques du préséchage et de la carbonisation est fournie par la grande quantité de chaleur produite par l'incinération/dépollution des fumées de carbonisation. Les rendements vont de 20 à 22 % (pour du bois à 20 % d'humidité), ce qui représente 33 à 45 % de productivité supplémentaire, avec la même quantité de bois, par rapport aux procédés à combustion partielle.

A l'exception de la technologie « CML » à combustion partielle améliorée qui peut être proposée pour des petites productions (Elle est équipée de la dépollution des fumées sans récupération de chaleur et du défournement à chaud qui améliore la fréquence des carbonisations), nous avons retenu les technologies industrielles éprouvées qui utilisent l'épuration des fumées pour fournir la chaleur process :

- Les fours cornue de la société « Movi.nl » :
 - o L'unité de deux cornues « Green Eco Furnace », Rendement : R = 20 %.
 - o L'unité de deux cornues « MC Charcoal Furnace », Rendement : R = 20 %.
 - o L'unité de deux cornues « HEAD », Rendement : R = 20 %.
- Les fours à circulation de gaz chaud :
 - o Le four cloche « Bruni/Cirad/Sidenergie », Rendement, R = 22 %.
 - o L'ensemble « Carbonex » avec Cogénération d'électricité, Rendement charbon, R = 22 %.
- Un four en continu :
 - o Le four de « Gaurus Technologie », Rendement, R = 22 %.



La mise à disposition des déchets bois.

La « valeur matière » d'acquisition des déchets bois est considérée comme nulle :

La Carbonisation/Valorisation des grandes quantités de rebuts non valorisés de l'industrie de la transformation du bois représente une « Solution durable pour la gestion de ce déchet » encombrant. Cette nouvelle filière décharge la scierie des opérations quotidiennes et polluantes d'enfouissement et de brûlage.

L'orientation du déchet vers la carbonisation n'entraînera pas de surcoût pour la scierie.

129

La sensibilité à l'humidité du bois.

Dans les process industriels, les fumées de carbonisation sont la source d'énergie thermique pour les carbonisations. Mais avec des bois très humides le pouvoir calorifique des fumées est largement diminué par les tonnes de vapeur d'eau en mélange, qui sont dégagées par le séchage du bois.

La carbonisation des bois humides, un handicap pour certaines technologies :

Pour pallier au déficit de potentiel thermique des fumées, du au mélange avec la vapeur d'eau d'un « début de carbonisation de bois humide », il faut affecter l'épurateur/incinérateur à un grand nombre de fours pour lisser le « handicap du four de bois humide en phase de démarrage », par les fumées des autres fours qui sont en phases avancées de carbonisation.

Ce n'est pas le cas pour les couples de fours cornue du marché, qui ont seulement 2 fours pour 1 incinérateur et qui sont très sensibles à l'humidité du bois entrant.

Par contre l'ensemble des fours à circulation de gaz chaud est organisé autour d'un unique incinérateur de fumée, ils peuvent enfourner des bois contenant jusqu'à 40 % d'humidité.

Malheureusement les technologies cornue matures proposées sur le marché ont un incinérateur de fumée qui n'est affecté qu'à 2 enceintes de carbonisation.

Cela est très contraignant : le critère d'utilisation de bois secs à 20 % d'humidité doit être respecté rigoureusement au risque de perturber le fonctionnement, de rallonger les temps de carbonisation et de consommer beaucoup d'énergie fossile d'appoint.

Seule la technologie cornue « MC Charcoal Furnace » qui est équipée d'un système de préséchage intégré, prend en compte ce problème et sécurise la productivité de ce process.

Les fours en continu sont eux aussi sensibles à l'humidité du bois.

Le volume des enceintes de carbonisation/conteneurs de bois/vessels.

Pour 1000 t/an de charbon de bois :

- Les technologies cornue « HEAD » et « MC Charcoal Furnace » qui ont des enceintes (vessels) de carbonisation de 5,7 m³ doivent réaliser 2000 carbonisations par an.
- Les technologies à circulation de gaz chaud « Carbonex » et « Bruni/Cirad/Sidenergie » qui ont des enceintes de carbonisation de 8,3 m³ doivent réaliser 1250 carbonisations par an (soit 40 % de moins).

Des dimensions d'équipements cohérents avec la capacité de production :

Un volume plus important (8,3/5,7 m³) des enceintes de carbonisation diminue de 40 % le nombre d'opérations de manutention des conteneurs de bois (chargement du bois, séchage, étouffage, vidage) et de carbonisations. Le nombre d'opérations est diminué en proportion de l'augmentation du volume des enceintes.

Exemple pour 1000 t/an : Pour 8,3 m³ → 700 heures/an environ de chariot élévateur,
Pour 5,7 m³ → 1100 heures/an environ de chariot élévateur.



L'utilisation thermique des grandes disponibilités de fines de déchet bois.

L'épurateur des fumées de carbonisation nécessite un « brûleur de soutien » pour chauffer la chambre de combustion des fumées à 850 °c lors du démarrage d'une série de carbonisations et pour sécuriser les performances de la dépollution des fumées.

L 130

Valorisation des sciures et fines :

Pour les fours cornue (1 incinérateur structurellement intégré entre 2 fours), l'énergie de soutien de l'incinérateur de fumée est fournie par de l'énergie fossile, le remplacement par de la biomasse n'est pas envisageable car la construction d'un foyer biomasse dans cet espace restreint nécessiterait une révision totale des plans de conception.

Par contre pour les batteries de fours à circulation de gaz chaud (toutes les cheminées des fours sont reliées à une même chambre d'incinération des fumées), il est très simple de réaliser un « foyer de soutien à fines de bois » pour garantir la conformité de l'épuration des fumées et pour garantir une disponibilité permanente de chaleur, quelle que soit l'humidité des bois enfournés. (Ex : Foyer biomasse à lit fixe – très simple – utilisé par CPBG à POG).

Le four en continu « Gaurus » ne peut pas valoriser les fines de déchet bois.

L'évolutivité des capacités de production.

Une capacité de production évolutive peut être souhaitée pour plusieurs raisons :

- Diminuer la prise initiale de risque financier en ayant la possibilité d'étaler les investissements sur plusieurs tranches de montée en régime, afin de confirmer par l'expérience la bonne maîtrise opérationnelle de la production et l'intérêt financier du projet avant d'atteindre la capacité potentielle.
- Permettre une adaptation du projet à une augmentation de quantité de déchets bois à valoriser/carboniser. Par exemple à la suite d'un partenariat avec des scieries voisines.

L'évolutivité des capacités de production :

C'est une revendication justifiée par une stratégie de gestion financière prudente par rapport à la découverte d'un nouveau secteur d'activité, mais elle n'est pas aisée à mettre en œuvre dans tous les cas de figure.

Certaines technologies sont très favorables dans des capacités de production modérées mais ne sont plus du tout adaptées aux capacités supérieures. Par contre d'autres technologies sont très performantes à partir de 3500 t/an mais sont impossibles à mettre en œuvre dans les petites capacités de production.

Par ailleurs une part significative des investissements n'est pas directement proportionnelle à la capacité de production, telle que les équipements immobiliers et, dans certains cas, les équipements techniques de l'épuration des fumées.

... **Les technologies cornue** sont modulables de 500 à 3 500 t/an environ, par sauts de 500 ou 800 tonnes.

... **La technologie à circulation de gaz chaud** « Bruni/Cirad/Sidenergie » est adaptable de façon progressive de 3000 t/an à des capacités supérieures à 12 000 t/an.

... **La technologie en continu** « Gaurus » a une capacité nominale conçue pour 4500 t/an, l'évolutivité passe par l'acquisition d'une nouvelle capacité de 4500 t/an.

... **La technologie « Carbonex/Charbon de bois/Cogénération d'électricité »** a une capacité nominale de 10 000 t/an, ou fixée dans cet ordre de grandeur lors de la conception initiale.



La maîtrise du processus de carbonisation / Potentialité charbon actif.

Le respect de la norme NF EN 1860-2, qui détermine les critères de qualité du charbon de bois, est incontournable pour l'accès au marché Européen. 131

Les caractéristiques du charbon de bois sont déterminées par le couple temps/températures de cuisson :

Une bonne maîtrise de ces paramètres permet de garantir une conformité régulière de la qualité mais aussi d'envisager la production d'une classe de charbon actif destinée au marché de la filtration et d'améliorer la valeur ajoutée de la filière.

... **Les technologies cornues** (enceintes fermées, chauffage extérieur des parois) permettent de réaliser des paliers de fin de carbonisation à haute température dans les cas d'une bonne disponibilité de la chaleur de l'épuration des fumées ou par un apport complémentaire d'énergie fossile. Mais la régularité de cette performance nécessite un bois très bien préséché.

... **Les technologies à circulation de gaz chaud** envoient, directement à travers les charges à carboniser, les gaz chauds provenant de l'épurateur des fumées, éventuellement soutenu thermiquement par le foyer à sciures et à fines de déchet bois. Tous les paramètres du milieu réactionnel sont maîtrisés.

De plus, et cela a une **incidence positive sur les contraintes du transport maritime** (risque de reprise de feu, cf. Code IMDG. Classe 4.2). Cette technologie permet la brumisation de vapeur d'eau sur le charbon de bois lors du palier de fin de carbonisation. Cette activation à la vapeur permet d'exclure ce produit de la classe dangereuse 4.2 (Pas de risque de reprise de feu ultérieure) et de réduire les contraintes du transport maritime.

L'épuration des fumées.

C'est le point capital des processus modernes de carbonisation du bois.

Les travaux de carbonisation en laboratoire montrent que la moitié du carbone du bois initial est recombinaison en molécules organiques polluantes et toxiques qui composent les fumées.

Ces fumées (aérosol de molécules organiques) ont un très fort PCI (pouvoir calorifique).

La difficulté principale pour le traitement et l'utilisation thermique des fumées provient de :

- **Leur dégagement très irrégulier, en quantité et en pouvoir calorifique, au cours des différentes phases d'une carbonisation,**
- **80 % du potentiel thermique des fumées de carbonisation apparaît pendant 25 % du temps de carbonisation, quand le bois est entre 240 et 360°C.**

La synchronisation des disponibilités de la chaleur des fumées avec les phases d'utilisation ne peut être réalisée qu'en lissant l'irrégularité de chaque four par un nombre minimum de 3 fours connectés à l'épurateur et, par sécurité, par un complément thermique fourni par un brûleur de soutien disposé à l'entrée de l'épurateur de fumée.

La dépollution des fumées lors de leur combustion à haute température (conformément aux règles opératoires des MTD pour les « opérations industrielles de combustion » de la Directive IED – Meilleures Technologie Disponible-) permet d'obtenir :

- Un rejet atmosphérique dépollué qui respecte les normes Européennes les plus contraignantes sur les rejets atmosphériques des activités industrielles et sur la qualité de l'air ambiant,
- Une énorme quantité d'énergie thermique (environ la moitié du PCI du bois initial) sous forme d'un flux irrégulier, qu'il faut maîtriser pour le revaloriser à des étapes précises du processus de carbonisation, pour le préséchage et pour Carbonex dans la cogénération d'électricité.



L'épuration et l'utilisation thermique des fumées sont maîtrisées de façons différentes selon les process présentés :

... « CML » épure les fumées mais ne réutilise pas leur pouvoir calorifique, en conséquence une partie du bois chargé dans les fours est brûlée pour les besoins thermiques des carbonisations et le rendement maximum est de 15% sur un bois bien séché à 20% d'humidité.

... **Les fours cornue** épurent les fumées et réutilisent leur pouvoir calorifique, mais toutefois en rencontrant des difficultés avec les bois humides (un complément d'énergie fossile de soutien à la production de chaleur est nécessaire dans ce cas).

... **Les fours à circulation de gaz chaud et le four en continu** épurent parfaitement les fumées dans le respect des VLE les plus contraignantes. Le recyclage de l'énergie thermique est maîtrisé par des moyens de régulation industriels et fiables.

Dans les fours à circulation de gaz chaud la régularité de l'épuration et de la production de chaleur peut être assurée par un complément thermique fourni par « un foyer à sciures intégré à l'épurateur », en substitution à de l'énergie fossile.

Le volume de l'investissement.

- **L'investissement immobilier d'acquisition et d'aménagement du site.**

Acquisition :

En partant de l'exemple d'une des hypothèses « CBG » pour l'implantation de l'usine de carbonisation sur une parcelle de la ZES (Zone Économique Spéciale) de Mandji, on voit que les 2 hectares nécessaires à une production de 5500 t/an de charbon de bois coûtent 2 millions d'Euros dans une ZES. Ce prix d'acquisition du site est très élevé, il est du même ordre de grandeur que le montant des investissements process et son amortissement sur 20 ans diminue le résultat brut de 100 K€/an.

A l'opposé la mise à disposition par la scierie d'un site mitoyen permet d'éviter cet investissement et d'éviter une partie des lourds investissements de viabilisation du site, tels que la stabilisation du sol, les raccordements aux réseaux, les clôtures, certains hangars, ateliers et voiries.

Viabilisation :

L'étude de viabilisation du site, basée sur les travaux de l'ingénieur TP de « CBG », montre que l'implantation sur un site marécageux de 2 hectares peut coûter 1,7 millions d'Euros et donc diminuer le résultat brut de 85 K€/an.

Mise à disposition par la scierie du site de carbonisation.

Indispensable pour les petites capacités de production inférieures à 3000 t/an :

L'incidence du coût de l'immobilier peut réduire à néant la rentabilité du projet.

Pour ces capacités de production modestes, la seule solution pertinente est d'installer l'unité de carbonisation sur un site mitoyen de la scierie qui peut mettre à disposition des équipements existants.

Pour des capacités de production supérieures à 3000 t/an, l'investissement immobilier est largement supporté par les résultats de l'activité :

La charge de l'amortissement du coût de l'immobilier devient très relative par rapport aux charges de fonctionnement. Dans les tranches de grandes capacités de production les excédents bruts d'exploitation absorbent aisément la charge immobilière.



- **L'investissement technique.**

Quelle que soit la technologie de carbonisation retenue et quelle que soit la capacité de production le « coût de l'investissement technique » par « tonne de capacité de production » est du même ordre de grandeur, soit de 480 €/t pour le process à circulation de gaz chaud à 520 €/t pour les fours cornue « MC ».

Tous les chiffres utilisés dans les études économiques partent d'évaluations très précises, mais ils peuvent être soumis à des fluctuations propres à chaque projet (incidence transport, taxation douanière, charges d'installation du matériel...).

Les investissements techniques des productions industrielles durables de charbon de bois vont de 900 K€ pour 1500 t/an à 3200 K€ pour 6300 t/an de capacité de production.

Ces investissements significatifs commencent à être rentables à partir du seuil de 3000 t/an avec une marge brute de l'ordre de 200 K€/an (pour un prix de vente à 270 €/t).

Pour les capacités de production supérieures (cf. pages 88, 89 et 110) la rentabilité s'améliore et devient très importante dans les grandes capacités.

Par exemple pour une capacité de production adaptée à « CBG » (équ. 69 000 m³/an sciés), en intégrant les investissements d'aménagement du site (Hors achat site) et selon les process :

- Les résultats bruts sont de l'ordre de 400 à 520 K€/an (pour un prix de vente à 250 €/t) ou de 500 à 630 K€/an (pour le prix de vente probable à 270 €/t).
- Les temps de retour sur investissement sont de l'ordre de 8 à 9 ans (pour un taux d'actualisation de 5%, et un prix de vente de 270 €/t)

L'investissement dans le process « Carbonex » avec cogénération d'électricité :

C'est un choix industriel engagé en faveur de la lutte contre le changement climatique qui a d'excellents résultats économiques.

Dans le contexte de cette étude et malgré un investissement process de 23 M€, le résultat brut de la filière est très élevé (1,8 à 2 M€/an) et le temps de retour sur investissement (process et aménagement du site) est de l'ordre de 10 à 11 ans (pour un taux d'actualisation de 5%).

Ce choix d'investissement innovant et fiable (démonstrateur aux COP 21 et 23) représente la « **solution d'avenir pour les pôles industriels du bois** » qui disposent d'un gisement de déchet de bois brut supérieur à 58 000 t/an (sciage cumulé de 123 000 m³/an de grumes).

Ce cas de figure existe, par exemple, à Port Gentil en cumulant les déchets de « CBG » et de « CoraWood » ou sur des ZES telles que Nkok (Libreville).

L'évaluation des volumes de déchet bois massif à valoriser/Capacité potentielle.

Les ratios suivants sont basés sur l'étude de la « Valorisation Énergétique des sous produits de scierie » du Cirad (P. Girard) et sur l'évaluation des déchets bois de « CBG ». cf. pages 18 à 22.

Sciage m ³ /an	Déchet brut 38 %	Déchet 20 %	Charbon. R = 20 %	Charbon. R = 22 %
7 000 m ³	3 300 t/an	2 500 t/an	500 t/an	
21 000 m ³	9 700 t/an	7 500 t/an	1 500 t/an	
48 000 m ³	22 600 t/an	17 500 t/an	3 500 t/an	
43 500 m ³	20 700 t/an	16 000 t/an		3 500 t/an
55 600 m ³	26 500 t/an	20 500 t/an		4 500 t/an
69 000 m ³ «CBG »	33 000 t/an	25 500 t/an		5 600 t/an
78 000 m ³	37 000 t/an	28 600 t/an		6 300 t/an
105 000 m ³	49 800 t/an	38 600 t/an		8 500 t/an
123 700 m ³	58 700 t/an	45 500 t/an		10 000 t/an



▪ Spécificité des technologies, leurs capacités de production optimales.

Tous les résultats financiers sont considérés dans les mêmes conditions de calcul :

- Les rendements de carbonisation « R » sont exprimés par rapport à du bois matière première à 20 % d'humidité,
 - Les résultats bruts (avant Impôt sur les sociétés) sont obtenus sans prendre en compte le coût d'achat du site (c'est un choix délibéré, car ce paramètre est très variable pour chaque projet). Exemple de ratio : un poste achat site de 1 M€ amorti sur 20 ans diminuera le résultat brut de 50 K€.
 - De plus les résultats bruts sont calculés pour un prix de vente de 250 €/t de charbon de bois qui est « le prix sortie usine minimum pour le marché Européen ».
- Au prix probable de 270 €/t, le résultat brut augmente de 20 K€ par tranche de 1000 t/an de capacité de production (soit + 100 K€ pour une capacité de 5000 t/an).

▪ La technologie « CML » à combustion partielle améliorée. R = 15 %.

Pages 67, 97, 101.

Cette technologie optimise au mieux les process traditionnels à combustion partielle (Dépollution des fumées, défournement à chaud, bonne organisation des flux matière).

Elle a été pendant longtemps la meilleure technologie semi-industrielle disponible. De nombreuses usines se sont développées sur cette technologie, le Cirad a été un soutien actif au transfert de ce process dans les pays en développement.

Mais depuis une vingtaine d'années, cette technologie est en concurrence avec le développement des technologies à source de chaleur externe (au four de carbonisation) qui ont des rendements de 20 à 22 % et qui produisent 35 à 45 % de charbon de bois supplémentaire avec la même quantité de matière première.

Par exemple pour le traitement de 20 000 t/an de bois à 20 % d'humidité (équivalent déchet bois pour 55 000 m³/an de grumes sciées) :

- « CML », R = 15%, produit 3000 t/an avec un résultat brut de :
161 K€/an à 250 €/t → (221 K€/an à 270 €/t).
- Un process à R = 20%, produit 4000 t/an avec un résultat brut de :
261 K€/an à 250 €/t → (341 K€/an à 270 €/t).

Du fait des récentes propositions de technologies fiables et aux rendements très supérieurs : **La technologie « CML » n'est plus adaptée à l'objectif actuel d'optimisation maximum de la valorisation énergétique de la biomasse matière première ni à la recherche de la meilleure rentabilité.**

Caractéristiques des technologies cornue. R = 20 %.

Les fours cornue utilisent l'énergie thermique de l'épuration des fumées des fours qui sont en phase avancée de carbonisation, pour fournir la chaleur nécessaire aux fours qui sont en phase de début de carbonisation. La chaleur chauffe les parois extérieures d'un conteneur de bois étanche (la cornue).

Pour garantir la disponibilité permanente de chaleur, l'idéal serait de faire fonctionner plusieurs cornues en décalage, reliées au même épurateur de fumées.

Le projet de la technologie « TFD » (page 37) propose ce type d'agencement, mais actuellement il est au stade de la conception. N'ayant pas de garantie de fiabilité en production intensive nous avons été contraints de ne pas retenir cette technologie dans cette étude technique qui doit proposer des solutions opérationnelles éprouvées.



Les seules technologies cornue disponibles sur le marché, qui ont fait leur preuve en production intensive, n'ont que deux cornues reliées au même épurateur de fumée.

Dans ce cas, les quantités d'énergie thermique produites par l'épurateur de fumée et nécessaires aux carbonisations sont très dépendantes de l'humidité des bois enfournés :

- La disponibilité thermique est à la baisse : Le pouvoir calorifique des fumées est largement diminué du fait de la dilution des fumées par la vapeur d'eau issue d'un début de carbonisation (séchage) de bois humides,
- Le besoin thermique est à la hausse : Le besoin de la chaleur nécessaire au lancement d'une fournée de bois humide est largement augmenté par la phase préalable de l'évaporation de l'humidité du bois.

Donc les technologies cornue proposées fonctionnent parfaitement à condition de maîtriser de façon rigoureuse le préséchage du bois entrant (cf. page 129 : Sensibilité à l'humidité du bois).

L'autre point important à prendre en compte est le volume des enceintes de carbonisation car il détermine la quantité de manutentions à réaliser pour une capacité de production donnée.

- **La technologie cornue, « MC Charcoal Furnace ». R = 20 %.**
Une ou plusieurs unités constituées chacune « d'un couple de fours cornue associé à un épurateur de fumée et d'une enceinte de préséchage bois ».

Pages 68, 69, 98, 102, 108, 111, 113.

Chaque unité [2 fours, 1 incinérateur de fumée, 1 enceinte de préséchage, 30 conteneurs] coûte environ 320 K€ rendu en Afrique Centrale (page 69), pour une capacité de production de 800 t/an (Ratio d'investissement process = 400 €/t de capacité de production).

L'évolutivité de la capacité de production se fait par tranche de 800 tonnes/320 K€ process.

Dans cette technologie le préséchage des bois relativement humides est résolu par un équipement intégré au process. Pour les bois très humides il faudra gérer un séchage préalable à l'air libre dans de bonnes conditions.

Le volume significatif des conteneurs de bois (vessels) de 5,7 m³ permet d'utiliser cette technologie pour des capacités de production importantes (des usines à 10 000 t/an ont été équipées avec ce process avant la mise au point des systèmes à circulation de gaz chaud).

La technologie cornue « MC Charcoal Furnace » est la meilleure à mettre en œuvre à partir de quelques centaines de tonnes jusqu'à 3 500 t/an de capacité de production, (soit 48 000 m³/an de grumes sciées).

Depuis la mise au point des technologies à circulation de gaz chaud qui gagne 10 % sur le rendement « R », il vaut mieux limiter la technologie « MC » à 3 500 t/an (cf. pages 100 et 106).

Exemples de résultats économiques :

- **1 600 t/an**, 2 couples de fours, investissement technique = 910 K€
Résultat brut (hors immobilier) = **62 K€/an à 250 €/t** → **(94K€/an à 270 €/t)**.
Ce tonnage ne peut dégager de marge bénéficiaire que dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les investissements immobiliers d'achat et d'aménagement du site. (cf. page 96).
- **3200 t/an**, 4 couples de fours, investissement technique = 1650 K€.
Résultat brut (hors immobilier) = **264 K€/an à 250 €/t** → **(324 K€/an à 270 €/t)**.
On voit (page 100) que le résultat de ce tonnage peut supporter les coûts d'aménagement (75 K€/an) et d'achat (50 K€/an ?) d'un site autonome.



- **4000 t/an**, 5 couples de fours, investissement technique = 2210 K€. Résultat brut (hors immobilier) = **342 K€/an à 250 €/t** → **(422 K€/an à 270 €/t)**. On voit que le résultat de ce tonnage peut supporter les amortissements des coûts d'aménagement (80 K€/an) et d'achat (70 K€/an ?) d'un site autonome. 136
- **La technologie cornue, « Green Eco Furnace ». R = 20 %.**
Une ou plusieurs unités constituées chacune « d'un couple de fours cornue associé à un épurateur de fumée ».

Pages 35, 70, 71, 99.

Chaque unité [2 fours, 1 incinérateur de fumée, 1 portique de chargement, 30 conteneurs] coûte environ 240 K€ rendu en Afrique Centrale (page 71), pour une capacité de production de 500 t/an (Ratio d'investissement process = 480 €/t de capacité de production).

L'évolutivité de la capacité de production se fait par tranche de 500 tonnes/240 K€ process.

Cette technologie n'intègre pas de système de préséchage. Le préséchage des bois humides devra impérativement être résolu par un séchage préalable rigoureux à l'air libre (pendant quelques mois sous un abri aéré) complété par un système dédié alimenté en chaleur par un foyer à sciure.

Le faible volume des conteneurs de bois à carboniser (vessels) de 3,7 m³, démultiplie le nombre de manutentions et de carbonisations. De ce fait, cette technologie n'est pas adaptée pour les capacités de production importantes.

Il vaut réserver la technologie cornue « Green Eco Furnace » aux capacités de production de 500 t/an qui n'ont pas de perspective d'évolution à la hausse, (soit 7000 m³/an de grumes sciées).

« Green Eco Furnace » pourrait être une bonne technologie à mettre en œuvre à partir de quelques centaines de tonnes jusqu'à 1500 t/an de capacité de production mais du fait du faible volume des conteneurs de bois et de l'absence d'équipement de préséchage, elle est en concurrence défavorable avec la technologie précédente « MC Charcoal Furnace ».

Exemples de résultats économiques :

- **1 500 t/an**, 3 couples de fours, investissement technique = 890 K€ Résultat brut (hors immobilier) = **32 K€/an à 250 €/t** → **(62 K€/an à 270 €/t)**. Ce tonnage ne peut dégager de marge bénéficiaire que dans le cas où une installation sur le site de la scierie évite les investissements immobiliers d'achat et d'aménagement du site. (cf. page 99).
- **La technologie cornue, « HEAD ». R = 20 %.**
Une ou plusieurs unités constituées « d'un couple de fours cornue associé à un épurateur de fumée ».

Pages 36, 72, 73, 100, 104.

Chaque unité [2 fours, 1 incinérateur de fumée, 1 portique de chargement, 30 conteneurs] coûte environ 650 K€ rendu en Afrique Centrale (page 72), pour une capacité de production de 1500 t/an (Ratio d'investissement process = 433 €/t de capacité de production).

L'évolutivité de la capacité de production se fait par tranche de 1500 tonnes/650 K€ process.

Cette technologie n'intègre pas de système de préséchage.



Le préséchage des bois humides devra être résolu par un séchage préalable à l'air libre rigoureux (pendant quelques mois sous un abri aéré), complété par un système dédié alimenté en chaleur par un foyer à sciure, mais une expérience industrielle Française montre que c'est insuffisant en hiver.

Sur la base de l'expérience industrielle d'une grande unité de carbonisation Française, nous conseillons de ne pas retenir la technologie cornue « HEAD » dans le contexte de l'humidité atmosphérique saturée permanente d'Afrique Centrale.

En effet, malgré un investissement important dans un système de préséchage, cet industriel qui fonctionne avec 6 couples de fours rencontre de grandes pertes de productivité et de fortes consommations d'énergie fossile, pendant les mois d'hiver.

La technologie « HEAD », R = 20 %, peut être retenue dans des contextes tropicaux moins saturés en humidité, pour des capacités de 1500 à 4500 t/an.

Au delà de 4500 t/an, il est préférable d'utiliser les technologies à circulation de gaz chaud qui gagnent 10% de rendement.

Caractéristiques des technologies à circulation de gaz chaud. R = 22 %.

La totalité de l'énergie thermique nécessaire au séchage des bois et aux carbonisations est fournie par la chaleur produite dans l'épurateur des fumées.

Tous les fours sont connectés par des cheminées à la chambre de combustion d'un épurateur de fumée unique.

L'énergie nécessaire au démarrage d'une série de carbonisations et nécessaire à la sécurité d'une disponibilité permanente de grandes quantités de chaleur, est fournie par un foyer à sciure et à écorce (brûleur de soutien) situé dans la partie amont de l'épurateur de fumée.

Les gaz chauds prélevés dans l'épurateur de fumée sont forcés à travers les charges de bois à carboniser.

Les gaz chauds régulés en température, en débit et en teneur en oxygène sont pulsés directement au contact du bois, leur action thermique de séchage et de carbonisation est très rapide.

Cette circulation maîtrisée des gaz chauds permet de programmer les paramètres de thermolyse et d'obtenir des qualités de charbon de bois très précises, y compris à haute température pour produire du charbon actif pour la filtration industrielle.

Cette technologie est en fonctionnement industriel depuis 1994 et « Carbonex » a repris ce principe pour ses unités de cogénération électricité/charbon de bois.

Cette technologie permet de carboniser des conteneurs de grand volume, ce qui diminue considérablement le nombre de manutentions et de carbonisations. (Cf. page 110)

L'humidité du bois ne diminue pas la productivité de cette technologie.

- **La technologie à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie ». R = 22 %.**
Deux ou plusieurs fours cloche reliés à un épurateur de fumée.

Pages 38, 74., 109, 112, 114, 118, 120.

Ce process, conçu par l'ingénieur italien Mr Bruni, étudié par le Cirad et développé en production industrielle intensive par Sidenergie, introduit une innovation majeure :

La maîtrise de la teneur en oxygène des gaz chauds → Chauffage rapide du bois par contact direct, sans le brûler ».



L'humidité du bois ne diminue pas la productivité de cette technologie.

L'unité est composée de fours cloche qui carbonisent simultanément 4 conteneurs de bois de 8,3 m³.

Les fours sont connectés à l'épurateur de fumée par des cheminées et des conduites de gaz chaud.

Pour assurer (comme pour les fours cornue) une disponibilité continue de la chaleur, il est préférable de fonctionner avec un minimum de 3 fours qui travaillent en relais (allumage décalé dans le temps : les fumées des fours en phase de carbonisation avancée fournissent la chaleur au four qui est en phase de démarrage).

Mais dans le cas particulier du projet (valorisation des déchets bois de scierie), l'abondante disponibilité de sciure permet de réaliser un « foyer à déchet sciure » dans l'épurateur de fumée et d'assurer gratuitement la fourniture permanente d'une grande quantité de chaleur.

Dans ce contexte, du fait de la disponibilité de chaleur, on peut faire fonctionner l'unité avec 2 fours et utiliser cette technologie dès 3500 t/an de capacité de production.

Une « activation à la vapeur » par injection d'eau en fin de carbonisation :

- Améliore la qualité du charbon de bois en réalisant une extraction à la vapeur des COV résiduels, et augmente la structure poreuse (potentialité Charbon Actif),
- « Exclut le produit de la Classe 4.2 du code IMDG » des marchandises dangereuses pour le transport maritime et assouplit les procédures d'embarquement.

L'incinérateur de fumée coûte environ 230 K€ (selon le nombre de fours connectés).

Chaque four coûte 690 K€ rendu en Afrique centrale (page 76) pour une capacité de 2100 t/an.

L'évolutivité de capacité de production se fait par tranches de 2100 tonnes/690 K€ process.

(Ratio d'investissement process = 380 €/t de capacité de production)

Le process à circulation de gaz chaud « Bruni/Cirad/Sidenergie » est une des meilleures technologies à mettre en œuvre à partir de 3500 t/an de capacité de production (soit à partir de 43 500 m³/an de grumes transformées - sciage-) en prenant le relais de la technologie cornue « MC Charcoal Furnace ».

Sa fiabilité, ses bons rendements maintenus avec des bois humides, sa possibilité de valoriser les déchets sciure et le respect des procédures de traitement des rejets atmosphériques en font une technologie qui s'inscrit dans les objectifs des documents de référence (BREF) de la Directive Européenne IED, sur les (MTD) meilleures technologies disponibles.

A partir de 10 000 t/an, il faudrait s'orienter vers la possibilité d'investir 23 M€ dans l'unité « CARBONEX avec cogénération d'électricité verte » car le rendement énergétique par rapport au bois entrant passe à 64 % (au lieu de 50 % pour le charbon de bois seul) et la rentabilité économique est accrue de 26 %.

Exemples de résultats économiques :

- **3 500 t/an, 2 fours**, 83 % de la capacité, investissement technique = 2 140 K€. Résultat brut (hors immobilier) = **233 K€/an à 250 €/t** → **(303 K€/an à 270 €/t)**. Le résultat de ce tonnage peut supporter les coûts d'aménagement (80 K€/an) et d'achat (60 K€/an ?) d'un site autonome.
- **4200 t/an, 2 fours**, 100 % de la capacité, investissement technique = 2 140 K€. Résultat brut (hors immobilier) = **408 K€/an à 250 €/t** → **(492 K€/an à 270 €/t)**. Le résultat de ce tonnage peut supporter les coûts d'aménagement (80 K€/an) et d'achat (60 K€/an ?) d'un site autonome.



- **6 300 t/an, 3 fours**, 100 % de la capacité, investissement technique = 3 040 K€. Résultat brut (hors immobilier) = **802 K€/an à 250 €/t** → **(928 K€/an à 270 €/t)**. On voit (page 114) que le résultat de ce tonnage peut supporter les amortissements des coûts d'aménagement (90 K€/an) et d'achat (100 K€/an ?) d'un site autonome.
 - **8400 t/an, 4 fours**, 100 % de la capacité, investissement technique = 3 940 K€. Résultat brut (hors immobilier) = **1174 K€/an à 250 €/t** → **(1342 K€/an à 270 €/t)**. On voit (page 118) que le résultat de ce tonnage peut supporter les amortissements des coûts d'aménagement (126 K€/an) et d'achat (120 K€/an ?) d'un site autonome.
 - **10 500 t/an, 5 fours**, 100 % de la capacité, investissement technique = 4 690 K€. Résultat brut (hors immobilier) = **1574 K€/an à 250 €/t** → **(1784 K€/an à 270 €/t)**. On voit (page 120) que le résultat de ce tonnage peut supporter les amortissements des coûts d'aménagement (133 K€/an) et d'achat (150 K€/an ?) d'un site autonome.
- **La technologie à circulation de gaz chaud, avec cogénération d'électricité. « CARBONEX », R = 22 %.**

Pages 40, 41, 78, 79, 119, 122 à 125.

Dans les technologies précédentes la majorité de l'énergie thermique des pics de dégagement de fumée est perdue.

Le procédé « CARBONEX » valorise la totalité de ces fuites thermiques en produisant de l'électricité.

Cette technologie qui fonctionne depuis 2012, produit 10 000 t/an de charbon de bois et 25 000 MWh/an d'électricité (3 MW, 4000 foyers Français), et plusieurs autres installations sont réalisées ou en cours de réalisation avec le soutien du Ministère de la Transition Écologique Français (La CRE, Commission de Régulation de l'Énergie).

Elle a été démonstrateur Greentech aux salons des solutions bas carbone des COP 21 et 23.

Ce process industriel est un modèle idéal de la valorisation de la biomasse. Il atteint un rendement énergétique de 64 % soit une optimisation de 26 % par rapport aux meilleurs process de carbonisation et il bénéficie de toutes performances de la technologie précédente.

Mais l'amortissement de l'investissement technique impose une échelle de capacité de production de l'ordre de 10 000 t/an de charbon de bois et de 3 MW électrique.

L'investissement technique de 23 millions d'Euros, avec un temps de retour sur investissement de 11 à 12 ans (dans les conditions du projet et à un taux d'actualisation de 5%. Cf. page 95).

Dans les conditions du projet, **la rentabilité de la technologie est extrêmement élevée.**

Cet investissement dans l'électricité verte doit aussi être considéré comme une substitution à l'installation d'une nouvelle centrale thermique au gaz qui aurait nécessité un investissement de l'ordre de 3 à 4 millions d'Euros et qui dégagerait 10 000 t/an de CO₂ fossile.

La technologie « CARBONEX » avec « Cogénération de Charbon de bois et d'Électricité » est la meilleure solution industrielle pour la valorisation des volumes de déchets bois des grands pôles industriels de la transformation du bois.

Pour 10 000 t/an de charbon de bois et 25 000 MWh/an d'électricité, elle correspond à la valorisation des déchets d'un pôle industriel du bois d'un équivalent de 123 000 m³ de grumes sciées. Par exemple, ce volume est disponible à Port Gentil en mutualisant la valorisation des déchets des deux usines « CBG » et « CoraWood » ou dans les ZES telles que Nkok (Libreville) ou prochainement à Kribi (Cameroun).



Exemple de résultat économique (page 119) :

- **10 000 t/an de charbon de bois et 25 000 MWh/an d'électricité.**
Investissement technique = 23 980 K€. L 140
Résultat brut (hors achat site), au prix de vente électricité de 70 €/MWh,
 - o **1 849 K€/an à 250 €/t de charbon, retour sur investissement de 12 ans,**
 - o **2 049 K€/an à 270 €/t de charbon, retour sur investissement de 11 ans.**Pour un taux (t) d'actualisation du capital investi de 5 %.

- **La technologie carbonisation en continu « Gaurus Technologie », R = 22 %.**

Pages 43, 80, 81, 107, 117.

Chaque unité coûte environ 1 800 K€ rendu en Afrique Centrale (page 80), pour une capacité de production de 4500 t/an (Ratio d'investissement process = 400 €/t de capacité de production).

L'évolutivité de la capacité de production se fait par tranche de 4500 tonnes/1800 K€ process.

Cette technologie est constituée d'un four vertical alimenté, en partie supérieure, par un skip de chargement du bois. Le bois est carbonisé de façon continue lors de son transit par gravité vers le bas du four.

L'humidité du bois est un paramètre sensible à prendre en compte car l'unité n'intègre pas de système de préséchage des bois.

En Europe l'unité est complétée par un système de valorisation de certains composés chimiques contenus dans les fumées. Les goudrons et huiles végétales obtenus sont commercialisés par une filiale de Gaurus, auprès de clients de l'industrie chimique pour une recette supplémentaire de l'ordre de 200 K€/an.

La technologie en continu présente toujours un risque de reprise de feu lors du défournement. Le manque d'informations précises sur de nombreux paramètres de production (cf. page 60) ne nous permet pas de compléter les informations générales que nous avons.

Bien qu'il soit très peu diffusé (une très grande unité en Allemagne, 2 anciennes unités récemment arrêtées en France, et les 2 nouvelles unités de 9000 t/an de Lituanie et de Biélorussie) ce type de four fonctionne depuis longtemps dans les pays occidentaux.

Chaque unité de 4 500 t/an de capacité de production peut valoriser les déchets bois d'une scierie qui transforme 56 000 m³/an.

La technologie en continu « Gaurus » est une adaptation récente de techniques industrielles très expérimentées, mais l'entreprise qui développe le process ne désire pas communiquer plus d'informations techniques que celles du site internet.

L'histoire industrielle du charbon de bois montre que ce type de technologique présente de bonnes potentialités, c'est la raison pour laquelle nous la maintenons parmi les technologies présentées.

- **4 500 t/an**, 1 fours, investissement technique = 2 410 K€.
Résultat brut (hors immobilier) = **450 K€/an à 250 €/t** → **(540 K€/an à 270 €/t)**.
On voit (page 107) que le résultat de ce tonnage peut supporter les coûts d'aménagement (80 K€/an) et d'achat (60 K€/an ?) d'un site autonome.

- **9 000 t/an**, 2 fours, investissement technique = 4 330 K€.
Résultat brut (hors immobilier) = **1340 K€/an à 250 €/t** → **(1520 K€/an à 270 €/t)**.
On voit (page 117) que le résultat de ce tonnage peut supporter les coûts d'aménagement (100 K€/an) et d'achat (120 K€/an ?) d'un site autonome.



CONCLUSION :

L'évolutivité des capacités de production de charbon de bois n'est techniquement pas possible, de façon continue avec le même process, sur toute l'étendue des volumes de sciage des industries ou pôles bois qui existent.

141

Une rupture technique existe autour de 40 000 à 45 000 m³/an de sciage.

De 7 000 m³/an jusqu'à 44 000 m³/an de grumes sciées (maximum : 3 200 t/an de charbon de bois), 2 technologies cornue sont adaptées :

- **La technologie cornue « Green Eco Furnace », (R = 20 %)**

L'investissement process est de 240 K€ pour une capacité de production de 500 t/an. Cette technologie est uniquement adaptée aux scieries à 7000 m³/an de grumes sans évolutivité à la hausse, soit une capacité de 500 t/an de charbon de bois. (Page 136)
Au delà, il faut s'orienter vers les « Cornues MC » qui sont équipées d'un système de préséchage du bois et de conteneurs de bois plus volumineux (ce qui diminue sensiblement le nombre de manutentions).
L'utilisation de bois secs est impérative pour conserver une bonne productivité.

- **La technologie cornue « MC », (R = 20 %)**

Cette technologie est la plus adaptée pour les scieries jusqu'à 44 000 m³/an de grumes, soit 3200 t/an de charbon de bois.
L'évolutivité se fait par paliers de 800 t/an de charbon de bois et 320 K€ d'investissement process (Page 135).
Le séchage du bois est amélioré par un système dédié, intégré au process, mais il est insuffisant avec des bois très humides. Il faudra présécher à l'air libre quelques mois.

Pour dégager une bonne rentabilité dans cette gamme de capacité de production, il faut que le projet soit implanté sur un site mis à disposition par la scierie, afin d'éviter une partie des investissements d'acquisition et d'aménagement immobiliers.

Au-delà de 3200 t/an de charbon de bois, la technologie cornue n'est plus adaptée, elle doit laisser la place à des technologies à meilleur rendement et qui optimisent de nombreux paramètres tels que : l'organisation des flux matières et du travail, la sécurité de la productivité, la maîtrise des températures et des temps de carbonisation (potentialité charbon actif) et la conformité rigoureuse des rejets atmosphériques.

A partir de 43 500 m³/an de grumes sciées, soit 3 500 t/an de charbon de bois, il y a 3 technologies industrielles expérimentées:

- **Le four en continu « Gaurus Technologie », (R = 22 %)**

Ce process a une capacité de production nominale de 4500 t/an.
L'évolutivité de capacité de production n'est pas progressive, elle se fait par palier de 4 500 t/an et 1 800 K€ d'investissement process. (Page 140)
Ce process est rentable pour sa production de 4 500 t/an de charbon de bois adaptée aux scieries à 55 600 m³/an de grumes transformées.
Toutefois l'utilisation de bois secs est impérative pour conserver une bonne productivité.
Le doublement de sa capacité de production à 9 000 t/an est une bonne solution technique pour les pôles bois à 111 000 m³/an de sciage.



- **Les fours « Bruni/Cirad/Sidenergie » à circulation de gaz chaud. (R = 22 %)**

Ils sont rentables pour des scieries à partir de 43 500 m³/an, (capacité de production minimum : 3 500 t/an de charbon de bois). (Pages 137, 138)

La rentabilité augmente significativement avec la capacité de production.

L'évolutivité se fait par paliers de 2 100 t/an de charbon de bois pour 690 K€ d'investissement process.

Cette technologie peut dépasser 10 500 t/an de production de charbon de bois.

Sa productivité est indépendante de l'humidité des bois.

C'est une excellente technologie, mais pour de très importants pôles bois à partir de 100 000 m³/an de grumes sciées, il faut privilégier l'investissement dans la cogénération d'électricité « Carbonex » pour valoriser les énormes quantités d'énergie non utilisées (perdus) qui sont produites par l'épuration des fumées.

- **Le process à circulation de gaz chaud « Carbonex avec Cogénération d'Électricité »**

Cette technologie est adaptée à des pôles bois à partir de 100 000 m³/an.

Pour la valorisation des déchets 123 000 m³/an de sciage, elle produit 10 000 t/an de charbon de bois et 25 000 MWh/an d'électricité verte, pour un investissement process de 23 millions d'Euros. (Page 139)

C'est la Meilleure Technologie Disponible pour l'optimisation de la valorisation de la biomasse matière première, elle atteint le rendement énergétique exceptionnel de 64 % au lieu de 50 % pour la carbonisation seule.

Cette filière « Innovante/Greentech/Expérimentée » est très rentable et malgré des investissements importants, son temps de retour sur investissement est de 11 ans avec un taux d'actualisation à 5 % (en intégrant l'investissement immobilier de l'aménagement du site).

Grâce à sa très bonne rentabilité, c'est la technologie d'avenir pour les grandes capacités de production.

Volume de Sciage m ³ /an	Tonnage de Déchet brut à 38 % (H ₂ O)	Production de Charbon de bois	Technologie Adaptée
7 000 m ³	3 300 t/an	500 t/an. R = 20%	Cornues «MC » et « Green Eco »
21 000 m ³	9 700 t/an	1 500 t/an. R = 20%	Cornues «MC »
41 000 m ³	19 400 t/an	3 000 t/an. R = 20%	Cornues «MC »
48 000 m ³	22 600 t/an	3 500 t/an. R = 20%	Cornues «MC »
43 500 m ³	20 700 t/an	3 500 t/an. R =22%	Circulation de gaz chauds « Bruni/Cirad/Sidenergie»
55 600 m ³	26 500 t/an	4 500 t/an. R =22%	« Bruni/Cirad/Sidenergie» et four en continu « Gaurus »
69 000 m³ «CBG »	33 000 t/an	5 600 t/an. R =22%	Circulation de gaz chauds « Bruni/Cirad/Sidenergie»
78 000 m ³	37 000 t/an	6 300 t/an. R =22%	Circulation de gaz chauds « Bruni/Cirad/Sidenergie»
105 000 m ³	49 800 t/an	8 500 t/an. R =22%	« Bruni/Cirad/Sidenergie» et fours en continu « Gaurus »
123 700 m ³	58 700 t/an	10 000 t/an. R =22%	Cogé Électricité « CARBONEX » et « Bruni/Cirad/Sidenergie»



▪ **La production de charbon de bois durable impose un investissement dans des équipements modernes.**

L'important volume des déchets bois, non valorisés, de l'industrie de la transformation du bois est un gisement de matière première d'une grande valeur énergétique qui présente un fort potentiel économique.

La disponibilité gratuite de ces milliers de tonnes déchets, regroupés dans les cours des scieries, est une aubaine pour la filière de valorisation par carbonisation.

Comme pour les produits finis commercialisés par la filière bois, ces déchets connexes ont bénéficié de nombreuses opérations techniques et coûteuses : la dynamique et les efforts de la création d'une entreprise forestière, la gestion durable des forêts, les opérations du prélèvement forestier, les transports terrestres et fluviaux et une première transformation.

Pour CBG, ce sont 40 ans d'acquisition de compétence en amélioration continue, 650 salariés et de nombreuses collaborations (WWF, Smithsonian Institute, Ministère des forêts, COMIFAC, organismes certificateurs...).

La valorisation de ces volumes de déchet bois (60 % des grumes prélevées) est donc une préoccupation d'optimisation économique des efforts engagés pour les dirigeants d'entreprise, de plus dans le cadre de la gestion durable (mise en œuvre par CBG), c'est aussi devenu un enjeu d'optimisation de l'usage des matières premières prélevées dans le milieu naturel.

La valorisation énergétique durable de ces bois déjà prélevés, débités, regroupés et disponibles, se substitue à la dégradation ou à la déforestation de milliers d'hectares de forêt transformée en bois énergie.

Le projet « industriel durable » de valorisation/carbonisation des déchets bois impose l'utilisation de technologies propres qui permettent de bonnes conditions de travail et de rémunération et qui doivent être performantes pour valoriser au mieux la biomasse prélevée. Ces technologies demandent un certain volume d'investissement, et il n'y a pas de moyen terme :

- Soit on investit dans l'épuration des fumées en récupérant son énergie thermique pour obtenir de bons rendements de carbonisation (bonne valorisation du bois),
- Soit on n'investit pas dans ces équipements et la pollution de l'air est intense (dégagement de 400 Kg de goudrons et de gaz polluants par tonne de bois carbonisé) et les rendements sont très faibles (consommation de 1500 Kg de bois au lieu 1000 Kg pour faire 220 Kg de charbon de bois).

Ce volume d'investissement nécessaire est un handicap à la décision d'investir dans ce projet. En effet les industriels du bois hésitent à investir dans une filière qui, jusqu'à présent, a été considérée comme rétrograde et peu rémunératrice.

▪ **Les prises de conscience environnementales sont très favorables au marché Européen du charbon de bois durable.**

L'étude de marché pour « la commercialisation de charbon de bois durable fabriqué à partir des rebuts de l'industrie du bois d'Afrique Centrale » a démontré que les nouvelles prises de consciences environnementales donnent :

Une valeur ajoutée améliorée et orientée à la hausse, pour la commercialisation en Europe d'un charbon de bois muni de certifications durables robustes.



Ces mêmes prises de conscience environnementales, sur les limites de la disponibilité des ressources, mettent en valeur la nécessité et l'intérêt de valoriser les déchets et en particulier de développer la valorisation énergétique des déchets biomasse.

Les combustibles biomasse ne sont plus considérés comme appartenant au passé. Les énergies biomasse, KWh thermiques et KWh d'électricité biomasse, font partie du panel des énergies renouvelables du futur.

Les objections qui tendent à déconsidérer les «Projets Charbon de bois» disparaissent progressivement.

Une des technologies proposée dans l'étude technique a été cooptée comme démonstrateur Greentech aux salons des solutions bas carbone des COP 21 et 23.

▪ **La carbonisation des rebuts de l'industrie durable du bois : Une filière très rentable.**

L'étude technique pour la recherche de process performants, durables et rentables a travaillé dans le cadre du prix imposé par le marché Européen.

Le prix de 420 €/t, rendu à la porte de l'usine de l'importateur Européen, peut être réparti sur les deux postes : Fabrication et Transit.

Les analyses de l'étude sont basées sur des prix confirmés par l'expérience des professionnels :

- On peut réserver 170 €/t maximum pour le transport, soit 40 % de la valeur « rendu ».
- On doit produire à 250 €/t, soit 60 % de la valeur « rendu ».

Pour respecter le seuil maximum du prix de transport, il faut implanter les projets à proximité immédiate des ports d'exportation, pour s'affranchir des difficultés et des surcoûts du transport régional. (Port Gentil, Kribi, Nkok, Pointe Noire...)

Comme pour toutes les productions de « produits primaires », la valeur ajoutée à la tonne reste faible et dans ce type de production « les économies d'échelle » ont une grande incidence sur la rentabilité.

L'analyse des différentes technologies configurées pour chacune des capacités de production envisageables montre (pour 250 €/t sortie usine) :

- **Une excellente rentabilité pour les projets importants, à partir de 3 500 t/an de charbon de bois (scieries au dessus de 43 000 m³/an de grumes sciées).**
- **Pour les projets plus modestes, inférieurs au traitement des déchets des scieries à 43 000 m³/an, ils conservent une bonne rentabilité à la condition d'être hébergés sur le site de la scierie, afin de d'éviter une grande partie des investissements immobiliers d'acquisition et d'aménagement du site.**

La technologie « Carbonex » avec cogénération d'électricité est adaptée aux grands pôles des industries du bois, sa très bonne rentabilité permet aussi d'envisager la création et l'entretien d'une plantation industrielle comme source d'approvisionnement.



▪ **Les intérêts « Économiques et Environnementaux » convergent :
Cette filière a tous les atouts pour se développer en Afrique Centrale.**

L 145

La majorité des tentatives antérieures de modernisation de la filière du charbon de bois en Afrique Centrale ont échoué pour des raisons de prix de vente très bas et de prix de transport très élevés. C'est le frein majeur à l'écologisation de la chaîne de valeur du charbon de bois en Afrique Centrale.

Ce projet « CBG/PPECF » s'est positionné en marge de la problématique générale.

Il est concentré sur la carbonisation des déchets bois connexes aux industries du bois situées, de façon privilégiée, près des ports d'exportation pour faciliter une commercialisation ciblée sur l'Europe.

Ce positionnement restrictif du projet représente probablement un ordre de grandeur de 100 000 t/an de capacité potentielle de production de charbon de bois durable. (Équivalent à 1 million de t/an de réduction d'émission de CO₂)

C'est ce cadre spécifique qui permet d'avoir de très bonnes rentabilités avec les meilleures technologies. La conjonction :

- Des prises de consciences environnementales (qui portent le prix Européen du charbon de bois durable à la hausse),
- Avec la mise au point de technologies non polluantes à bon rendement et rentables,
- Et la mise à disposition gratuite d'une matière première durable, débitée et regroupée est extrêmement favorable à la création, à la rentabilité, au développement et à la pérennité de cette filière industrielle spécifique. Le modèle peut être dupliqué dans d'autres régions.

Les preuves de la pertinence du projet et de sa rentabilité étant acquises, le seul frein réel à sa mise en œuvre pourrait provenir de la difficulté, pour les directions des entreprises du bois, de prendre la décision de s'approprier un nouveau métier industriel et d'investir dans un secteur qui est en marge de leur cœur de métier habituel.

Nous espérons avoir apporté les éléments nécessaires, convaincants et réalistes, pour entraîner des prises de décision positives, par les non spécialistes du charbon de bois.

Pendant l'étude nous avons rencontré certains gros importateurs Européens qui sont ouverts à des partenariats financiers pour investir dans la filière.

Tous les éléments sont en faveur du lancement de ce modèle de carbonisation des déchets bois abandonnés : hormis la communication environnementale vertueuse qui peut être faite autour du projet pour lever des financements, il est très important de souligner que « ce recyclage du déchet augmente l'Excédent Brut d'Exploitation » (EBE) de la scierie :

- De 5 €/m³ de grume entrant pour les scieries à 41 000 m³/an,
- De 7 ou 8 €/m³ de grume entrant pour les scieries pour 69 000 m³/an,
- De 10 €/m³ de grume entrant pour les pôles bois à 100 000 m³/an.
- Et de 14 €/m³ de grume entrant avec le procédé « Carbonex » installé dans un pôle bois à 123 000 m³/an.

A notre avis les performances financières annoncées ont toutes les chances d'être améliorées par des coûts réels de transport plus bas, par des prix de vente à la hausse ou/et par la possibilité de production de charbon actif.



SIDMARINE/SIDENERGIE



ANNEXES. ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNOLOGIQUE

Annexe 0 - « UNE ÉNERGIE ÉCO-RESPONSABLE, NEUTRE EN CARBONE ».....	148
Annexe 1 - REMARQUES SUR LES RENSEMEMENTS DE CARBONISATION.....	150
Annexe 2 - LE CHARBON ACTIF : UNE POTENTIALITÉ DE DÉVELOPPEMENT.....	151
Annexe 3 - LETTRE DE SOUTIEN FSC.....	152
Annexe 4 - NORME CHARBON DE BOIS : NF EN 1860-2.....	154
Annexe 5 - ANALYSE DE CHARBON DE BOIS (Fours à circulation de gaz).....	157
Annexe 6 - TESTS, METHODS AND CRITERIA RELATING CLASS 4.2 IMDG.....	159
Annexe 7 - GUIDELINES FOR CARRIAGE OF CHARCOAL IN CONTAINERS DOCUMENT TRANSPORT MARITIME.....	162
Annexe 8 - CODE DE L'ENVIRONNEMENT DU GABON.....	168
Annexe 9 - ÉTUDE ADÈME, PROJET « CML » CHARBON DE BOIS MAYOTTE.....	175
Annexe 10 - PLAN D'AMÉNAGEMENT DE LA CFAD MANDJI DE CBG CERTIFICATIONS DE CBG.....	178
Annexe 11 - ÉTUDE « PLANTATIONS/CHARBON DE BOIS/COGÉ/ÉLECTRICITÉ ».....	181
Pour le ProNAR du Ministère de l'Économie Forestière, Rép. Du Congo	



Annexe - 0

PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS TROPICAL CERTIFIÉ FSC 100%

« UNE ÉNERGIE ÉCO-RESPONSABLE, NEUTRE EN CARBONE

Soutien de PPECF/COMIFAC/KfW

« Projet de CBG - Port Gentil – Gabon »

L 148

« COMMENTAIRE SUR LA VALEUR ENVIRONNEMENTALE DU PROJET » NOTE POUR DES PARTENAIRES DANS UN PROJET ÉNERGÉTIQUE INNOVANT ET ÉCO-RESPONSABLE

Le projet industriel CBG/COMIFAC produira un combustible moderne et durable c'est-à-dire :
Une énergie d'avenir, neutre en carbone, qui fait partie du bouquet des énergies renouvelables du futur.

Le classement dans « le panel énergétique durable du futur » de ce « combustible traditionnel », probablement apparu il y a 400 000 ans, est parfaitement argumenté par les spécialistes scientifiques et énergéticiens.

La forêt est un gisement d'énergie considérable.

- **Poids de la biomasse-énergie dans le panel énergétique mondial.**

La moitié des prélèvements forestiers mondiaux contribuent aux besoins énergétiques de l'économie globale.

Les statistiques de l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA) montrent que 8,5% de l'énergie primaire consommée par la planète est fournie par la ressource forestière, dont 17% est convertie en charbon de bois.

- **Poids économique global du charbon de bois.**

Ce charbon de bois perçu comme un combustible archaïque est en fait un véritable secteur économique mondial. Les 57 millions de tonnes produites en 2018 représentent l'équivalent énergétique de 60 réacteurs nucléaires de 1000 MW.

Pour une valeur sortie usine à 250 €/t, ce secteur représente 17 milliards de dollars.

- **De puissantes initiatives de productions industrielles de charbon végétal neutre en carbone.**

Dans la sidérurgie Brésilienne 8 millions de t/an de charbon de bois se substituent au charbon minéral fossile nécessaire à la production d'acier. En partenariat avec la recherche de nombreux sidérurgistes, dont Vallourec, innovent dans des productions industrielles éco-responsables bénéficiant des meilleures technologies disponibles et qui peuvent atteindre des capacités de production de 50 000 t/an.



« L'exploitation forestière durable » est une mine « d'énergie décarbonée ».

- **L'exploitation de la forêt durable est neutre carbone.**

La « neutralité carbone de l'usage énergétique de la biomasse » est garantie lorsqu'elle est prélevée dans des massifs forestiers gérés durablement, ce qui signifie sur le plan climatique que la gestion de l'exploitation forestière maintient le volume du puits de carbone forestier dans son état initial.

Pour recréer la même quantité de biomasse, la régénération du couvert forestier de 2^{ème} génération va capter, par assimilation chlorophyllienne, la même quantité de CO₂ que celle dégagée par la combustion de la biomasse de 1^{ère} génération.

L'arbre capte 1,46 kg de CO₂ pour la croissance de 1 kg de bois. ($6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$).

- **Le « charbon de bois durable » : un acteur indispensable au panel des énergies renouvelables.**

La FAO dans sa synthèse 2017 "The Charcoal Transition – Greening the charcoal value chain to mitigate climate change..." développe et recommande cette nouvelle approche et la COMIFAC dans la "Prospective 2040 pour les Écosystèmes Forestiers d'Afrique Centrale" déclare :

« Il faut apprendre à réfléchir la biomasse énergie en équivalent MWh et sortir d'une vision passéiste (bois énergie : sale, peu efficace, polluant) encore trop largement répandue, en particulier dans les classes dirigeantes ». Cf. rapport final EFBC 2040 page 86.

- **Confusion entre « charbon de bois durable décarboné » et « charbon fossile acteur du changement climatique ».**

Sur le plan de la promotion des technologies en faveur de la réduction du changement climatique, la confusion entre un « charbon de bois durable » et le « charbon minéral d'origine fossile », porte préjudice au développement de cette composante fondamentale du bouquet des énergies renouvelables du futur.

La combustion de 1 kg de « charbon fossile » émet 3,66 kg de CO₂, elle participe à l'effet de serre donc au réchauffement climatique.

A l'opposé, la combustion de 1 kg de « charbon de bois durable », n'émet pas de CO₂, elle est totalement neutre vis-à-vis du climat ; d'autre part au-delà de sa neutralité carbone, le développement de la filière « charbon de bois durable » représente un potentiel considérable de réduction d'émission de gaz à effet de serre en se substituant à des énergies conventionnelles fossiles ou en se substituant à la biomasse énergie issue de la déforestation.

10 000 tonnes de charbon de bois durable substituées à des combustibles fossiles réduisent de 50 à 90 000 tonnes les dégagements de CO₂.

Conclusion : Un projet innovant et rentable dans le secteur de l'énergie décarbonée.

L'étude de marché du projet démontre que le marché Européen est demandeur de plusieurs centaines de milliers de tonnes de charbon de bois certifié durable et qu'il est déterminé à payer le léger surcoût de la durabilité.

Comme au Brésil, où de nouveaux concepts de production industrielle durable de charbon de bois sont mis en œuvre (sauvegarde environnementale du couvert forestier et optimisation énergétique et environnementale des process de fabrication), le projet de CBG soutenu par le programme de Promotion de l'exploitation Certifiée des Forêts de la COMIFAC (recommandation FAO) et par le FSC, met en œuvre les meilleures avancées technologiques d'optimisation énergétique pour transformer un gisement de 30 000 t/an de biomasse certifiée durable, non valorisée .



Annexe - 1

Remarque sur les rendements de carbonisation.

L 150

Ce point est nécessaire car les rendements déclarés par la littérature ou par les fabricants de matériel manquent souvent de précision du fait d'une définition floue du taux d'humidité du bois matière première.

Le bois anhydre contient 50 % (en masse) de carbone.

Durant une carbonisation le carbone initial du bois prend deux voies possibles :

- Une combinaison gazeuse avec l'hydrogène et l'oxygène du bois pour former la multitude de chaînes carbonées qui constituent les gouttelettes d'aérosol et les gaz incondensables qui composent les fumées (à fort pouvoir calorifique),
- Une fraction solide de carbone dans l'enceinte de carbonisation, qui constitue la production de charbon de bois recherchée.

Le rendement maximum de carbonisation sous pression atmosphérique en laboratoire sur du bois anhydre est de 30 % (Études Cirad, Guide biomasse énergie), le reste du carbone initial part dans les fumées.

1000 Kg de bois anhydre contiennent 500 Kg de carbone qui donnent par carbonisation :

- 300 Kg de charbon et
- des fumées qui contiennent 200 Kg de carbone.

Un rendement de 30 % sur bois anhydre = rendement de 24 % sur du bois à 20 % d'humidité,
= rendement de 18 % sur du bois à 38 % d'humidité.

On constate que les rendements de carbonisation des « technologies en continu et à circulation de gaz chaud » de 22 % sur du bois à 20 % d'humidité sont très proches des conditions optimales de laboratoire.



Annexe - 2

« LE CHARBON ACTIF » UNE POTENTIALITÉ DE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE

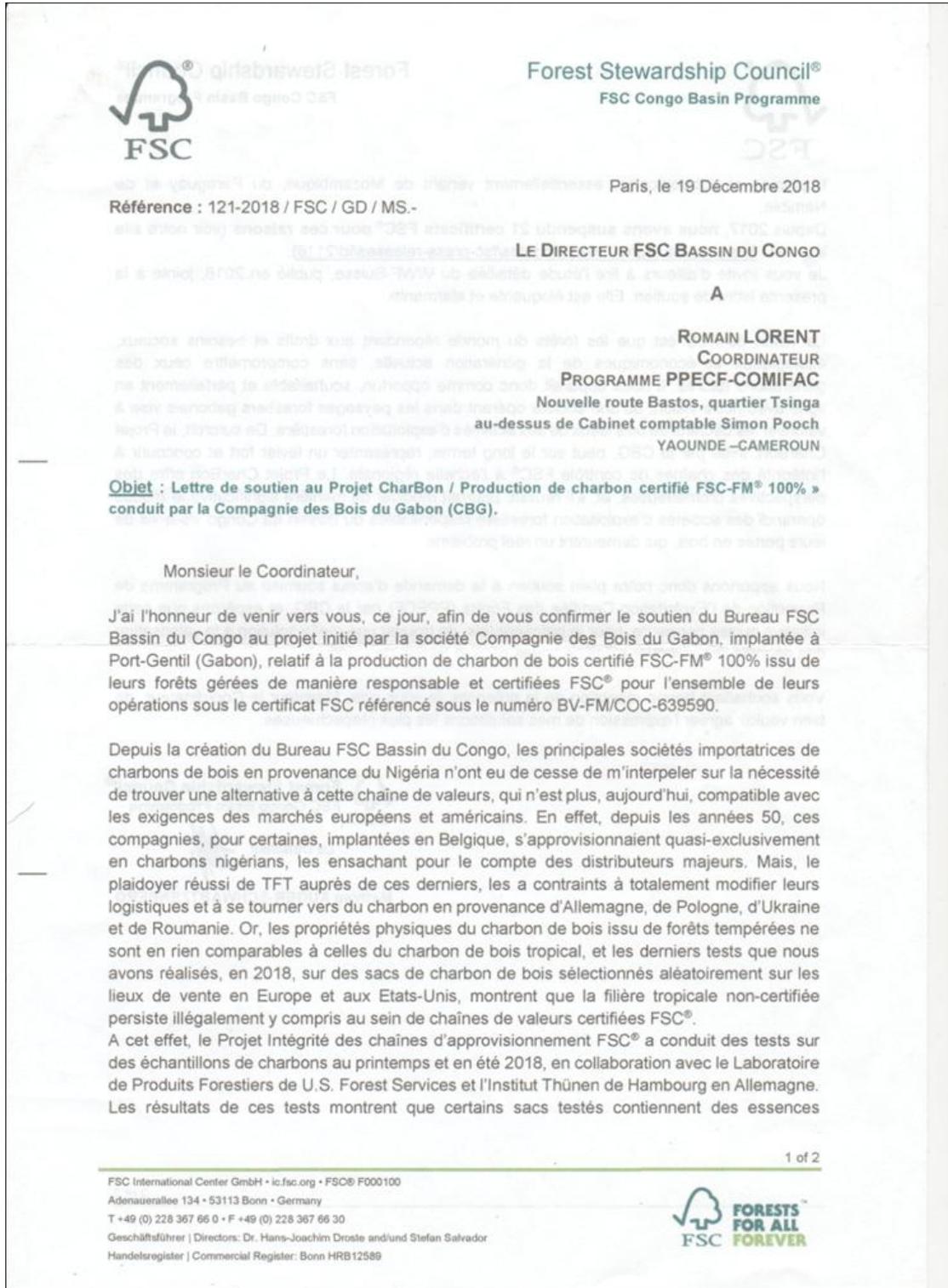
151

- Le charbon actif est un produit, très poreux, utilisé pour ses propriétés d'adsorption d'ions, de molécules (de grosseurs, de polarités, de natures différentes), et/ou d'organismes microbiologiques. Les applications du charbon actif sont très variées et à chaque usage (épuration d'effluents gazeux ou liquides, dépollution de sols, potabilisation de l'eau, purification d'un produit, extraction d'un produit, catalyse) correspond un type de charbon actif donné.
- Le charbon actif se caractérise principalement :
 - par ses propriétés physico-chimiques : porosité (micro, méso, macro pores), surface spécifique, capacité d'adsorption
 - et par son mode de conditionnement : poudre, paillettes, granulés, cartouches.
- C'est un produit dont la demande ne cesse de croître dans l'industrie de l'environnement (assainissement des eaux, dépollution des effluents liquides et gazeux, décontamination de sols, etc.). Ce marché, en très forte croissance, est favorable au développement de cette activité. Les interlocuteurs commerciaux sont des PME innovantes fabriquant des process de filtration, pour lesquels « la synergie de mise au point produit », avec leur fournisseur de charbon actif, est très importante.
- L'étude de faisabilité technique réalisée en 2002 par Sidenergie avec le soutien financier de l'ANVAR (Agence Nationale de Valorisation de la Recherche, France) conclut à la possibilité de développer une méthode de production adaptée à une petite structure industrielle : « l'activation à la vapeur d'eau » du charbon de bois obtenu dans les fours à brassage de gaz chauds .
- **Cette production qui repose sur une deuxième transformation du charbon de bois obtenu, peut être envisagée dans une phase ultérieure de développement de l'entreprise.**
Elle nécessitera l'acquisition de réelles compétences de chimie indispensables à la production, à la caractérisation en laboratoire interne des produits obtenus et à leur commercialisation auprès des acteurs de la filtration industrielle.
- **Pour des usages régionaux de potabilisation d'eau, on peut aussi envisager l'utilisation d'« un charbon de bois cuit à haute température »** dans les mêmes fours, qui développe déjà de bonnes qualités d'adsorption de bactéries sans activation ultérieure.
La commercialisation régionale de ce charbon facile à produire, serait une des solutions recherchées vis-à-vis de l'enjeu de santé publique : la potabilisation de l'eau.

Mais c'est un marché difficile à créer dans le contexte économique régional



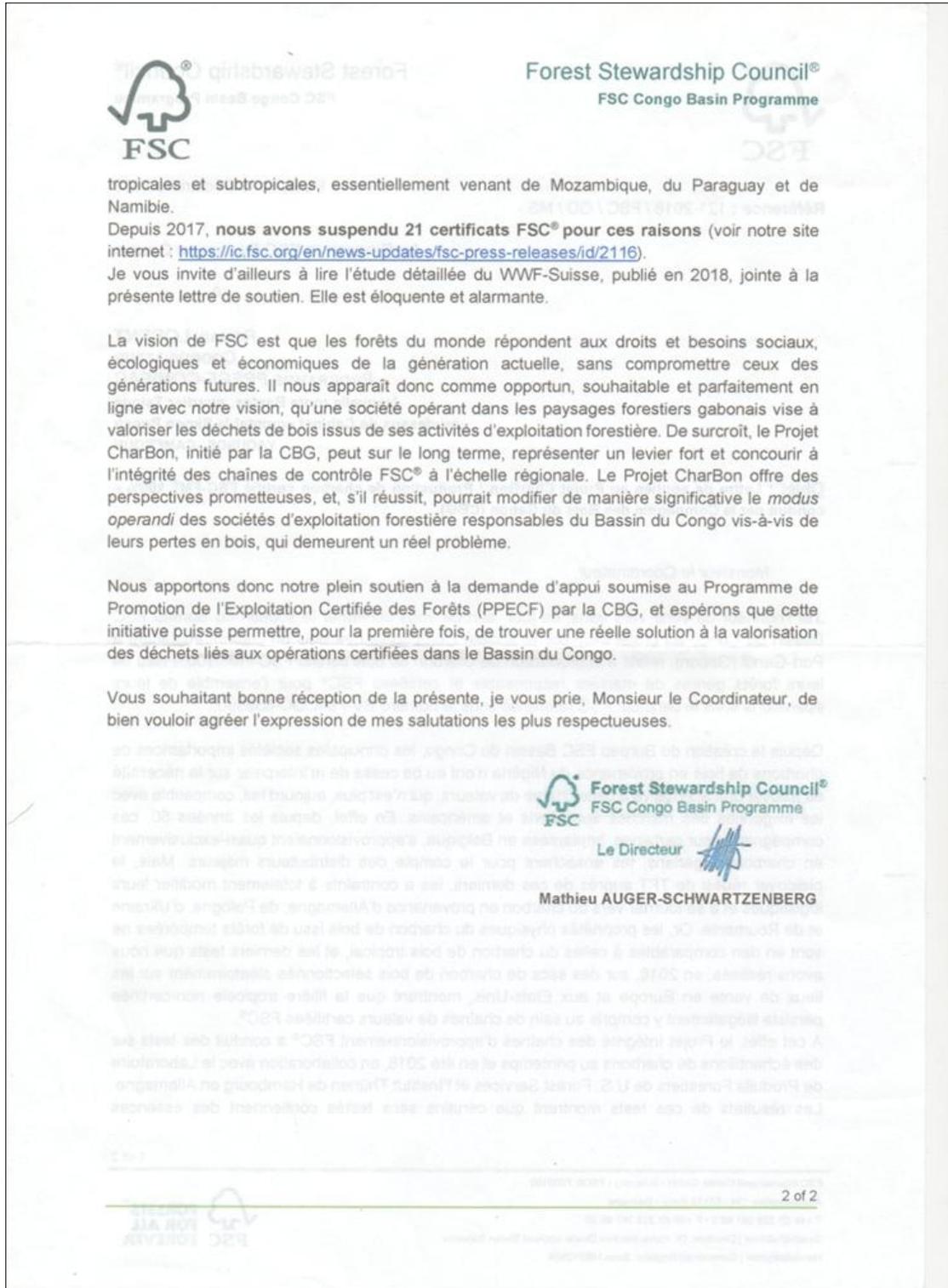
Annexe - 3



ANNEXE 2 - LETTRE DE SOUTIEN FSC PAGE 1



Annexe - 3



ANNEXE 1 - LETTRE DE SOUTIEN FSC PAGE 2



Annexe - 4

www.afnor.org

DOCUMENT PROTÉGÉ PAR LE DROIT D'AUTEUR

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacteur :
AFNOR - Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

NF EN 1860-2

Jun 2005

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients Normes en ligne. Toute mise en réseau, reproduction et redistribution, sous quelque forme que ce soit, même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR Webshop (Standards on line) customers. All network exploitation, reproduction and re-dissemination, even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.

Boutique AFNOR
Pour : SIDENERGIE
Client 51010528
Commande N-20091213-379506-TA
le 13/12/2009 12:52

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur
Distributed under licence of the publisher



Annexe - 4

Boutique AFNOR pour : SIDENERGIE le 13/12/2009 12:52 NF EN 1860-2:2005-06

FA040377 ISSN 0335-3931

norme européenne **NF EN 1860-2**
norme française **Juin 2005**

Indice de classement : D 37-101-2

ICS : 75.160.10 ; 97.040.20 ; 97.200.30

**Appareils, combustibles solides
et allume-barbecue pour la cuisson
au barbecue**

**Partie 2 : Charbon de bois et briquettes de charbon de bois
pour barbecue — Exigences et méthodes d'essai**

E : Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing — Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes — Requirements and test methods
D : Geräte, feste Brennstoffe und Anzündhilfen zum Grillen — Teil 2: Grill-Holzkohle und Grill-Holzkohlebriketts — Anforderungen und Prüfverfahren

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 mai 2005 pour prendre effet le 5 juin 2005.
Remplace la norme homologuée NF B 55-101, de septembre 1984.

Correspondance La Norme européenne EN 1860-2:2005 a le statut d'une norme française.

Analyse Le présent document spécifie les exigences et les méthodes d'essai relatives au charbon de bois et aux briquettes de charbon de bois pour barbecue.

Descripteurs **Thésaurus International Technique** : dispositif de cuisson, barbecue, combustible solide, charbon de bois, définition, exigence, échantillonnage, essai, volume, humidité, cendre, matière volatile, granulométrie, marquage.

Modifications Par rapport au document remplacé, adoption de la norme européenne.

Corrections Par rapport au 1^{er} tirage, modification de la traduction française de la définition 3.1.
Par rapport au 2^e tirage, correction du terme «pour» par «ou» de la définition 3.1.

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, avenue Francis de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex
Tél. : + 33 (0)1 41 62 80 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.fr

© AFNOR 2005 AFNOR 2005 3^e tirage 2008-07-F



Annexe - 4

Boutique AFNOR pour : SIDENERGIE le 13/12/2009 12:52

NF EN 1860-2:2005-06

Page 6
EN 1860-2:2005

4 Exigences

4.1 Généralités

Le charbon de bois et les briquettes de charbon de bois imprégnés doivent satisfaire aux exigences relatives aux non imprégnés ainsi qu'à celles de l'EN 1860-3.

4.2 Exigences pour le charbon de bois de barbecue

4.2.1 Carbone fixe

Le carbone fixe sur charbon de bois sec, calculé selon 6.4, doit être au minimum de 75 % en masse.

4.2.2 Cendres

La teneur en cendres du charbon de bois sec ne doit pas dépasser 8 % lorsque l'essai est effectué selon 6.3.

4.2.3 Humidité totale

La teneur en humidité totale du charbon de bois de barbecue ne doit pas dépasser 8 %, lorsque l'essai est effectué selon 6.1.

4.2.4 Granulométrie

La dimension des morceaux de charbon de bois de barbecue doit être comprise entre 0 mm et 150 mm :

- pas plus de 10 % de granulés ne doivent être de dimension supérieure à 80 mm ;
- au moins 80 % de granulés doivent être supérieurs à 20 mm ;
- les granulés de 0 mm à 10 mm ne doivent pas dépasser 7 %.

Les essais doivent être effectués conformément à 6.6.

4.2.5 Matières volatiles

Les matières volatiles doivent être testées pour déterminer le carbone fixe, mais aucune valeur n'est définie comme minimum ou maximum.

4.2.6 Densité de vrac

La densité de vrac doit être d'au moins 130 kg/m³.

4.3 Exigences pour les briquettes de charbon de bois de barbecue

4.3.1 Carbone fixe

Le carbone fixe exprimé sur la matière sèche des briquettes de charbon de bois de barbecue doit être au minimum de 60 %, calculé selon 6.4.

4.3.2 Cendres

La teneur en cendres exprimée sur la matière sèche des briquettes de charbon de bois de barbecue doit être au maximum de 18 %, l'essai étant effectué conformément à 6.3.



Annexe - 5



REFERENCES

<p>Cde : CHARBON SIDENERGIE RECU LE 26/05/11 Devis : DR11-1560 Recu ROUEN, le 26/05/11 Demandeur: ClientID: CHARBON DE BOIS BRAISAL SIDENERGIE Description: 8KG Nature: Charbon de bois Commentaire:</p>	<p>LEHA LAB. D'ETUDES ET D'HYGIENES ALIMENTAIRE LES TERTRES NOIRS 35505 VITRE CEDEX FRANCE Rouen, le 11 juillet 2011</p>
--	--

RAPPORT D'ESSAI
RN11-10138.001
Page 1 / 2

INFORMATIONS RELATIVES A L'ECHANTILLON

Référence	: Contrôle 2011
Désignation	: Charbon de bois longue durée
Marque	: BRAISAL
Code emballer ou estampille	: 46163A
DLC / DLUO	: NEANT
Lot	: NEANT
Provenance	: Base Intermarché de Bressols
Date de réception	: 26/05/2011
Température de réception (°C)	: NEANT
Date d'enlèvement	: NEANT
Température d'enlèvement (°C)	: NEANT
Date de début d'analyse	: NEANT
bactériologie	
Code fiche	: NEANT
Nom du fournisseur	: SIDENERGIE
Gencod / Code barre	: 3250390875390

Paramètres	Résultats	Unités	Incertitudes	Teneur déclarée	Tolérance	Conformité
Masse nette (Méthode interne)	8673,0	g		8000	120	-
Humidité totale (NF EN 1860-2)	4,3	% (m/m)			<8	Oui
Cendres (sur le produit sec) (NF EN 1860-2)	5,3	% (m/m)			<8	Oui
Matières Volatiles (sur le produit sec) (NF EN 1860-2)	5,4	% (m/m)				
Carbone fixe (sur le produit sec) (NF EN 1860-2)	89,3	% (m/m)			>75	Oui
Granulométrie (NF EN 1860-2)						

(1) Essai sous traité dans laboratoire SGS (2) Essai sous traité dans un laboratoire partenaire.
 Ce rapport d'essai ne concerne que les objets ou produits soumis à essais. La reproduction de ce document n'est autorisée, sauf accord écrit du laboratoire, que sous sa forme intégrale. Le présent rapport est émis par la Société conformément à ses Conditions Générales de Services (copie disponible sur demande)

SGS MULTILAB 65 rue Etienne BUGATTI BP90014 76801 Saint Etienne Du Rouvray cedex t +33 (0)2 35 07 91 91 f +33 (0)2 35 07 91 90 www.sgs.com
 Membre du groupe SGS (SGS SA)
 Siège social : 7, rue Jean Mermoz - ZI Saint Guénault - 91080 Courcouronnes - SAS au capital de 200 000 EUR - Identification 393 312 913 RCS - NAF 743B

ANNEXE 5 – ANALYSE DE CHARBON DE BOIS (FOURS A CIRCULATION DE GAZ CHAUD)



Annexe - 5

SGS

REFERENCES

Cde : CHARBON RECU LE 06/07/2009 Devis : DR08-4756 Recu ROUEN, le 08/07/09 Demandeur: MME DIARD Mariejo ClientID: CHARBON DE BOIS BRAISAL SIDENERGIE 8Kg Description: Nature: Charbon de bois Commentaire:	LEHA LAB. D'ETUDES ET D'HYGIENES ALIMENTAIRE LES TERTRES NOIRS 35505 VITRE CEDEX FRANCE Rouen, le 10 août 2009
---	--

RAPPORT D'ESSAI
RN09-09945.001 Page 1 / 2
 Révision 1

Ce document annule et remplace le document de même numéro émis antérieurement. Celui-ci doit être détruit ou retourné au laboratoire.

INFORMATIONS RELATIVES A L'ECHANTILLON

Référence	: Contrôle 2009
Désignation	: Charbon de bois BRAISAL QUALITE RESTAURANT 8Kg
Marque	: BRAISAL
Code emballer ou estampille	: 46163A
DLC / DLUO	: Néant
Lot	: Néant
Provenance	: Base de LEVET
Date de réception	: 06/07/2009
Température de réception (°C)	: Néant
Date d'enlèvement	: Néant
Température d'enlèvement (°C)	: Néant
Date de début d'analyse	: 08/07/2009
Date de début d'analyse	: Néant
bactériologie	
Code fiche	: Néant
Nom du fournisseur	: SIDENERGIE

Paramètres	Résultats	Unités	Incertitudes	Teneur déclarée	Tolérance	Conformité
Masse nette (Méthode interne)	8412,5	g		8000	120	-
Humidité totale (NF EN 1860-2)	5,4	%(m/m)			<8	Oui
Cendres (sur le produit sec) (NF EN 1860-2)	2,8	%(m/m)			<8	Oui
Matières Volatiles (sur le produit sec) (NF EN 1860-2)	4,5	%(m/m)				
Carbone fixe (sur le produit sec) (NF EN 1860-2)	92,7	%(m/m)			>75	Oui
Granulométrie (NF EN 1860-2)						

(1) Essai sous traité dans laboratoire SGS (2) Essai sous traité dans un laboratoire partenaire.
 Ce rapport d'essai ne concerne que les objets ou produits soumis à essai. La reproduction de ce document n'est autorisée, sauf accord écrit du laboratoire, que sous sa forme intégrale. Le présent rapport est émis par la Société conformément à ses Conditions Générales de Services (copie disponible sur demande)

SGS MULTILAB 65 rue Etienne BUGATTI BP90014 76801 Saint Etienne Du Rouvray cedex t+33 (0)2 35 07 91 91 f+33 (0)2 35 07 91 90 www.sgs.com
 Membre du groupe SGS (800 SA)
 Siège social : 7, rue Jean Mermoz - ZI Saint Guénault - 91080 Courcouronnes - SAS au capital de 200 000 EUR - Identification 393 312 913 RCS - NAF 743B

ANNEXE 2 - ANALYSE DE CHARBON DE BOIS (FOURS A CIRCULATION DE GAZ CHAUD A HAUTE TEMPERATURE)



Annexe - 6

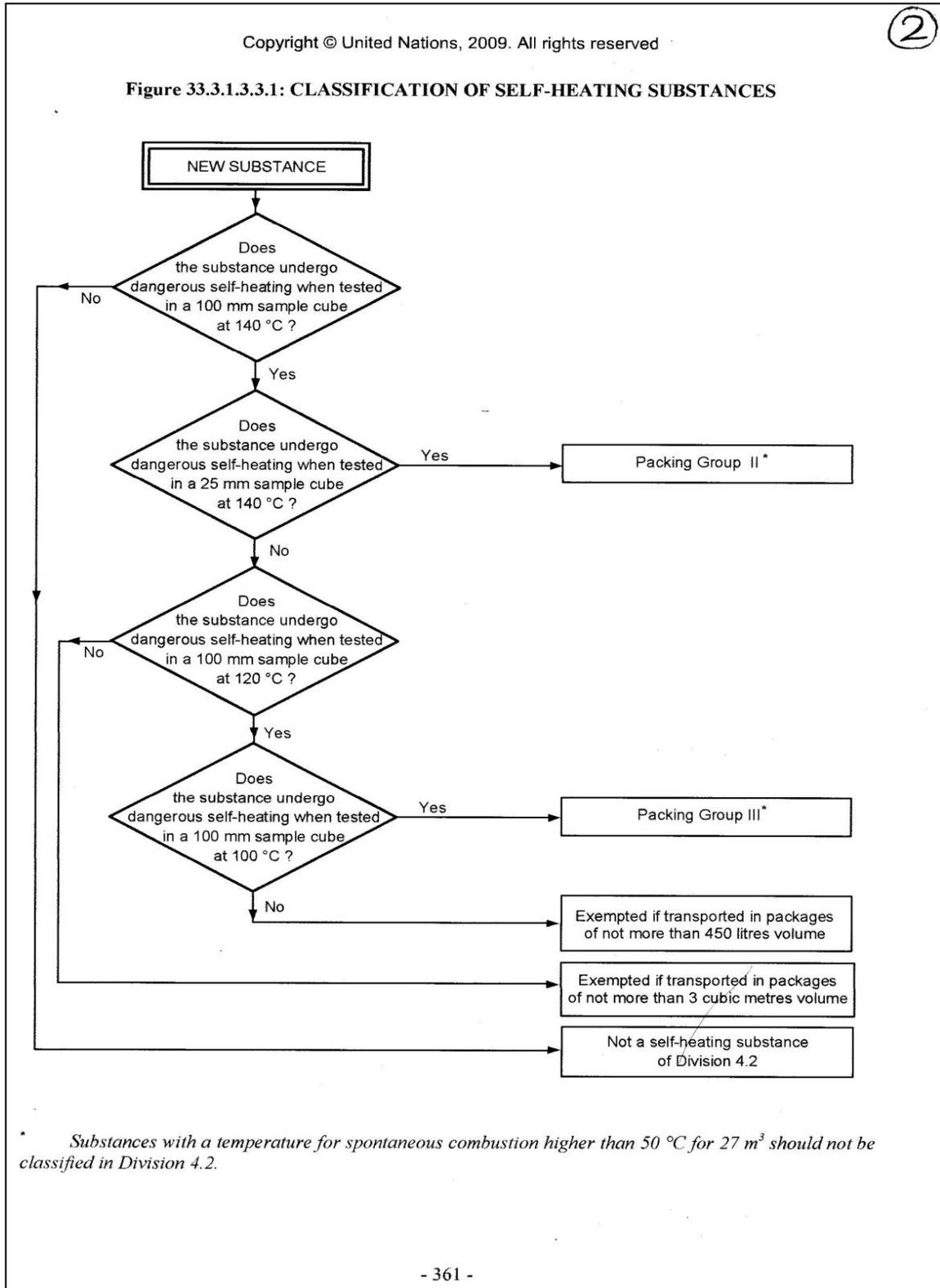
Copyright © United Nations, 2009. All rights reserved

PART III

**CLASSIFICATION PROCEDURES,
TEST METHODS AND CRITERIA
RELATING TO CLASS 2, CLASS 3,
CLASS 4, DIVISION 5.1, CLASS 8
AND CLASS 9**



Annexe - 6





Annexe – 6

Copyright © United Nations, 2009. All rights reserved

3

33.3 Division 4.2

33.3.1 *Substances liable to spontaneous combustion*

33.3.1.1 *Purpose*

33.3.1.1.1 This sub-section presents the United Nations scheme for the classification of substances liable to spontaneous combustion of Division 4.2 (see section 2.4.3 of the Model Regulations). The text should be used in conjunction with the classification principles given in sub-sections 2.4.3.2 and 2.4.3.3 of the Model Regulations and the test prescriptions given here in 33.3.1.4 to 33.3.1.6.

33.3.1.1.2 The test procedures are intended to identify two types of substances with spontaneous combustion properties:

- (a) Substances, including mixtures and solutions (liquid or solid) which, even in small quantities, ignite within five minutes of coming in contact with air. These substances are the most liable to spontaneous combustion and are called pyrophoric substances;
- (b) Other substances which, in contact with air and without an energy supply, are liable to self-heating. These substances will ignite only when in large amounts (kilograms) and after long periods of time (hours or days) and are called self-heating substances.

33.3.1.1.3 The test procedures outlined here adequately assess the relative hazard of substances liable to spontaneous combustion so that an appropriate classification for transport can be made.

33.3.1.2 *Scope*

33.3.1.2.1 Products offered for transport should be subjected to the classification procedures as set out in sub-sections 2.4.3.2 and 2.4.3.3 of the Model Regulations, unless it is impracticable (e.g. because of the physical properties) to perform the tests. The classification procedure should be undertaken before a product is offered for transport.

33.3.1.3 *Classification procedure for substances liable to spontaneous combustion*

33.3.1.3.1 *Pyrophoric solids*

A test is performed to determine if a solid ignites within five minutes of coming in contact with air. The recommended test method is given here, in 33.3.1.4. Whether a substance is a pyrophoric solid of Division 4.2 is decided on the basis of the test result. Packing group I is assigned to all pyrophoric solids.

33.3.1.3.2 *Pyrophoric liquids*

A test is performed to determine if a liquid ignites when added to an inert carrier and exposed to air for five minutes. If no ignition occurs then the second part of the test is performed to determine if it chars or ignites a filter paper. The recommended test method is given here in 33.3.1.5. Whether a substance is a pyrophoric liquid of Division 4.2 is decided on the basis of the test result. Packing group I is assigned to all pyrophoric liquids.

33.3.1.3.3 *Self-heating substances*

33.3.1.3.3.1 Tests are performed to determine if substances in a 25 mm or 100 mm sample cube, at test temperatures of 100 °C, 120 °C or 140 °C, undergo spontaneous ignition or dangerous self-heating, which is indicated by a 60 °C rise in temperature over the oven temperature within 24 hours. The classification scheme is illustrated in Figure 33.3.1.3.3.1. These criteria are based on the self-ignition temperature of charcoal, which is 50 °C for a sample cube of 27 m³. Substances with a temperature of spontaneous combustion higher than 50 °C for a volume of 27 m³ should not be assigned to Division 4.2. Substances with a spontaneous ignition temperature higher than 50 °C for a volume of 450 litres should not be assigned to packing group II of Division 4.2. The recommended test method is given here in 33.3.1.6.

- 359 -



Annexe – 7

CINS
Cargo Incident Notification System

IG
International Group of P&I Clubs

Guidelines for the Carriage of Charcoal and Carbon in Containers

A Joint Publication of CINS (the Cargo Incident Notification System) and the International Group of P&I Clubs

October 2017



Annexe – 7

Guidelines for the Carriage of Charcoal and Carbon in Containers

1. CARGO ISSUES

1.1. Hazardous Properties of Charcoal and Carbon

Charcoal / Carbon is a lightweight, black residue, consisting of Carbon and any remaining ash, obtained by removing water and other volatile constituents from animal and vegetation substances. Charcoal is usually produced by slow pyrolysis, which is the heating of wood or other organic substances in the absence of oxygen.

Charcoal / Carbon is a commodity liable to spontaneous combustion and is classified 4.2 (substances liable to spontaneous combustion) in the IMDG Code and other modal dangerous goods regulations.

The spontaneous combustion of Charcoal may cause a fire in a container. Charcoal / Carbon is considered to be a self-heating substance³, which is a substance, other than pyrophoric substances, which, in contact with air without energy supply, is liable to self-heating. A self-heating reaction may result in extensive heat development and fire.

The most combustible matter in the Charcoal is Carbon, which when stored in an environment containing oxygen, slowly oxidizes to form carbon dioxide and carbon monoxide. This reaction produces heat and since Charcoal is a relatively good thermal insulator, it traps the heat, increasing both the temperature and rate of oxidation, which gives rise to self-ignition.

Such a process is further accelerated by wetting, which is an exothermic process, where heat is released. In some cases, Charcoal bags are stored in an open space before loading with inadequate protection from rain. The recommended vanning survey (See Section 4.3 of these Guidelines) should assess whether the packages have been wetted.

In addition, if only partially burned wood pieces are in the cargo these may give rise to the possibility of lower than required temperatures during carbonizing process, which will leave the charcoal in chemically unstable condition.

Further, it must be noted that the quality of the manufacturing process, packaging and quantity can have an impact on self-heating properties (See Section 4.1 of these Guidelines).

1.2. Charcoal / Carbon Categories

The dangerous goods classification of Charcoal / Carbon includes three categories; UN number 1361, UN number 1362 and UN number 3088. The associated entries in the IMDG Code are shown below.

IMDG Class	UN Number	Description
Class 4.2	UN 1361	CARBON animal or vegetable origin
Class 4.2	UN 1362	CARBON, ACTIVATED
Class 4.2	UN 3088	SELF-HEATING SOLID, N.O.S (technical name: Charcoal)

³ The United Nations Manual of Tests and Criteria describes self-heating test methods for determining the properties of substances classified as self-heating. The tests to determine whether a commodity is liable to dangerous self-heating are being done with 25 mm or 100 mm sample cubes at temperatures of 100°C, 120°C or 140°C with a rise in temperature by 60°C within 24 hours.



Annexe – 7

1.3. Other Trade Names for Charcoal

Other trade names under which Charcoal / Carbon may be presented for shipment include, but are not limited to, those listed below.

- Bamboo charcoal
- Carbon briquettes
- Carbon of vegetable origin
- Carbon shell
- Coal vegetable packages
- Coconut shell
- Hardwood
- Magnesia carbon brick.

Charcoal is also used in tablet form for water-pipes used for smoking, including Nargila, Shisha or Hookah pipes. This type of charcoal may be manufactured with some flammable solid inside, resulting in lower ignition temperature.

➔ 2. CARBON NOT SUBJECT TO THE PROVISIONS OF THE IMDG CODE

The provisions of the IMDG Code do not apply to non-activated Carbon blacks of mineral origin and Carbons made by a steam activation process.

IMDG Code Special Provision 925, under Part 3, Chapter 3.3, of the Code states:

IMDG Code Special Provision	
925	<p>The provisions of this Code do not apply to:</p> <ul style="list-style-type: none"> - non-activated carbon blacks of mineral origin; - a consignment of carbon if it passes the tests for self-heating substances as reflected in the United Nations Manual of Tests and Criteria (see 33.3.1.3.3), and is accompanied by a certificate from a laboratory accredited by the competent authority, stating that the product to be loaded has been correctly sampled by trained staff from that laboratory and that the sample was correctly tested and has passed the test; and - carbons made by a <u>steam activation process</u>.

It is of the utmost importance that Charcoal / Carbon not subject to the provisions of the IMDG Code should be declared by the shipper to the receiving carrier.

To verify whether Charcoal / Carbon offered is subject to the provisions of the IMDG Code, it is of the utmost importance that the product presented to be loaded has been correctly sampled by trained staff from a laboratory accredited by the competent authority and has passed the self-heating test. The test certificate is to be provided by the shipper and is required to accompany the shipment.

Non-declaration of Charcoal / Carbon leads to unsafe stowage and dramatically increases the risk of fire, leading to potentially loss of life, assets and damage to the environment.

It is strongly recommended under these guidelines that Charcoal / Carbon not subject to the provisions of the IMDG Code (under IMDG Code Special Provision 925) should meet the requirements for container selection, packaging, stuffing, inspection, stowage and segregation set out in guidelines below for Charcoal / Carbon that is classified as dangerous goods.



Annexe – 7

3. CONTAINER SELECTION

The type of container and size selection should be based on the principle of maximum filling to reduce the free space in the container and thus reduce the air (oxygen) in the container (See Section 4.2 of these Guidelines).

Containers should also be in a good condition and clean.

4. CONTAINER PACKING

4.1. Packaging and Quantity

The IMDG Code defines what packaging can be used for Charcoal / Carbon classified as dangerous goods. This is currently set out in Part 4 of the IMDG Code, Chapters 4.1, for UN number 1361, UN number 1362 and UN number 3088.

The maximum quantity of Charcoal / Carbon per bag should not exceed 50 kg.

Packaging should be water resistant, in good condition and must not be torn.

4.2. Stuffing

It is recommended to fill the container to the maximum amount permitted in order to reduce the free space in the container and thus reduce the volume of air (oxygen). Air circulation should be reduced as much as possible.

The cargo should be properly stowed and secured. However, packing should take account of the weight of the bags so as not to cause those at the bottom to be crushed or to split.

The temperature of cargo prior to stuffing should not be more than 5°C above the ambient temperature.

4.3. Inspection of Containers Prior to Carriage

It is recommended that, prior to carriage, carriers satisfy themselves that the cargo has been packed and secured with a method that allows safe transportation, for example, by means of a photo story or container inspection.

A vanning survey should confirm that:

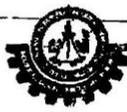
- Cargo is packed and secured in a proper manner.
- Packaging is water resistant, in good condition and not torn.
- The temperature of the cargo when loaded is not more than 5°C above the ambient temperature.
- The packaging and interior atmosphere is clean and odourless, with no presence of fumes or smoke.

When a shippers' weathering report is requested, this report should include the following:

- ➔ • A description of the whole cooling process and the chemical (or steam) used for activating.
- ➔ • Verification that there has been a minimum of 14 days of pre-cooling prior to packaging.



Annexe - 7



FIIR

FEDERAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL RESEARCH, OSHODI
 (FEDERAL MINISTRY OF SCIENCE & TECHNOLOGY)
 FIRO ROAD, (VIA CAPPY BUS-STOP), OFF ABERE MOTOR ROAD, OSHODI
 P.M.S. 21622, IKEJA, LAGOS, NIGERIA.
 ABUJA LIAISON OFFICE: 2, GASHUA CLOSE, AREA 3 BARKI, ABUJA.
 TEL: 01-8448922 TELEGRAMS: APPLIED IKEJA.
 E-mail: info@fiir.gov.ng Website : www.fiir.gov.ng
All correspondence to be addressed to the Director-General

Ref: 2.6/Vol.11/211

Date: 15th January, 2013

CERTIFICATE OF ANALYSIS
Self-ignition test on wood charcoal

Name of sample as labelled:	WOOD CHARCOAL
Name and address of client:	ZIFAV CONCEPT INTL LIMITED 33A, BODE THOMAS STREET, SURULERE, LAGOS.
Description of sample:	Black solid substance.
Date received:	07/1/2013
Laboratory sample no.	NF/SOL/ 0113/Ext. -37
Test required:	Self-ignition test

We hereby certify that the above product was sampled and analyzed by us, and hereby state our findings and comments, as below:

The charcoal sample was subjected to tests performed in accordance with the test method given in the United Nations Manual of Tests and Criteria, part 33.3. 1.3.3. Our laboratory is Government certified and authorized to perform ignition tests on charcoal meant for exports by trained experts in agreement with IMDG code.

The result and inferences are presented below:

Material for Combustion	Temperature of Furnace/Time			
	100°C/(1hr)	120°C/(1hr)	140°C/(24hrs)	150°C/(2hrs)
Charcoal	Not Ignited	Not Ignited	Not Ignited	Not Ignited

Conclusion:

It is concluded from the above that the wood charcoal is not classified in International Maritime Dangerous Good Code (IMDG) class 4.2, as a negative result was obtained at test temperature range 100°C – 150°C.

As the sample is not self-heating at the specified temperatures, it is therefore not hazardous for shipping.

Please, confirm the authenticity of this certificate with any of the following numbers:
08023024775, 08033318422, 08023401920.

Thanks for your patronage.

O.F. Kayode (Mrs)
for: Director-General.

INSTITUTE OF PUBLIC ANALYSIS OF NIGERIA
 (Established by Decree No. 190 of 1992)
Practice Licence NO. 00245

Signature: *[Signature]*
 Date: 15 Jan. 2013



Annexe – 7

CMA CGM Group
CARGO SAFETY-SECURITY

BEST PRACTICES
Original Version : 12/23/2008 Updated: 06/10/2014

CARBON-CHARCOAL

All Carbon forms, Charcoal ex Asian continent, hazardous or not hazardous, are strictly prohibited.

For all other areas, it can be accepted with the proviso that it is not dangerous and so complies with the Special Provision 925 of the IMDG Code and that it is accepted by partner if shipped on board a partner vessel.

Reference: CMA CGM Dangerous Goods Procedures: 002-General Shipment-Dangerous Cargo General Acceptance Policy see Class 4.2 *Intr*

Carbon, Carbon black, Charcoal, Charcoal activated or non activated, Coconut Shell briquettes... are liable to heat slowly and to ignite spontaneously and must be declared as DANGEROUS Class 4.2 UN-No 1361 or 1362.

This commodity was the cause of serious fires on board CMA CGM and competitors' vessels.

To be non-dangerous according the IMDG Code (Special Provision 925) there are 3 cases:

1. Non-activated carbon blacks of mineral origin.
2. Carbons made by a steam activation process.
3. **Carbons that pass the tests for self-heating (UN Manual of Tests and Criteria):**

BEST PRACTICES

Only a CMA CGM Dangerous Cargo Adviser may decide that a form of Charcoal, Carbon... can be considered as non-hazardous.

To submit an application for acceptance as non-hazardous:

- ♦ Provide the **Material Safety Data Sheet** of the manufacturer specifying the part of the IMDG Code to which reference is made not to declare the product as dangerous.
- ♦ For above **case nr 3** provide the relevant **certificate** issued by a **laboratory accredited by the competent authority** listed in § 7.9.3 of the IMDG Code **stating that the product to be loaded has been correctly sampled by trained staff from that laboratory and that the sample was correctly tested and has passed the test for self-heating.**

gules

Example of certificate: [Dangerous Goods Procedures-017 Specific Shipment- Loading Charcoal Export Nigeria](#)

REMARKS

- ♦ Containers to be stowed **on deck only.**
- ♦ **Chartered vessels:** Charcoal can be part of the cargo exclusions.
- ♦ Partners vessels: Check your Joint Working Procedures
- ♦ Charcoal for scientific use (filtration) can be accepted (2 teus per vessel + letter/name-address, tel, use: Ask your Dangerous Cargo Office).

gules

MORE INFORMATION

- ♦ [IMDG Code 2012 Edition-CMA CGM intranet Mira:](#) Please see UN1361-1362 – SP 925
- ♦ [Designated National Competent Authorities:](#) See [IMDG Code - § 7.9.3](#)
- ♦ [Test for self-heating see: UN Manual of Tests and Criteria Part III - § 33.3.1.3.3](#)
- ♦ [DCO contact points-CMA CGM intranet Mira-SSE Portal: Who Handles What](#)

Disclaimer: This document is for internal use only and shall not be provided to external parties.

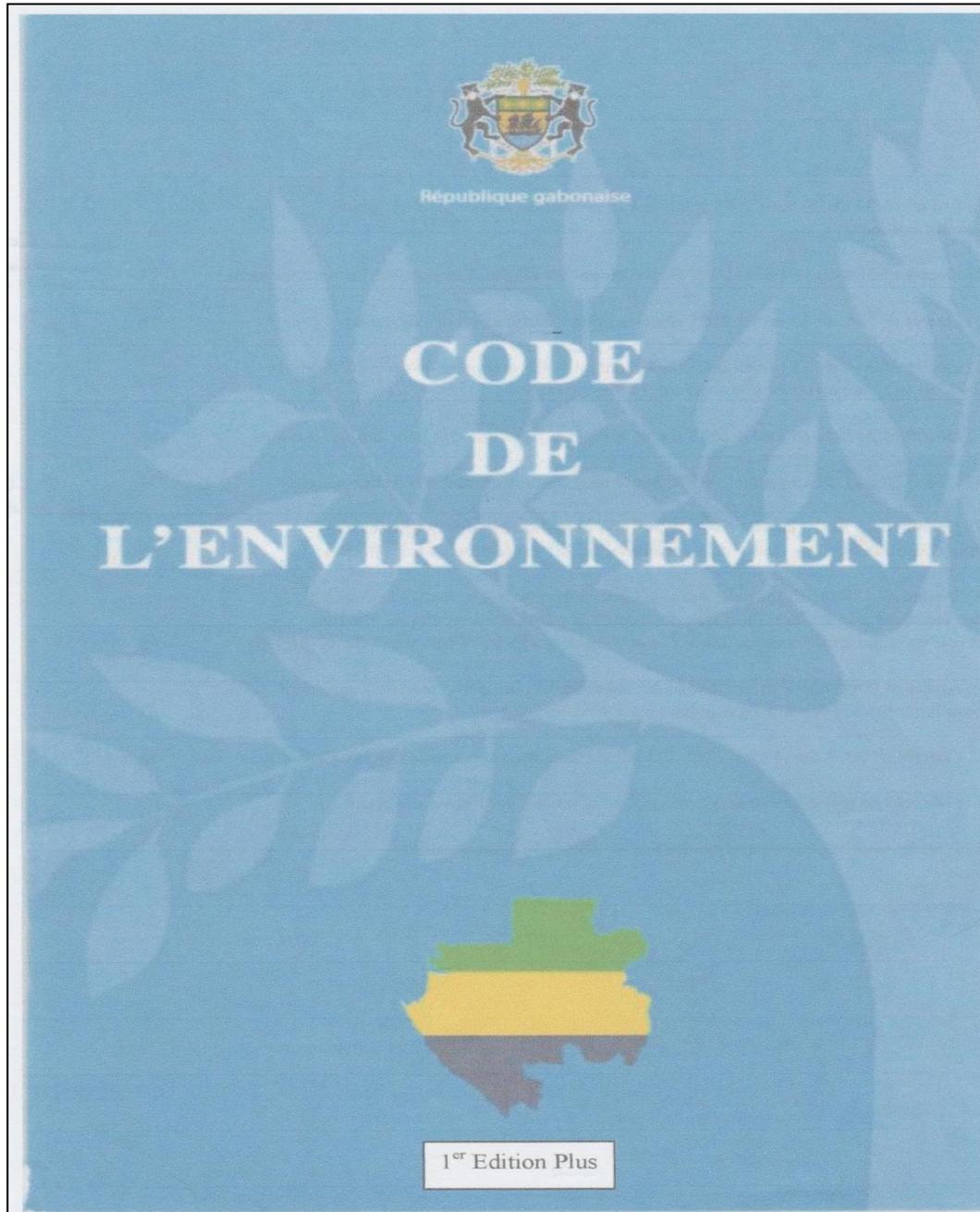
ADVANCED SHIPPING



SIDMARINE/SIDENERGIE

Annexe – 8

L 168





Annexe – 8

SOMMAIRE

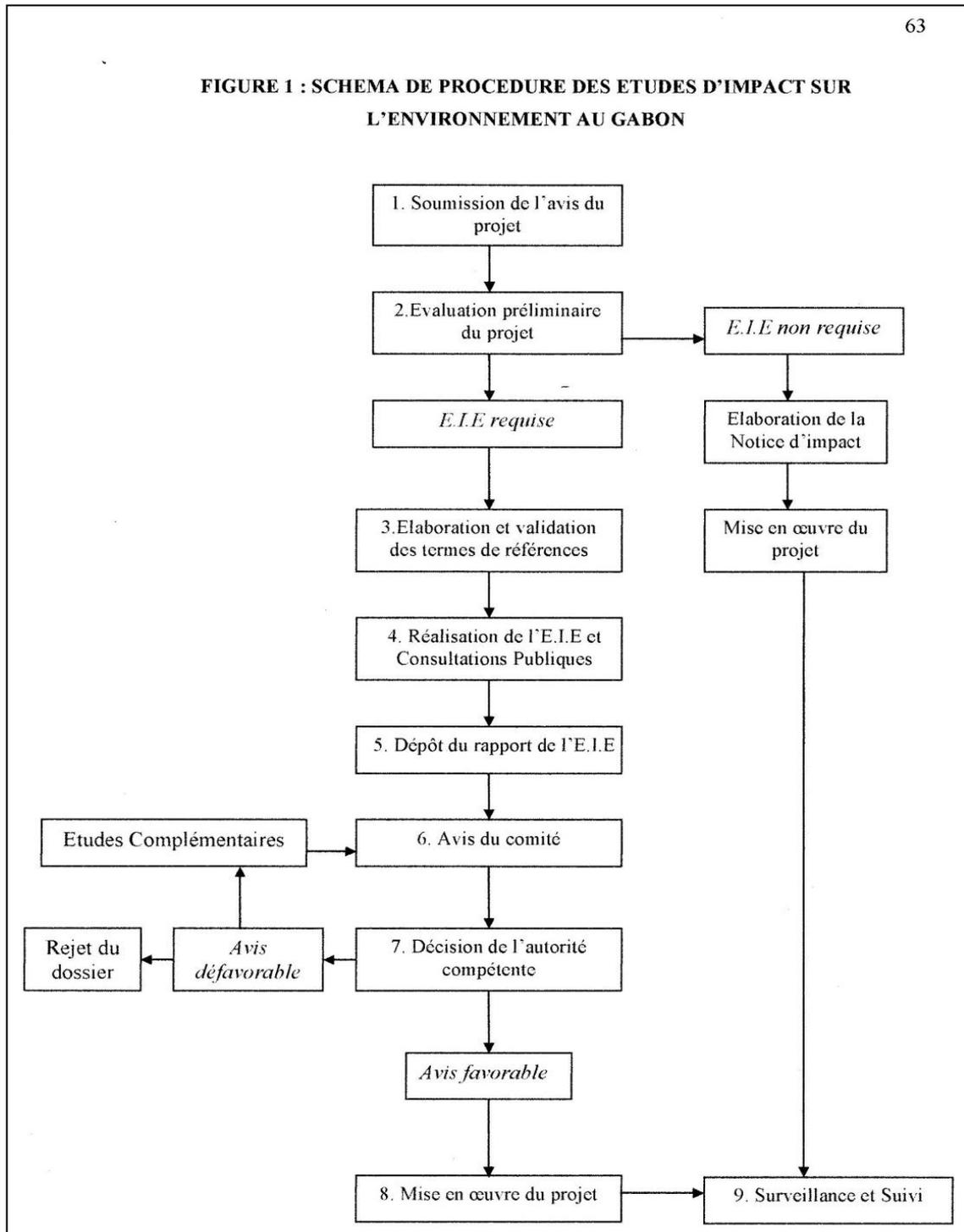
1) Loi n° 16/93 du 26 août 1993 relative à la protection et à l'amélioration de l'environnement ;	3
* 2) Décret n° 539 du 15 juillet 2005 réglementant les études d'impact sur l'environnement ;	13
* 3) Décret n° 541 du 15 juillet 2005 réglementant l'élimination des déchets ;	18
4) Décret n° 542 du 15 juillet 2005 réglementant le déversement de certains produits dans les eaux superficielles, souterraines et marines ;	23
* 5) Décret n° 543 du 15 juillet 2005 fixant le régime juridique des installations classées ;	28
6) Décret n° 545 du 15 juillet 2005 réglementant la récupération des huiles usagées ;	34
7) Décret n° 39 du 10 janvier 1979 relatif à la classification des industries et A la détermination des éléments à considérer dans l'évaluation de la pollution ;	37
8) Arrêté n° 198 du 28 juin 1979 portant détermination des valeurs admissibles des éléments à considérer dans l'évaluation de la pollution des eaux résiduaires et pris en considération des articles 1, 4 et 5 du décret 039/PR/MRSEPN du 10/01/79 ;	49
9) Arrêté n° 0002 du 14 avril 2006 fixant les modalités de délivrance de l'agrément pour la réalisation des études d'impact sur l'environnement ;	53
10) Arrêté n° 0003 du 14 avril 2006 fixant les modalités de contrôle des installations classées	55
11) Manuel de procédure générale des études d'impact sur l'environnement	60
12) Guide pour l'élaboration d'un dossier de demande d'autorisation	73

*Non-acclature
13 - Soumis en
étude d'impact*

*P46 (II.E)
chdB P48 (III.E)*



Annexe – 8





Annexe - 8

171

PRESIDENCE DE LA REPUBLIQUE

REPUBLIQUE GABONAISE
UNION- JUSTICE

Le Conseiller

N° 0261 /PR

DECRET N° portant promulgation de la loi n° 007/2014 relative à la Protection de l'Environnement en République Gabonaise.

LE PRESIDENT DE LA REPUBLIQUE,
CHEF DE L'ETAT ;

Vu la Constitution, notamment en son article 17, alinéa 1^{er};

DECRETE :

Article 1^{er} : Est promulguée la loi n° 007/2014 relative à la Protection de l'Environnement en République Gabonaise.

Article 2 : Le présent décret sera enregistré, publié selon la procédure d'urgence et communiqué partout où besoin sera. /-

Fait à Libreville, le **01 AOUT 2014**

Par le Président de la République,
Chef de l'Etat.

ANGÉ BOUÛGUE ONDIMBA



Annexe - 8

Article 35 : Le Ministre en charge de l'Environnement exerce un contrôle régulier pour vérifier que les prescriptions que comporte l'autorisation prévue à l'article 34 ci-dessus sont respectées. En cas de non respect de ces prescriptions, le Ministre peut, selon le cas, suspendre ou retirer ladite autorisation.

Article 36 : Les audits environnementaux, définis à l'article 6 de la présente loi peuvent être exigés dans les conditions fixées par voie réglementaire.

Article 37 : Il peut être prescrit des études de dangers.

Les conditions dans lesquelles une étude de danger peut être exigée, les installations qui y sont obligatoirement soumises et celles qui peuvent l'être, ainsi que leur contenu, sont fixées par voie réglementaire.

→ Section 3 : Des enquêtes et autres consultations publiques

Article 38 : Toute opération soumise à une étude d'impact doit faire l'objet d'une enquête publique dans les conditions fixées par la présente loi.

Des textes réglementaires déterminent les opérations soumises à des enquêtes publiques ainsi que les modalités d'exécution de ces enquêtes.

Toutefois, en cas d'urgences dûment constatée par l'administration et après avis de l'organe consultatif compétent, une opération soumise à une étude d'impact peut être dispensée d'enquête publique.

→ Titre V : Du changement climatique, des énergies renouvelables et des économies d'énergie.

Article 39 : Dans le cadre de la politique planétaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'Etat veille à la gestion durable des forêts et du patrimoine naturel pour permettre notamment le respect de quotas d'émissions et favoriser les opérations de développement propre.

→ Article 40 : Les exploitants doivent veiller à la réduction et à la



Annexe - 8

compensation de leurs émissions de gaz à effet de serre dans le cadre des grandes opérations d'exploitation ou de transformation des ressources naturelles.

→ [Chapitre 1^{er}: De l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Article 41 : En application des recommandations de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, il est mis en place un système d'émission de gaz à effet de serre permettant de tenir un inventaire national.

→ Article 42 : Toute opération est tenu d'élaborer un bilan carbone aux fins d'évaluer les volumes ou quantité de gaz à effet de serre des opérations ou des exploitations pour en assurer la réduction.

→ Article 43 : La composition et le fonctionnement du système d'estimation des émissions de gaz à effet de serre, la liste des opérations au bilan carbone, ainsi que les conditions de son élaboration et de sa publicité sont fixés par voie réglementaire.

Article 44 : Un plan national de réduction des émissions est élaboré à partir de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre conformément aux dispositions des textes en vigueur.

→ [Chapitre 2 : De l'efficacité énergétique et de l'adaptation au changement climatique

Article 45 : Il est élaboré, sur la responsabilité du ministre chargé de l'Environnement et soumis à l'avis de l'organe consultatif compétent, un plan d'adaptation au changement climatique, conformément aux dispositions de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements Climatiques.

Ce plan doit être compatible avec les objectifs de la stratégie nationale du Développement Durable.

Article 46 : Les marchés publics passés par l'Etat ou par les collectivités locales doivent insérer dans leurs dispositions, une clause de justification de l'efficacité énergétique maximale de la prestation de l'ouvrage ou de l'investissement.

→ Article 47 : L'Etat impose l'efficacité énergétique dans la réalisation de toutes opérations de constructions de bâtiments conformément aux normes Hygiène Qualité Environnement.



Annexe - 8

Article 48 : Toute opération d'incinération en milieu industriel doit obligatoirement comprendre un volet de valorisation énergétique.

Article 49 : Les activités industrielles susceptibles de générer des éléments gazeux doivent faire l'objet d'une récupération à des fins énergétiques, notamment le gaz des torchères.

Article 50 : Dans le cadre de sa politique de réduction de la pollution atmosphérique et des émissions de gaz à effet de serre dans les transports, l'Etat doit:

- encourager la mise en place des transports publics propres et le développement de l'inter-modalité;
- interdire l'importation des véhicules d'occasion dont la date de mise en circulation dépasse le seuil fixé par la voie réglementaire.

Chapitre III : Des énergies renouvelables

Article 51 : L'Etat veille aux énergies renouvelables dans les différentes politiques publiques ainsi que dans les opérations financées par des entreprises privées ou par des Etats ou par des organisations internationales, et peut, le cas échéant, l'imposer.



Annexe – 9

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

ADEME MAYOTTE

Analyse du marché du charbon de
bois et recommandations pour la
mise en place d'une unité de
valorisation de la matière
organique à Mayotte

Rapport final
Août 2013



Annexe - 9

176

3.3. Unité type CML avec 12 fours

Code	Désignation	Unité	Quantité	P.U. HT	Montant H.T.
1	TRAVAUX PREPARATOIRES				
1.1	Installation de chantier	FT	1	15 000 €	15 000 €
1.2	Décapage, terrassements en déblais évacués	m3	4 200	14 €	58 800 €
1.3	Remblais d'apport	m3	2 100	72 €	151 977 €
	Sous-total				225 777 €
2	VOIERIE - ESPACES VERTS				
3.1	Plate-forme béton	m²	1 220	133 €	162 260 €
3.2	Réalisation voirie lourde	m²	2 255	139 €	313 445 €
3.4	Bordures	ml	300	55 €	16 500 €
3.5	Engazonnement et espaces verts	m²	100	8 €	800 €
	Sous-total				493 005 €
3	RESEAUX				
4.1	Assainissement Eaux pluviales				
4.1.1	Fouilles et canalisations	ml	100	211 €	21 100 €
4.1.2	Regards de visite	U	4	2 510 €	10 040 €
4.1.3	Séparateur à hydrocarbures	U	1	20 550 €	20 550 €
4.1.4	Rejet en limite de propriété	Ens	1	2 187 €	2 187 €
4.2	Assainissement EU/EV autonome	Ens	1	25 000 €	25 000 €
4.3	Défense incendie et alimentation en eau				
4.3.1	Fouilles et canalisations diam 110	ml	100	211 €	21 100 €
4.3.2	Poteau incendie	U	1	6 075 €	6 075 €
4.3.3	Fouilles et canalisations diam 32	ml	10	211 €	2 110 €
4.3.4	Raccordement et compteur	Ens	1	12 150 €	12 150 €
4.4	Génie civil courants forts				
4.4.1	Fourreaux courants forts	ml	100	85 €	8 505 €
4.4.2	Chambre de tirage	U	2	1 180 €	2 360 €
4.4.3	Raccordement sur réseau existant	Ens	1	7 290 €	7 290 €
4.5	Génie civil courants faibles				
4.5.1	Fourreaux courants faibles	ml	100	73 €	7 290 €
4.5.2	Chambre de tirage	U	2	1 180 €	2 360 €
4.5.3	Raccordement sur réseau existant	Ens	1	4 860 €	4 860 €
4.6	Eclairage public				
4.6.1	Fourreaux et cablage	ml	150	74 €	11 100 €
4.6.2	Candélabres	U	6	3 080 €	18 480 €
4.6.3	Armoire de commande	U	1	3 038 €	3 038 €
	Sous-total				185 595 €
4	SENRURERIE				
5.5	Cloture de type haie anti-intrusion	ml	240	413 €	99 144 €
5.6	Portail entrée PL	U	1	4 500 €	4 500 €
	Sous-total				103 644 €
5	LOCAUX				
6.1	Local	Ens	1	58 950 €	58 950 €
6.2	Auvent 170m² (stock charbon et atelier d'ensachage)	Ens	1	150 000 €	150 000 €
6.3	Auvent 540 m² (stock bois)	Ens	1	476 471 €	476 471 €
	Sous-total				685 421 €
6	PROCESS				
6.1	Fours CML - 12 modules pleins pieds	Ens	1	680 000 €	680 000 €
6.2	Module d'ensachage	Ens	1	15 000 €	15 000 €
	Sous-total				695 000 €
7	MATERIEL ROULANT				
7.1	Chargeur type Manitou	Ens	2	50 000 €	100 000 €
	Sous-total				100 000 €
8	ALEA DIVERS	Ens			248 844 €
	Sous-total				248 844 €
	TOTAL H.T.				2 737 285 €



Annexe - 9

5. Annexe 5 : Détail des coûts d'exploitation pour un site type CML

COUTS DE FONCTIONNEMENT

UNITE CML

RUBRIQUES	HYPOTHESES		4 Fours 5 000 t bois / an		6 Fours 7 500 t bois / an		12 Fours 15 000 t bois / an	
			Nombre	Montant € HT /an	Nombre	Montant € HT /an	Nombre	Montant € HT /an
1. PERSONNEL								
	Salaire							
Directeur	50 000 €	annuel	0,5	25 000 €	1,0	50 000 €	1,0	50 000 €
Agent de carbonisation	35 000 €	annuel	2,4	84 700 €	2,4	84 700 €	3,6	127 050 €
Total:			2,9	109 700 €	3,4	134 700 €	4,6	177 050 €
2. CONSOMMABLES								
	bases						quantités	
2.1. Electricité	0,17 €	HT /kW /h	1 000 kWh/an	170 €	1 000 kWh/an	170 €	1 000 kWh/an	170 €
2.2. Eau potable	4 €	/m3	13 m3/an	52 €	13 m3/an	52 €	13 m3/an	52 €
2.3. Vêtements et petits matériels	250 €	par employé	3,0	750 €	3,0	750 €	4,0	1 000 €
2.4. Carburant	1,2 €	litre	9 800	11 760 €	14 700	17 640 €	29 400	35 280 €
2.5. Gaz	1 083,5 €	m3	3 m3/an	3 250 €	3 m3/an	3 250 €	3 m3/an	3 250 €
2.6. Sacs	0,14 €	kg	1 000 t/an	143 €	1 500 t/an	214 €	3 000 t/an	429 €
Total:				16 125 €		22 077 €		40 181 €
3. AMORTISSEMENTS								
	taux		Investissements Hors subvention		Investissements Hors subvention		Investissements Hors subvention	
Etudes 10% investissement	5% sur 20 ans		161 571 €	12 965 €	161 971 €	12 997 €	194 229 €	15 585 €
VRD et Bâtiment	5% sur 20 ans		1 615 715 €	129 649 €	1 619 715 €	129 970 €	1 942 285 €	155 854 €
Process	5% sur 10 ans		525 000 €	67 990 €	565 000 €	73 170 €	695 000 €	90 006 €
Matériel roulant	5% sur 10 ans		50 000 €	6 475 €	50 000 €	6 475 €	100 000 €	12 950 €
Total:				217 079 €		222 612 €		274 396 €
4. ENTRETIEN RENOUVELLEMENT								
VRD et Bâtiment	0,75%			12 118 €		12 148 €		14 567 €
Process	2%			10 500 €		11 300 €		13 900 €
Matériel roulant	10%			5 000 €		5 000 €		10 000 €
Total:				27 618 €		28 448 €		38 467 €
5. DIVERS								
Divers			3%	11 116 €	3%	12 235 €	3%	15 903 €
Aléas			2%	7 410 €	2%	8 157 €	2%	10 602 €
Assurance			2%	7 410 €	2%	8 157 €	2%	10 602 €
Marge			0%	- €	0%	- €	0%	- €
Total:				25 937 €		28 549 €		37 107 €
TOTAL COUT D'EXPLOITATION				396 459 €		436 386 €		567 200 €
6. COUTS DE TRAITEMENT / VALORISATION								
	bases		quantités		quantités		quantités	
Charbon	1,0 €	par kg	1 000 t/an	1 000 000 €	1 500 t/an	1 500 000 €	3 000 t/an	3 000 000 €
Total:				1 000 000 €		1 500 000 €		3 000 000 €
RESULTAT D'EXPLOITATION				603 541 €		1 063 614 €		2 432 800 €



Annexe – 10



Résumé du plan d'aménagement de la CFAD de MANDJI

AMENAGEMENT

Assurer une récolte régulière de bois d'œuvre de qualité sans épuiser les capacités de la forêt via :

- Respect de la législation forestière
- Définition d'une rotation de 25 ans
- Découpage de la CFAD en 25 Assiettes Annuelles de Coupe
- Définition des Diamètres Minimums d'Exploitation
- Réalisation d'Inventaires d'exploitations (systématique)
- Planification et optimisation des routes
- Cartographie prévisionnelle et de l'exploitation

ZONAGE

Définir des séries d'aménagement :

- La série de production: production de bois d'œuvre moyennant respect de règles :
- Les séries de protection et de conservation : mise en défens de biotopes riches ou sensibles
- La série agricole : respect des zones cultivées aux alentours de villages

PRODUCTION

Exploiter la ressource en respect des règles de gestion, de la législation et de l'environnement notamment :

- Respect des Diamètres Minimums d'Exploitation
- Mise en œuvre d'une Exploitation à Faible Impact (EFI)
- Valorisation de la matière lors des abattages et de étêtages
- Ouverture de routes raisonnée
- Cartographie de suivi de l'exploitation
- Suivi et contrôle de la traçabilité
- Suivi post-exploitation

DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Développement industriel et transformation du bois dans une scierie et une usine de déroulage à Port-Gentil.

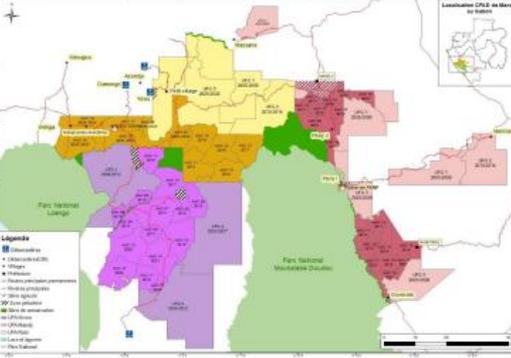


ENVIRONNEMENT

Limiter les impacts de l'exploitation sur l'environnement via :

- Mise en protection de blocs de forêts représentatifs
- Mise en œuvre de mesures d'Exploitation à Faible Impact
- Placette de recherche scientifique
- Respect de la législation en matière de chasse
- Programme de lutte anti-braconnage
- Fourniture de sources de protéines alternatives (écomat)
- Politique hydrocarbures
- Politique de gestion des déchets





SOCIAL EXTERNE

Assurer une plateforme de concertation permanente avec les communautés villageoises et l'administration sur :

- Le développement de projets communautaires
- La prévention et la résolution des conflits sociaux



SOCIAL INTERNE

Assurer le bien être des employés via :

- Logement des employés dans 2 bases vies (Rabi et Peny)
- Accès à l'eau potable et sanitaire et à l'électricité
- Accès aux produits de première nécessité
- Accès aux soins de santé et à l'éducation
- Sensibilisation sur la sécurité au travail
- Formation interne et externe



Les Forêts à Haute Valeur pour la Conservation

FHVC 1 / Présence d'aire protégée, d'espèces menacées, endémiques ou de zones d'importance saisonnière (251.378 ha) :
- Définition de zones tampons, de séries de conservation et de protection, mise en œuvre du PROLAB, et de mesures d'Exploitation à Faible Impact

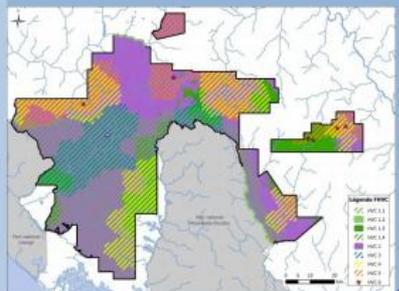
FHVC 2 / Grandes forêts représentatives du paysage (568.543 ha) :
- Exploitation à Faible Impact, définition des séries de conservation et de protection

FHVC 3 / Ecosystèmes menacés ou rares : forêts montagneuses, marécageuses
- Mise en série de conservation ou de protection de ces écosystèmes

FHVC 4 / Services écologiques essentiels : cours d'eau, relief...
- Mise en série de protection des abords directs des cours d'eau et des zones de relief

FHVC 5 / Zones nécessaires à la satisfaction des besoins des populations locales : Produits Forestier Non Ligneux : andok, écorces, champignons, miel...
- Mise en série de protection ou en série agricole des zones concernées et préservation des PFNL dans les zones exploitées

FHVC 6 / Forêt à valeur culturelle : sites sacrés, anciens villages, cimetière... (ponctuel)
- Identification, cartographie et mise en série de protection des sites sacrés et autres zones d'identité culturelle



ANNEXE 3 - PLAN D'AMENAGEMENT DE LA CFAD MANDJI DE CBG



Annexe – 10

24/07/2019 Certifications français



CBG
Forest passion since 1980

[Accueil](#) | [La société CBG](#) | [Création de valeur partagée](#) | [Produits](#) | [Actualités](#) | [Contact](#)
[Liens](#)

Certifications

16 PAIX, JUSTICE ET INSTITUTIONS EFFICACES



17 PARTENARIATS POUR LA RÉALISATION DES OBJECTIFS



Certification FSC



FSC
www.fsc.org
FSC® C007904

La marque de la gestion forestière responsable

Les produits bois certifiés FSC® répondent à des critères économiques, sociaux et environnementaux

La CBG est certifiée tierce partie à 100% pour sa gestion forestière et sa chaîne de contrôle selon le référentiel FSC, par bureau Veritas, depuis 2009. La certification est un réel outil de gestion journalière et fait désormais partie de l'ADN de la société et de l'ensemble de ses collaborateurs. CBG s'appuie sur sa certification FSC® intégrée. FSC® est une organisation non gouvernementale créée en 1993, après le Sommet de la Terre de Rio. Grâce à son système de certification des forêts, FSC® est une solution performante qui permet de préserver et de partager la valeur des forêts avec l'ensemble des acteurs de la société. Face aux enjeux climatiques et à l'augmentation des besoins en bois de la population mondiale, FSC® apporte une réponse crédible à long terme pour préserver l'environnement, améliorer le bien-être de l'homme et intégrer les besoins croissants de toute la filière forêt-bois.

Certification FSC - CBG - COC

Certification FSC - CBG - FM

OHSAS



OHSAS 18001:2007

La CBG s'est engagée fin 2017 vers l'objectif de certification OHSAS 18001 qui a été atteint en octobre 2018. Le certificat octroyé par Bureau Veritas récompense les efforts constants que met en œuvre la société pour la préservation de la santé et la sécurité de ses collaborateurs et de leur famille ainsi que de ses sous-traitants.

<https://www.cbg-wood.com/certifications> 1/2

ANNEXE 4 - CERTIFICATIONS DE CBG



Annexe – 10

24/07/2019 Certifications

Certification OHSAS - CBG



**GLOBAL
FOREST
& TRADE
NETWORK**

CBG est membre de Global Forest & Trade Network (GFTN)

Le GFTN est l'une des principales initiatives du WWF pour lutter contre l'exploitation forestière illégale et promouvoir des améliorations dans la gestion et le commerce des forêts. Il vise à transformer le secteur forestier mondial en une force pour sauver les forêts remarquables et menacées de la planète en promouvant et en soutenant la gestion forestière et le commerce responsable. A travers le GFTN, les entreprises s'engagent à changer leur impact sur les forêts et à être transparentes, et à communiquer avec précision sur les produits forestiers qu'elles ciblent, achètent et vendent. Les participants acceptent de faire un rapport annuel quant à leurs progrès vers une certification crédible. Grâce à l'accord GFTN, CBG renforce sa position afin d'initier et de promouvoir une gestion forestière responsable. Toutes les activités de gestion forestière menées par CBG sont couvertes par la certification FSC (BV-FM / COC-639590) et ses activités de transformation et de négoce sont aussi couvertes par le schéma FSC pour sa chaîne de traçabilité: «Nous avons choisi de valoriser bois et forêts afin de les préserver et de respecter les populations qui vivent de la forêt et dans la forêt » a ainsi déclaré Guillaume Fenari, Président de CBG. Plus d'informations sur le GFTN, visitez <http://gftn.panda.org/>

Siège social : B.P. 603 PORT GENTIL GABON | Tel : 00 241 01 55 39 83 | Fax : 00 241 01 55 10 14 | Mentions légales

https://www.cbg-wood.com/certifications 2/2

ANNEXE 5 - CERTIFICATIONS CBG SUITE



SIDMARINE/SIDENERGIE

Annexe - 11

181

République du Congo

Note d'Identification du Projet

WoodCharWatt

Boisement Industriel de Savanes
→ **Productions Durables**
Charbon de bois + Cogé Electricité
pour Brazzaville & Dépt du Pool

Rédacteur pour le ProNAR (Brazzaville) et la Direction du Développement Durable

Patrick RUEYRES. Sidmarine/Sidenergie.

Mai 2019

Programme National d’Afforestation et de Reboisement.

Coordonateur National, Monsieur Lambert Imbaló.



**BOISEMENTS INDUSTRIELS DURABLES
CHARBON DE BOIS + COGÉNÉRATION ÉLECTRIQUE
POUR BRAZZAVILLE & DÉPARTEMENT DU POOL**

Note d'Identification du Projet

▪ **IMPLANTATION :**

En République du CONGO, département du POOL.

▪ **OBJECTIF :**

Implantation d'un site de boisement industriel énergétique durable et de son usine de production de charbon de bois avec cogénération d'électricité.

▪ **FONCTIONS :**

- Fourniture de Brazzaville en charbon de bois durable.
- Fourniture d'électricité biomasse durable pour Brazzaville et le département du Pool.

▪ **MATIERE PREMIÈRE :**

Boisements industriels durables dans des zones de savanes issues de la déforestation récurrente et nécessaire à la production traditionnelle du charbon de bois qui alimente le marché des ménages et des artisans de Brazzaville.

▪ **TECHNIQUE COMBINÉE DE CARBONISATION ET DE COGÉNÉRATION ÉLECTRIQUE :**

Meilleures technologies disponibles : carbonisation et production d'électricité (utilisation totale de l'énergie du traitement des fumées) avec une technologie française opérationnelle et rentable en France depuis 2012, retenue pour trois nouvelles implantations par la Commission de Régulation Française de l'Energie (CRE) et démonstrateur GREENTECH aux COP 21 et COP 23.



S O M M A I R E

183

Page 2 : **RÉSUMÉ**

Page 5 : **CONTEXTE EN AFRIQUE CENTRALE**

- Charbon de bois
- Cogénération d'électricité

Page 7 : **LA RÉPUBLIQUE DU CONGO**

- Objectifs, programme
- Bois énergie domestique durable : un atout climatique
- Des solutions durables de grande capacité
- Perspectives 2040

Page 11 : **VIABILITÉ ÉCONOMIQUE ? D'UN SITE INDUSTRIEL DURABLE COMBINÉ :
PLANTATION BOIS ÉNERGIE/CARBONISATION**

- Très faible prix du charbon de bois en Afrique Centrale
- La solution à étudier : « **la carbonisation avec la cogénération d'électricité** » et la rémunération complémentaire des services environnementaux et climatiques rendus par une filière durable
 - Hypothèse pour une unité « boisement/usine », composante du projet
 - 1a. Plantation 4 000 ha : calcul du puits de carbone
 - 1b. Plantation 4 000 ha : coût de la création
 - 1c. Plantation 4 000 ha : coût de fonctionnement avec récolte
 - 1d. Protocole d'accord PRONAR/MEF avec SIDENERGIE
 - 2a. Production 10 000 t/an charbon de bois durable : calcul des réductions d'émission de CO₂
 - 2b. Production 25 000 MWh/an électrique durable : calcul des réductions d'émissions de CO₂
 - 2c. Production charbon de bois/électricité : comptes d'investissement et de fonctionnement
 - 3. Compte de résultat général « Plantation/Carbonisation/Cogénération d'électricité »

Page 16 : **CONCLUSION GÉNÉRALE**

Page 19 : **ANNEXES**



CONTEXTE EN AFRIQUE CENTRALE

« Quand la ville mange la forêt » (titre d'une étude CIRAD 2013)

184

■ Charbon de bois

La majorité des fortes concentrations démographiques d'Afrique Centrale (sauf GABON) entraîne une intense dégradation des forêts environnantes (déforestation et transformation de paysages en savane) nécessaire à la fourniture du bois de chauffe et du charbon de bois pour la cuisson des aliments des ménages et pour des artisans.

Ce constat est abondamment documenté par de nombreuses études qui analysent les mécanismes de cet enjeu majeur de la déforestation.

En Afrique Centrale, le bois énergie représente 90 à 95 % du bois exploité (chiffres CIRAD, repris par la Banque Mondiale 2013 « Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo » et par la COMIFAC 2016 « Prospective EFBC 2040 »).

A Brazzaville 67,1 % des ménages utilisent quotidiennement le bois énergie, le charbon de bois représente 86 % du bois énergie consommé (en 2015 : 102 000 t de charbon de bois produites par la carbonisation de 845 000 t de bois) et « provient toujours de coupes à blanc » (« Enquête Ménage du Bois Energie en République du Congo » 2014 MEF).

Les déforestations autour des grands centres urbains ont définitivement fait disparaître les forêts primaires sur des milliers de km² qui sont transformées en savane.

Pour l'année 2015 « l'Enquête Ménage » évalue le besoin de 12 000 ha pour fournir Brazzaville en charbon de bois et cela dans un contexte de doublement en 20 ans.

La prise de conscience du sujet a plus de 25 ans, les états avec les soutiens des organismes et des banques d'aide au développement et avec les expertises des bureaux d'études et de recherche, commencent à avoir les structures de gouvernance nécessaires pour la mise en place des politiques complexes indispensables à la diminution de cette pression majeure sur les forêts ; et cela, dans les contextes difficiles :

- d'une prévision de l'augmentation de l'usage du bois énergie proportionnelle à la croissance urbaine (due à l'augmentation de la démographie (3,x %/an) et au faible pouvoir d'achat de la majorité des ménages),
- de la non prise en compte de la valeur de la biomasse prélevée et des impacts négatifs environnementaux par la filière informelle actuelle de production de charbon de bois,
- des difficultés dues aux problèmes fonciers pour l'implantation de nouvelles structures alternatives durables de production de bois énergie,
- des problèmes d'intégration à des projets industriels alternatifs, des populations locales et des nombreux intervenants qui vivent du secteur actuel du charbon de bois,



- de la non possibilité de rémunération par le marché traditionnel, des services environnementaux rendus par des filières potentielles alternatives et durables (à l'exception des projets pilotes financés par l'aide au développement).

Ces enjeux sont étudiés depuis 15 ans dans des buts opérationnels de rationalisation du secteur bois énergie et sont pris en compte par les politiques nationales.

Par exemple, des modèles pilotes de boisement de zones de savane périurbaines intégrant les populations locales comme acteur principal (projet Makala -CIRAD-, IBI Village-Université de Gembloux...) arrivent à maturité et sont désormais orientés vers la duplication des modèles élaborés (ex. Cap Makala).

De nombreuses études réalisées dans ces parcours pilotes sont fondamentales comme outil d'appui, dans le montage de projets industriels d'afforestation à but énergétique sur des zones de savane (matériel génétique des plantations, adaptation aux sols, études environnementales, techniques adaptées, durabilité, intégration sociale, formation de personnel, calculs de modèles économiques...).

■ Cogénération d'électricité

Le développement économique des pays d'Afrique Centrale est directement lié à la disponibilité de l'énergie électrique.

Au Congo le taux de couverture du réseau électrique est de 50 % dans les villes et de 6 % en milieu rural.

L'augmentation de la puissance électrique produite de façon durable est un objectif stratégique national.

La cogénération d'électricité combinée à une production de charbon de bois améliore la valorisation du pouvoir énergétique de la matière première biomasse forestière en utilisant 80 % du PCI initial au lieu de 45 % pour les meilleures techniques de carbonisation.

La technologie « **CARBONISATION/COGÉNÉRATION D'ÉLECTRICITÉ** » mise au point par une entreprise française fonctionne de façon rentable en France depuis 9 ans puis s'est développée sur 4 sites industriels.

Cette technologie est cooptée comme démonstrateur GREENTECH aux COP 21 et 23 et est retenue à 4 reprises par la Commission de Régulation de l'Énergie Française (CRE) pour des appels d'offre de construction de nouveaux sites de production d'électricité à partir de la biomasse.



LA REPUBLIQUE DU CONGO

186

■ Objectifs, programme

- A la suite d'un long travail d'évaluation des problématiques liées à l'approvisionnement de Brazzaville, Pointe Noire et Dolisie en bois énergie et en particulier « l'Etude de préféabilité Bois Energie Durable » (2012, MEF), et « l'Enquête Ménage » (2014, MEF) citée plus haut,
- A la suite de la création du PRONAR en 2011 (Programme National d'Afforestation et de Reboisement),

Le Ministère de l'Economie Forestière et du Développement Durable (MEF), après la mise en place de la « Stratégie Nationale REDD+ » (juillet 2016), de « La Politique Forestière de la République du Congo 2014-2025 », a défini dans le « Plan d'Investissement de la Stratégie Nationale REDD+ 2018/2025 » l'option stratégique OS. 4 : « Rationalisation de la Production et de l'Utilisation du Bois Energie » développée dans les sous-options SO.4.1 : « Amélioration de l'Offre et Promotion des Techniques visant une Meilleure Efficacité Energétique », SO.4.2 : « Développement des Plantations à Vocation Energétique » et SO.4.4. : « ... promotion de la cogénération d'électricité biomasse ».

Le plan d'investissement de la stratégie nationale REDD+ 2018/2025 programme 6 000 ha de plantation et d'agroforesterie de bois énergie durable dans les départements du Pool et des Plateaux réalisées par des familles et structurées par l'Etat.

Toutefois le Plan d'investissement REDD+ souligne que « 6 000 ha de plantation attendue ne couvriront qu'à peine 2 % de la demande actuelle » de Brazzaville (page 112).

■ Bois énergie domestique durable : un atout climatique

Pour faire basculer la dynamique de déforestation croissante du bois énergie (au prorata des 3 à 4 % de l'augmentation démographique urbaine) vers « une réconciliation des besoins des ménages avec les intérêts de l'environnement » (Schure, CIRAD, 2009), ***il est indispensable d'implanter des filières de bois énergie durables de capacité importante.***

En effet, le bois énergie durable est une source prometteuse d'énergie moderne et d'avenir en se substituant à des MWh fossiles (fuel switch au sens du CDM-UNFCCC).

Produite et utilisée dans de bonnes conditions environnementales et sociales la biomasse énergie, consommée en 2020 par Brazzaville et par le département du Pool cumulés (chiffres de « l'Enquête Ménage 2014 » citée plus haut) : 184 329 t de bois de chauffe et 129 179 t de charbon de bois, correspond à l'économie :

- ***de 155 000 tonnes de pétrole/an (TEP), soit l'équivalent de 6 200 camions de fuel et de 477 000 tonnes/an de CO₂ fossile évités***



- ou à l'équivalent d'une consommation d'électricité produite par 300 MW de puissance électrique (en intégrant les pertes réseau), ce qui représente 50 % de la capacité totale actuelle de production électrique nationale de la République du Congo et qui nécessiterait des investissements de l'ordre de 300 à 500 M€ (hors réseau de distribution).

■ Des solutions durables de grande capacité

En France, l'échelle des capacités de production de charbon de bois varie de 2 500 t/an à 10 000 t/an.

Pour alimenter Brazzaville des unités de 10 000 t/an sont adaptées :

- elles ont des dimensions raisonnables : PME de 35 emplois pour la carbonisation,
 - elles ont une emprise modérée pour le boisement énergie nécessaire à l'approvisionnement (équivalent $\approx 7 \times 7$ km avec les pare feu),
 - **l'unité industrielle modèle de cogénération produit 10 000 t/an de charbon de bois et une puissance électrique de 3 MW soit 25 000 MWh/an fournis au réseau public (équivalent = consommation de 4 000 foyers français).**
- Une usine moderne de production de charbon de bois, pour produire 10 000 t/an :
- avec un bon rendement de 24 % : 2 fois supérieur à la production artisanale,
 - avec le traitement des fumées toxiques pour l'environnement et la santé,
 - **avec la production d'électricité fabriquée avec la chaleur issue du traitement des fumées de carbonisation : 3 MW électrique** (pour information : Cf. annexe 7),
 - avec la création d'activité économique en zone de savane dans une pratique de croissance inclusive,
 - a besoin de 42 000 t/an de bois soit 4 400 ha de plantation avec une rotation de récolte de 11 ans. Ces ordres de grandeur sont obtenus à partir d'études dirigées par le CIRAD, en particulier « Production d'acacia auriculiformis dans le système d'agroforesterie de Mampu, plateau Batéké, RDC » (2017) et à partir de l'expérience industrielle française en création et direction d'usine de charbon de bois du porteur du projet,
 - et créerait une centaine d'emplois directs pour la plantation et la carbonisation/cogénération électrique.

90 % de la consommation actuelle de charbon de bois de Brazzaville ainsi que 30 MW électrique pourraient être fournis de façon durable par une dizaine d'unités industrielles de taille moyenne réparties sur les zones de savane pertinentes de la région du Pool affectées par le PRONAR.

Cette production de charbon de bois compléterait l'offre du bois de chauffe existante et la part de charbon de bois durable que les projets REDD+ mettent en place.



■ Prospective 2040

Scénario tendanciel / scénario bas carbone conditionnel (INDC COP 21 - Cf. annexe 1)

L 188

« L'Enquête Ménage 2014 », en corrélation avec d'autres études, montre que la consommation de charbon de bois de Brazzaville est de 112 000 t en 2018, sera de 140 000 t en 2025 (+ 20 % en 6 ans) et sera le double en 23 ans soit 225 000 t en 2040 issues de la carbonisation de 1 867 000 t de bois non durable (équ : 74 000 camions par an et 17 000 ha/an de coupe à blanc) si les paramètres du mode d'approvisionnement biomasse et du rendement de carbonisation n'évoluent pas.

De tels volumes, à substituer à la production informelle actuelle, ne peuvent être fournis rapidement de façon respectueuse de l'environnement, du climat et de la société, que par des projets durables de grande ampleur qui mettent en œuvre les meilleures technologies disponibles en termes de production de biomasse et de carbonisation.

Voici succinctement les enjeux de chacun des deux modes de production de charbon de bois pour 90 % des besoins 2018, ou 45 % des besoins 2040 de Brazzaville : 100 000 t/an de charbon de bois.

➤ NON DURABLE : Pour une production de charbon de bois traditionnelle actuelle de 100 000 t/an

- rendement traditionnel de carbonisation 12 % sur bois sec à l'air (études précitées)
- besoin de bois : 830 000 t/an (8,3 kg de bois pour produire 1 kg de charbon de bois)
- fraction de bois non renouvelable 90 % (évaluation fNRB = 0,9)
- ce qui représente des émissions de CO₂ de déforestation de 1 MtCO₂/an environ [(réf. Méthodologie CDM UNFCC AMS IIIBG -extrapolation de small scale à large scale-) 100 000 t x 8,3/1 x 0,015 TJ/t x 1 x 0,9 x 81,6 (*) = 914 000 tCO₂/an
(*) facteur d'émission de CO₂ du bois consommé (valeur par défaut CDM UNFCC)]
- soit l'équivalent de la combustion de 300 000 t/an de pétrole, soit le chargement de 12 000 camions de fuel par an
- et les autres conséquences environnementales et sociales négatives dues à la dégradation des paysages (études).

➤ DURABLE : Pour une production de charbon de bois industrielle de 100 000 t/an avec cogénération de 30 MW de puissance électrique

- rendement industriel de carbonisation 24 % sur bois sec à l'air
- besoin de bois : 420 000 t/an (4,2 kg de bois pour 1 kg de charbon de bois)



- fournies par des plantations industrielles durables de bois énergie : 105 t/ha de production exploitable sur boisement acacias auriculiformis après 10 ans de croissance (réf. CIRAD -Mampu, Batéké, 2017 -extrapolation-)
- il faut récolter 4 000 ha/an
- il faut boiser 55 000 ha/rotation sur 11 ans, en intégrant une marge de sécurité de 20 % pour aléas naturels, feux, prélèvements informels...
- il faut faire les actions nécessaires d'intégration des populations locales et de restructuration/intégration de la filière actuelle de production du charbon de bois, en particulier en concertation avec l'ARECOBEN (Association pour le Reboisement, l'Environnement et le Commerce du Bois Energie)
- les 90 % (non récoltés) de la plantation en croissance représentent un puits de carbone stable de 5 à 6 MtCO₂ après 10 ans de d'existence de la plantation, d'un grand intérêt climatique, environnemental et social sur des sites initialement très dégradés et désertés (amélioration hydrique et fertilité des sols, biodiversité, emplois décentralisés : gestion par les agriculteurs locaux des pépinières, d'agriculture intercalaire, d'apiculture et d'autres produits forestiers non ligneux).

Conclusion : Pour fournir à Brazzaville 100 000 t/an de charbon de bois durable (consommation 2018 ou demi-consommation 2040)

Les plantations de bois énergie de 55 000 ha associées à leurs sites industriels de carbonisation avec cogénération d'électricité participeraient de façon importante aux « Objectifs de réduction de la déforestation non planifiée à 20 % de son niveau actuel, à l'horizon 2035 » (INDC COP 21).

- ***100 000 t/an de charbon de bois durable***
- ***250 000 MWh/an d'électricité durable (100 000 ménages Congolais)***
- ***1 MtCO₂/an de déforestation évitée par la production de charbon de bois durable***
- ***Création d'un puits de carbone de 5 à 6 MtCO₂ séquestrées (avec permanence)***
- ***Avantages :***
 - ***Environnementaux → amélioration des sols et de la biodiversité,***
 - ***Aménagement du territoire → création de pôles économiques délocalisés en région et électrification rurale,***
 - ***Socio-économiques → limitation de l'exode rurale, création de compétence et de valeur en région.***



VIABILITÉ ÉCONOMIQUE ? D'UN SITE INDUSTRIEL DURABLE COMBINÉ PLANTATION BOIS ÉNERGIE/CARBONISATION

L 190

▪ Très faible prix de vente du charbon de bois en Afrique Centrale

On doit s'interroger sur le fait que malgré un énorme marché local et régional, aucune entreprise industrielle de production de charbon de bois ne se soit implantée en Afrique Centrale.

Pour cela, on analyse comparativement les principaux critères de pérennité d'une production de charbon de bois européenne (en référence à l'expérience industrielle de la société Sidénergie SA) par rapport aux valeurs des mêmes critères et au contexte spécifique de la région de Brazzaville.

➤ En Europe une usine de charbon de bois a un budget équilibré :

- en commercialisant le charbon de bois vrac à ≈ 400 €/t ou livré conditionné à la grande distribution à ≈ 550 €/t
- en achetant le bois appro à ≈ 40 €/t
- avec un rendement de carbonisation de 22 % (4,54 kg de bois pour 1 kg de charbon de bois)
- dans un contexte de forte mécanisation
- avec un coût salarial minimum de 1 500 €/mois par salarié.

Il faut noter que tous les petits carbonisateurs qui n'arrivaient pas à ces bons rendements de fabrication ont fermé leurs entreprises à la suite de difficultés financières.

En France il reste seulement quelques carbonisateurs importants qui produisent avec des équipements modernes à très bon rendement.

➤ En République du Congo, le contexte financier est diamétralement opposé :

- les prix de vente producteur en sac « bord de route » sont très bas, ils oscillent entre **122 et 150 €/t** (2 000 à 2 500 CFA/sac de 25 kg) pour les raisons suivantes :
- actuellement le coût de la matière première bois est presque nul,
- le coût des impacts environnementaux négatifs n'est pas pris en compte,
- les salaires sont très bas,
- les investissements de modernisation sont inexistants.

Dans ce **contexte qui permet les très faibles prix de vente nécessaires à une clientèle à faible pouvoir d'achat**, une amélioration des rendements de carbonisation par un investissement sur le matériel de carbonisation ne suffit pas à assurer l'équilibre financier d'une usine de charbon de bois durable, malgré le faible coût salarial.



C'est pour cette raison qu'aucune unité de production moderne ne s'est jamais implantée en Afrique Centrale malgré l'énorme marché et malgré l'urgence climatique/environnementale de modifier le schéma de production actuel.

191

- **La solution à étudier : « la carbonisation avec la cogénération d'électricité » et la rémunération complémentaire des services environnementaux et climatiques rendus par une filière durable**

Ce constat très pessimiste ne peut être contré que par des initiatives volontaristes et très coûteuses dans le court terme telles que les programmes, pionniers et sociaux, REDD+ actuels ou par *le saut technologique de « la carbonisation associée à une cogénération d'électricité » complété par la valorisation des réductions d'émission de CO₂ générées par ce projet alternatif industriel et durable.*

Actuellement, le cours du carbone commence à atteindre une valeur permettant d'épauler significativement les projets à forte réduction d'émission de CO₂ qui ne sont pas viables financièrement sans la rémunération additionnelle des Services Environnementaux (projets MDP -Mécanisme de Développement Propre CCNUCC ou REDD+).

On réalise l'approche d'un compte d'exploitation d'une unité de boisement/carbonisation/cogénération d'électricité de 10 000 t/an de capacité de production de charbon de bois et 3 MW électrique en calculant la quantité de réduction d'émission de CO₂ réelle que le projet génère et peut revendiquer, sans prendre en compte dans un premier temps, les contraintes administratives restrictives imposées par les méthodologies actives CDM-UNFCCC.

➤ **Hypothèse pour une unité « boisement/usine », composante du projet**

- production : **10 000 t/an de charbon de bois** (rendement 24 % sur bois sec)
- production électrique : **3 MW soit 25 000 MWh/an**
- **appro bois : 42 000 t/an**
- productivité exploitable boisement acacias auriculiformis : 107 t/ha.10ans (extrapolation CIRAD-Mampu, Batéké, 2017), on prend 105 t/ha.10ans
- 42 000 t/105 t = **400 ha/an récoltés**
- **Surface totale du boisement (rotation 11 ans) : 4 400 ha (400 ha/an plantés)**

➤ **1-a. Plantation 4 000 ha : Calcul des réductions d'émission de CO₂ du puits de carbone du boisement après 10 ans de croissance (cf. annexe 2)**

- productivité de la biomasse totale (aérienne + souterraine) :
 - aérienne : 145 t/ha.10ans (CIRAD)
 - souterraine : 145 t/ha.10ans x 0,18 (extrapolation à partir de CIRAD)
 - biomasse totale : 171,1 t/ha.10ans
 - On prend 170 t/ha.10ans de matière sèche

Soit une productivité moyenne de 17 t/ha.an de matière sèche totale stockée



- productivité moyenne en équivalent carbone stocké après 10 ans de croissance : 30,5 tCO₂/ha.an
- 660 000 tCO₂ de puits de carbone définitif et stable (si permanence) des 4 400 ha atteint après 10 ans de croissance (400 ha/an plantés, récolte la 11^{ème} année et replantation la 12^{ème} année) à diminuer de la biomasse initiale existante sur la zone et des consommations d'énergie fossile du projet.

On prend **600 000 tCO₂ de séquestration additionnelle après 10 ans de création de la plantation de 4 000 ha**

- valorisation des services climatiques, environnementaux et sociaux :
« Les plantations forestières contribuent à répondre à la demande accrue des populations » (J-N. Marien, Cirad) en épargnant la dégradation des écosystèmes naturels. Elles créent des zones d'activité économique décentralisées et améliorent les milieux dégradés des zones d'implantation.
Ce double effet positif (évitement et régénération) permet l'étude d'une prise en charge de ces boisements par le Plan Stratégique National REDD+ dans la composante C1 : « plantations forestières pour la production bois énergie »
- la création sur 10 ans de la plantation industrielle de 4 000 ha nécessite un budget global de 6,4 M€ (cf. ci-dessous et *annexe 3*).
A partir de la 11^{ème} année, l'entretien, la récolte et la replantation annuelle du boisement seront pris en charge par les recettes charbon de bois et électricité de l'unité de carbonisation.

➤ **1-b. Plantation 4 000 ha : coût de la création - 10 ans - 400 ha/an** (Cf. *Annexe 3*)

- Investissements :

Total investissements	730 000 €
Amortissement (8 ans)	92 000 €/an
Investissement, coût à l'hectare (400 ha/an)	230 €/ha
Pépinière, coût à l'hectare	230 €/ha
- Fonctionnement :

Fonctionnement, coût à l'hectare (400 ha/an)	986 €/ha
Management (50 000 €/an affectés à 400 ha)	125 €/ha
Monitoring /vérification (100 000 € pour 4 000 ha)	25 €/ha

Total investissement de création de la plantation, hors coûts fonciers et impôts :

par hectare : 1 596 €/ha
par an (400 ha) : 638,4 K€/an
pour 10 ans (4 000 ha plantés) : 6 384 K€
amortissement forestier (25 ans) : 256 K€/an, pour l'investissement
coût de revient investissement: 6 €/t bois exploitable sur pied (équ sec)



- **1-c. Plantation 4 000 ha : coût fonctionnement avec récolte à partir de la 11^{ème} année :**
(Cf. Annexe 3)

Il faut rajouter :

Coût de récolte et de transport usine (6,2 €/t ms) 660 €/ha

L 193

Total charges « fonctionnement et récolte » de la plantation hors coûts fonciers et impôts :

par hectare : 2 256 €/ha (plantation 1596 + récolte 660)

par an : 902,4 K€/an, pour le fonctionnement

soit coût de revient fonctionnement : 21 €/t de matière sèche à l'usine

- **1-d. Protocole d'accord entre le PRONAR/MEF et SIDENERGIE :**

Signé le 15 mars 2019, il garantit « la mise à disposition du projet de 5 000 ha de terres à boiser ou/et déjà boisées ».

Cet engagement du Ministère de l'Economie Forestière Congolais représente une étape majeure pour la faisabilité du projet et son soutien institutionnel.

De plus, la mise à disposition de plantations matures permet un démarrage rapide de la production.

- **2-a. Production de charbon de bois durable 10 000 t/an : calcul des réductions**

d'émission de CO₂, de l'évitement des émissions du secteur traditionnel du charbon de bois

- La seule méthodologie existante pour cette activité concerne les projets small scale (ER CO₂ < 60 000 t/an).

C'est un handicap à surmonter en proposant une méthodologie adaptée.

Toutefois on fait le calcul à partir de l'outil existant : AMS III BG (CDM UNFCCC)

- $ER_y = 10\ 000\ t/an\ charcoal \times 8,3/1 \times 0,015\ TJ/t \times 1 \times 0,9 \times 81,6 = 91\ 400\ tCO_2/an$ à diminuer des consommations d'énergie fossile et des éventuelles fuites.

- On prend **85 000 tCO₂/an de réduction d'émission résultant de la carbonisation durable par rapport à la production traditionnelle de charbon de bois.**

- **2-b. Production de 25 000 MWh d'électricité biomasse durable : calcul des réductions d'émission de CO₂ par rapport au facteur d'émission (266 g CO₂/KWh) moyen de la production électrique congolaise**

- Facteur d'émission moyen du Congo : 266 g de CO₂/KWh

Production centrales gaz 53 % à 418 g de CO₂/KWh

Production centrales fuel 6 % à 730 g de CO₂/KWh

Production centrales hydraulique 41 % à 6 g de CO₂/KWh

- Production centrale à biomasse du projet : 25 g de CO₂/KWh

- On prend **6 000 tCO₂/an de réduction d'émission résultant de la production d'électricité biomasse.**



➤ **2-c. Production de charbon de bois 10 000 t/an et cogénération d'électricité : comptes d'investissements et de fonctionnement** (Cf. annexe 4)

L 194

- Investissements :

Total investissements	27 495 K€
Amortissement	1 441 K€/an

- Charges de fonctionnement :

· Salaires (31 h x 12 mois x 400 €/mois)	150 K€/an
· Monitoring carbone	30 K€/an
· Consommables (gasoil véhicules et groupe élec)	800 K€/a
· Management	100 K€/an
<i>Total fonctionnement</i>	<i>1 080 K€/an</i>

- Total charges usine : **2 521 K€/an**

➤ **3- Compte de résultat général plantation/carbonisation/cogénération électrique :**

Charges d'exploitation usine	2 521 K€/an
Charges d'exploitation plantation (années 11 à 35) (bois sec rendu : 27 €/t)	1 158 K€/an
<u>Total des charges</u>	3 679 K€/an

Recettes charbon de bois (10 000 t/an x 185 €/t)	1 850 K€/an
Recettes électricité (25 000 MWh/an x 80 €/MWh)	2 000 K€/an
<u>Total des recettes</u>	3 850 K€/an

Résultat brut bénéficiaire 171 K€/an

Après la période d'amortissement de la plantation, à partir de la 36^{ème} année le résultat brut augmente de 256 K€/an pour passer à **427 K€/an**.

(On prend 25 ans de durée d'amortissement de la plantation pour une durée de vie minimum de 3 rotations).

Recette potentielle complémentaire/marché carbone 200 à 500 K€/an
100 000 t CO₂ x (2 à 5 €/t)



CONCLUSION GÉNÉRALE

L 195

▪ Création de la plantation

Les surfaces boisées matures créées et mises à la disposition du projet par le PRONAR/MEF permettent le lancement de la production sans attendre les 10 ans nécessaires à la création de la plantation de 4 400 ha.

▪ Fonctionnement de l'usine et de la plantation

Dans le contexte régional du très faible prix de vente du charbon de bois, le saut technologique de « la carbonisation associée à la cogénération d'électricité » permet, grâce à la vente complémentaire d'électricité, d'atteindre l'équilibre financier pour le fonctionnement de l'usine et le coût de la durabilité de la biomasse matière première.

▪ Valorisation additionnelle des réductions d'émission de CO₂ ?

La production de 10 000 t/an de charbon de bois durable évite le prélèvement sur le milieu naturel de 83 000 t/an de bois, soit l'équivalent de 85 000 tCO₂/an de réduction d'émission selon la méthodologie AMS III BG du CDM-UNFCCC.

La production de 25 000 MWh/an d'électricité durable vendue au réseau génère environ 6 000 tCO₂/an de réduction d'émission.

Le puits de carbone forestier représente 600 000 tCO₂ captées à affecter sur 30 ans.

L'enregistrement très coûteux et administrativement très lourd des réductions d'émission de CO₂ auprès du CDM-UNFCCC pourrait générer une recette complémentaire de 200 à 500 K€/an (100 000 tCO₂/an avec un prix de 2 à 5 €/tCO₂).

▪ Avantages socio-environnementaux

- Evitement du prélèvement non durable de biomasse dans le milieu naturel
- Fourniture de charbon de bois 100 % durable pour Brazzaville
- Fourniture d'électricité 100 % durable sur le réseau public
- Sur les zones de savane replantées : reconstruction d'un écosystème enrichi par l'amélioration de la fertilité et des qualités hydriques des sols, réapparition d'insectes et de faune, possibilité d'exploiter des cultures intercalaires (manioc) et des produits forestiers non ligneux (miel, chasse, chenilles...)



- Dans les districts d'implantation du projet : création de pôle économique décentralisé, création de compétence et de valeur, électrification rurale, limitation de l'exode rural par la création d'emplois directs et induits.

196

▪ Développement de la filière biomasse énergie durable

Une unité industrielle durable de 4 400 ha de boisement sur des zones de savane dégradées fournit 10 000 t/an de charbon de bois et 25 000 MWh/an d'électricité aux usagers soit l'équivalent de 9 000 Tep/an durables.

Dans les conditions actuelles de production du charbon de bois non durable et de l'électricité à 50 % d'origine fossile, la production durable du projet évite la consommation de 35 000 Tep/an fossile soit 250 000 barils/an de pétrole.

Sur le long terme, la consommation de charbon de bois à Brazzaville est une réalité ainsi que son doublement en 20 ans (115 000 t en 2019 et 223 000 t en 2040).

Le potentiel de dégradation des forêts est immense et il est pris en compte par les pouvoirs publics dans les objectifs stratégiques nationaux et dans le lancement de projets agroforestiers REDD+.

Mais face aux énormes quantités de charbon de bois non durable à substituer, le développement d'un réseau d'unités industrielles efficaces et durables est la seule solution pour combattre rapidement (sur 20 ans) ce problème, facteur majeur de la déforestation.

Le projet pourrait, par exemple, être intégré au CDM.UNFCCC sous la forme d'un PoA (Programme Of Activities) (cf. *annexe 5*) qui envisagerait la création de la quinzaine d'unités boisement/carbonisation/cogénération nécessaires à l'horizon 2030.

Cette procédure spécifique (PoA) présente de nombreux avantages pour les pays en développement en termes de mutualisation des procédures et des coûts d'enregistrement pour les différentes Composantes du Projet d'Activité (CPA), ainsi qu'en terme de soutien à l'accession à la finance carbone.

Les actions de cet enjeu national pourraient être managées par une agence publique « Action Biomasse Energie » à objectif essentiellement opérationnel car toutes les études préalables, très chronophages et coûteuses, existent.



ANNEXE 2 - Puits de carbone forestier stable après 10 ans Pour 4 400 ha/récolte, replantation 400 ha/an

D'après l'étude Cirad 2017 « production d'acacias auriculiformis, dans le système agroforestier de Mampu, plateau Batéké (RDC) »

La production de matière sèche après 10 ans de croissance est :

- aérienne totale : 145 t/ha.10ans (exploitable : 107 t/ha.10 ans)
- souterraine : 26,1 t/ha.10ans (145 x 0,18 extrapolation)
- biomasse totale : 171,1 t/ha.10ans
- soit une productivité moyenne de 17 t/ha.an

Donc le stockage moyen de CO₂ est de 30 tCO₂/ha.an (17 x 0,49 x 44/12)

Une parcelle de 400 ha accumule 12 000 tCO₂/an

Accumulation totale après 10 ans de croissance : 660 000 tCO₂ [12 000 x n (n+1)/2]

Donc après diminution de l'équivalent carbone de la biomasse initiale existante sur la zone et des consommations d'énergie fossile :

Equivalent réduction d'émission de CO₂ = 600 000 tCO₂ (si permanence du puits de carbone)

Schéma de la séquence de plantation et âge de la plantation sur chaque parcelle

Année n	n° des parcelles de 400 ha										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	création du boisement										
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
5	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0
6	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
7	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0
8	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0
9	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0
10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
11	démarrage carbonisation/fonctionnement du boisement										
11	0	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
12	1	0	10	9	8	7	6	5	4	3	2
13	2	1	0	10	9	8	7	6	5	4	3



ANNEXE 3 - Coût du boisement 4 400 ha

Coût de la création - 10 ans - 400 ha/an : 1 596 €/ha

L 198

- Investissements :

· 2 petits tracteurs + foreuse (2 x 45 000 €)	90 000 €
· 2 gros tracteurs + remorques (2 x 100 000 €)	200 000 €
· 1 tracteur forestier + tête de coupe	250 000 €
· Tronçonneuses + outils	20 000 €
· 1 pelle mécanique + grappin	170 000 €
Total investissements	730 000 €
Amortissement (8 ans)	92 000 €/an
Investissement, coût à l'hectare (400 ha/an)	230 €/ha
Pépinière, coût à l'hectare	230 €/ha

- Fonctionnement de la plantation :

· Préparation du terrain :	130 €/ha
· Plantation : main d'œuvre (4j x 3h x13 €/h.j)	156 €/ha
fuel	200 €/ha
· Entretien : main d'œuvre	200 €/ha
fuel	200 €/ha
· Intrants :	100 €/ha
· Monitoring, vérification (100 000 € pour 4 000 ha)	25 €/ha
· Management (50 000 €/an affectés à 400 ha)	125 €/ha
Fonctionnement, coût à l'hectare (400 ha/an)	1 136 €/ha

Total coûts de création hors coûts fonciers et impôts :

par hectare :	1 596 €/ha
par an :	638,4 K€/an
pour 10 ans (4 000 ha plantés) :	6 384 K€
amortissable sur 25 ans :	256 K€/an (6 €/t bois sec rendu usine)

Coût de la récolte/transport à partir de la 11^{ème} année : 660 €/ha, 264 K€/an, 6,3 €/t ms

Il faut rajouter au coût de création le coût de la récolte et du transport vers l'usine.

· Récolte + transport usine : main d'œuvre (4j x 5h x13 €/h.j)	260 €/ha
fuel	400 €/ha

Coût total récolte, replantation et entretien à partir de la 11^{ème} année : 964K€/an

Total coûts de fonctionnement hors coûts fonciers et impôts :

par hectare :	2 256 €/ha (21 €/t bois sec rendu usine)
par an :	902 K€/an

**ANNEXE 4 - CAPEX/OPEX unité de carbonisation**

L 199

CAPEX**- Investissements :**

- Carbonisation + Cogé élec + aménagement site, 25 M€ (20 ans) 1 250 K€/an
- Chariots, 2 x 12 t, 315 000 € (8 ans) 40 K€/an
- Chariots, 2 x 3,5 t, 80 000 € (8 ans) 10 K€/an
- Bureaux, vestiaires, 200 000 € (20 ans) 10 K€/an
- 2 Camions grue, 300 000 € (9 ans) 34 K€/an
- Autres matériels, 1 M€ (15 ans) 67 K€/an
- Groupe électrogène, broyeur, tapis, trommel...
- Volet carbone, dossier MDP, 600 000 € (20 ans) 30 K€/an

Total investissements **27 495 K€**
Amortissement **1 441 K€/an**

OPEX**- Fonctionnement :**

- Salaires (31 h x 12 mois x 400 €/mois) 150 K€/an
- Monitoring carbone 30 K€/an
- Consommables (entretien, fuel engins et groupe élec) 800 K€/an
- Management 100 K€/an

Total fonctionnement **1 080 K€/an**

Charges d'exploitation carbonisation/cogé élec : **2 521 K€/an**
Production charbon de bois : 10 000 t/an
Production électricité : 25 MWh/an

Charges d'exploitation boisement : (902 + 256) **1 158 K€/an**
Production biomasse sèche : 42 000 t/an (27 €/tms rendu)

Charges totales de l'unité : **3 679 K€/an**
Boisement/carbonisation/cogénération électricité