



**Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo.**

Rapport final

Financé par :



Programme "Biodiversité et Forêts"

SalvaTerra  
Décembre 2014

## **Auteurs**

Jérôme MAURICE, ingénieur forestier (SalvaTerra) et Maden LE CROM, ingénieur forestier (SalvaTerra).

## **Supervision**

Professeur Jean LEJOLY (GI Agro), Ulrich MÜLLER (GIZ), Gabrielle MUNDUKU GABOLA (GIZ).

## **Remerciements**

*Nos remerciements vont à l'ensemble des contributeurs directs et indirects de cette étude, dont les cadres et membres du GI Agro – en particulier Jean Lejoly et Aaron Mbuyamba – et de Novacel – en particulier Olivier Mushiete –, l'Union des fermiers agroforestiers de Mampu, les coopératives de charbonniers des villages de Mutiene, Yolo, Duale Bolingo, Inziolo et Bwantaba, ainsi que les dépositaires de makala de Kinshasa qui ont bien voulu nous accorder leur temps pour partager leur expérience. Nous remercions en particulier Emmanuel Mvula Mampasi et Samuel Martin qui ont bien voulu partager avec nous les résultats des travaux menés actuellement par la SNV en matière de formation des charbonniers aux techniques améliorées ainsi que leurs connaissances approfondies sur la filière makala. Nous remercions également Emilien Dubiez qui a bien voulu partager avec nous ses connaissances approfondies sur les systèmes agroforestiers et la carbonisation améliorée sur le plateau des Batéké.*

*A travers ce rapport, leurs contributions témoignent de la solidarité des acteurs du développement envers la promotion d'une agroforesterie durable en périphérie de Kinshasa.*

## **Avertissement**

<p><i>Le présent rapport, financé et supervisé par la GIZ, a été préparé par SalvaTerra. Le contenu de ce rapport relève de la seule responsabilité de ses auteurs et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant la position de la GIZ.</i></p>
--

*Cette étude a été élaborée dans le cadre du Projet "Biodiversité et Forêt" de la GIZ.*

## Sommaire

<b>Sommaire</b>	<b>3</b>
<b>Liste des annexes</b>	<b>5</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>5</b>
<b>Liste des cartes</b>	<b>5</b>
<b>Liste des équations</b>	<b>5</b>
<b>Liste des photographies</b>	<b>5</b>
<b>Acronymes</b>	<b>6</b>
<b>Résumé pour décideurs</b>	<b>7</b>
<b>1. Contexte de l'étude</b>	<b>10</b>
1.1. La consommation de bois-énergie à Kinshasa:	10
1.2. Le bois-énergie, facteur de déforestation et de dégradation forestière:	10
1.3. Le Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké:	11
1.4. La qualité du makala produit à partir d' <i>Acacia auriculiformis</i> en plantations	13
1.5. L'évolution des prix du makala	13
1.6. Problématique	13
<b>2. Volet "Aménagement des plantations forestières":</b>	<b>17</b>
2.1. Evaluation de la ressource ligneuse	17
2.1.1. Surfaces productives	17
2.1.2. Réalisation d'un inventaire par échantillonnage	19
2.1.1. Diamètres moyens des brins	21
2.1.2. Stock sur pied	22
2.1.3. Valeur du stock sur pied	22
2.2. Programmation des coupes	23
2.3. Coûts d'exploitation des bois	24
2.3.1. Abattage, ébranchage et façonnage	24
2.3.2. Débardage	25
2.3.3. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels	25
2.3.4. Cas du transport de bois sec vers un site de carbonisation fixe	25
2.4. Main d'œuvre	26
2.5. Organisation des chantiers d'exploitation	26
2.5.1. Période d'exploitation	26
2.5.1. Organisation des équipes	27
2.5.2. Quelques consignes de sécurité lors de l'abattage	28
<b>3. Volet "Exploitation et carbonisation":</b>	<b>29</b>
3.1. La carbonisation: pyrolyse et combustion partielle du bois	29
3.2. État des lieux des techniques de carbonisation	30
3.2.1. La carbonisation traditionnelle en meule ou en fosse	30
3.2.1. La carbonisation traditionnelle "améliorée"	34
3.2.2. Les fours fixes pour la carbonisation améliorée	40
3.2.3. Les fours métalliques transportables	44
3.2.4. A propos des rendements	44
3.3. Scénario 1 : carbonisation traditionnelle améliorée	45
3.3.1. Quantité globale de makala	45
3.3.2. Coûts de production du makala	46
3.3.3. Organisation des chantiers de carbonisation	46
3.3.1. Main d'œuvre nécessaire	47
3.3.2. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels	48
3.3.3. Autres coûts à prévoir	49
3.4. Scénario 2 : carbonisation semi-industrielle (Adam Retort)	50
3.4.1. Quantité globale de makala	51
3.4.2. Coûts de production du makala	51

3.4.3.	Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels _____	53
3.4.4.	Autres coûts à prévoir _____	53
<b>3.5.</b>	<b>A propos des taxes: _____</b>	<b>53</b>
<b>4.</b>	<b>Volet "Transport": _____</b>	<b>55</b>
4.1.	État des lieux de la problématique du transport _____	55
4.2.	Scénario 1 : transport externalisé _____	56
4.2.1.	Coûts du transport _____	56
4.2.2.	Main d'oeuvre nécessaire _____	56
4.2.3.	Organisation du transport _____	56
4.2.4.	Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels _____	57
4.2.5.	Autres coûts à prévoir _____	57
4.3.	Scénario 2 : transport internalisé _____	57
4.3.1.	Coûts du transport _____	57
4.3.2.	Organisation du transport _____	57
4.3.1.	Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels _____	58
4.3.2.	Main d'oeuvre nécessaire _____	58
4.3.3.	Autres coûts à prévoir _____	58
<b>5.</b>	<b>Volet "Commercialisation": _____</b>	<b>59</b>
5.1.	État des lieux de la problématique de la commercialisation _____	59
5.2.	Scénario 1 : commercialisation en gros et semi-gros _____	60
5.2.1.	Prix de vente _____	61
5.2.2.	Main d'œuvre nécessaire _____	61
5.2.3.	Organisation de la commercialisation _____	61
5.2.4.	Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels _____	61
5.3.	Scénario 2 : commercialisation au détail (marché de niche) _____	61
5.3.1.	Prix de vente _____	61
5.3.2.	Organisation de la commercialisation _____	62
5.3.3.	Main d'oeuvre nécessaire _____	62
5.3.4.	Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels _____	62
<b>6.</b>	<b>Recommandations pour le plan d'affaires _____</b>	<b>63</b>
	<b>Bibliographie _____</b>	<b>64</b>
	<b>Annexes _____</b>	<b>65</b>

## Liste des annexes

---

Annexe 1 : Liste des personnes consultées .....	65
Annexe 2 : Localisation exacte du PCIB (Source: PDD) .....	66
Annexe 3 : Poids d'un échantillon de 10 sacs de makala mesurés à Ibi en Novembre 2014 .....	67
Annexe 4 : Évaluation des coûts de transport dans le scénario internalisé .....	68
Annexe 5 : Estimation des surfaces productives des plantations réalisées entre 2009 et 2010 .....	69

## Liste des tableaux

---

Tableau 1: Bilan des surfaces plantées dans le PCIB jusqu'en 2010 .....	12
Tableau 2: Estimation des surfaces productives dans les sous-blocs plantés en 2008.....	17
Tableau 3: Diamètre moyen (à 1,3m) dans les sous-blocs plantés en 2008 .....	21
Tableau 4: Estimation des stocks sur pied dans les sous-blocs plantés en 2008.....	22
Tableau 5: Calendrier agricole du plateau des Batéké .....	26
Tableau 6: Augmentation de la température et réactions physico-chimiques du bois .....	29
Tableau 7: Comparaison des rendements en meules traditionnelles sur le Plateau des Batéké.....	31
Tableau 8: Comparaison des coûts de montage de meules traditionnelles sur le Plateau des Batéké .....	33
Tableau 9: Comparaison des coûts de défournement, ensachage et emballage sur le Plateau des Batéké .....	35
Tableau 10: Comparaison des rendements en meules traditionnelles "améliorées" sur le Plateau des Batéké....	39
Tableau 11: Rendements de carbonisation pour différentes techniques de pyrolyse .....	45
Tableau 12: Quantités de main d'œuvre nécessaire pour la carbonisation traditionnelle améliorée .....	48
Tableau 13: Coût moyen de construction d'un four Adam .....	51
Tableau 14: Coût d'opération des fours Adam .....	52
Tableau 15: Répartition théorique des fours Adam par sous-bloc .....	52
Tableau 16: Estimation des coûts de transport au départ d'Ibi (CDF/sac).....	56

## Liste des cartes

---

Carte 1: Vue d'ensemble du périmètre du Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké .....	12
Carte 2: Vue générale des blocs de plantation et vue particulière des sous-blocs plantés en 2008.....	12
Carte 3: Vue aérienne sur Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa .....	15
Carte 4: Répartition des sous-blocs par année de plantation (2008 à 2011) .....	16
Carte 5: Vue particulière des sous-blocs C6NE, C7NW et C7SW .....	17
Carte 6: Vue particulière des sous-blocs A9SW, A9SE et A10SW .....	18
Carte 7: Plan d'échantillonnage dans les sous-blocs plantés en 2008 .....	20

## Liste des équations

---

Équation 1: Relation entre le nombre de placettes et l'erreur d'échantillonnage .....	19
Équation 2: Tarif de cubage pour l' <i>Acacia auriculiformis</i> âgé de 7 ans à Ibi .....	22

## Liste des photographies

---

Photo 1: Zone incendiée (à gauche) et peuplement bien venant (à droite) .....	18
Photo 2: Le sac "bande verte" surmonté d'une "tête" à trois étages .....	30
Photo 3: Meule en cours de montage à Mutiene selon la méthode améliorée proposée par SNV .....	36
Photo 4: Ecorçage d'un <i>Acacia auriculiformis</i> dans un sous-bloc en bordure de Route Nationale 1 .....	47
Photo 5: Le transport par camion depuis la Nationale 1 entre Ibi et Kinshasa.....	55
Photo 6: Sacs bande verte et bande bleue indifféremment entreposés dans un dépôt à Kinshasa .....	59
Photo 7: Marché Liberté vidé par un jour de pluie .....	60

## Acronymes

---

°C	degré Celsius
CDF	Francs congolais
CIFOR	Centre for international forestry research
cm	centimètre
CO	Monoxyde de carbone
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
CV	Chevaux (puissance)
EBR	Équivalent bois rond
GES	Gaz à effet de serre
GI Agro	Groupe d'initiatives pour l'agroforesterie en Afrique
GIZ	<i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
h	heure
ha	hectare
HJ	hommes-jours
km	kilomètre
L	litre
m	mètre
m <sup>3</sup>	mètre cube
MDP	Mécanisme de développement propre
MJ	Mégajoule
mm	millimètre
PBF	Projet Biodiversité et Forêt
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PCIB	Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké
RN1	Route Nationale 1
SIG	Système d'information géographique
SNV	Organisation néerlandaise de développement
SPRL	Société privée à responsabilité limitée
UFAM	Union des fermiers agroforestiers de Mampu
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
USD	Dollars américains

## Résumé pour décideurs

---

Le marché du bois-énergie à Kinshasa représente potentiellement 5 millions de personnes (ménages et industriels) et un chiffre d'affaires de l'ordre de 143 millions USD. D'après ces mêmes travaux, un ménage kinois dépense en moyenne 266 USD par an pour les dépenses d'énergie liées à la cuisson des aliments, la principale utilisation du bois-énergie. Le bois-énergie à Kinshasa est majoritairement consommé sous la forme de charbon de bois, à l'inverse de Kisangani par exemple où l'on consomme davantage de bois de chauffe. Près de 490 000 tonnes de makala ("charbon de bois" en lingala) sont consommées annuellement à Kinshasa d'après les enquêtes menées dans le cadre du projet Makala entre 2010 et 2011 (Schure et al., 2011).

L'exploitation du bois-énergie représente un important facteur de déforestation et de dégradation forestière dans la périphérie de Kinshasa, et plus généralement autour des grandes zones urbaines de la République Démocratique du Congo. Une partie du bois utilisé pour la production de makala provient des défrichements agricoles réalisés pour mettre en culture de nouveaux terrains en zone forestière ou en savane (jachères). Une autre partie provient de prélèvements réalisés en savanes, sans mise en valeur agricole particulière. Même s'ils ont une préférence pour les espèces à bois durs, dont font partie les Acacias, la rareté de la ressource ligneuse dans le bassin d'approvisionnement de Kinshasa entraîne les charbonniers vers la carbonisation de toute espèce disponible, sans distinction.

Les plantations forestières gérées durablement sur le Plateau des Batéké (Mampu, Ibi et alentours) fournissent moins de 2% des quantités de makala consommées à Kinshasa. Dans le Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké (PCIB), la grande majorité des surfaces (89% sur 1 175 ha plantés entre 2008 et 2010) ont été plantées en *Acacia auriculiformis* et en *Acacia mangium*. Certains peuplements, plus ou moins endommagés par les feux, arriveront à maturité à partir de 2015, et seront donc prêts à produire du makala à destination de Kinshasa. L'inventaire forestier mené en novembre 2014 sur 90 placettes dans des plantations d'*A. auriculiformis* âgées de 6 ans indique un diamètre moyen d'environ 10 cm, exploitable pour la production de makala. Par ailleurs, les volumes estimés à l'aide d'une équation allométrique développée pour Ibi par Cassart (2011) indiquent un stock sur pied total proche de 12 140 m<sup>3</sup> pour ces mêmes peuplements plantés en 2008, avec un volume moyen par hectare compris entre 89,4 et 135,6 m<sup>3</sup>/ha.

Les opérations d'abattage devront préférentiellement avoir lieu entre Mai et Septembre, avant le démarrage de la saison A. Si l'abattage d'une parcelle est trop tardif, il est préférable de le reprogrammer pour la saison B, ou de le reporter à l'année suivante. Le débardage bord de route est réalisé dans la foulée de l'abattage, afin de faciliter les travaux de mise en culture successifs. Il est sans doute préférable d'internaliser la main d'œuvre liée à l'abattage et de fournir aux abatteurs du matériel neuf, peu consommateur en carburant et lubrifiants. Un cahier des charges précis doit être élaboré par Novacel ainsi qu'un règlement sur la sécurité, les opérations d'abattage présentant des risques de blessure grave, voire mortelles. Enfin, un système de suivi-contrôle des quantités de carburant et de lubrifiants consommés doit être mis en place par Novacel pour éviter les détournements. Le recours à des contractants individuels est à proscrire, ceux-ci n'ayant en général pas les capacités de se dédier entièrement à une tâche donnée, en particulier au début de la saison des pluies.

En matière de carbonisation, la "pyrolyse du bois" est influencée par de nombreux facteurs. Trois d'entre eux peuvent être plus ou moins contrôlés, par des procédés naturels ou artificiels: (i) la quantité d'air qui pénètre dans l'enceinte de carbonisation et qui active la combustion, mais générant aussi des cendres, (ii) la température de cuisson, qui permet d'évaporer l'eau et active la pyrolyse (plus elle est élevée, plus le taux de carbone pur est élevé) et (iii) l'humidité du bois, un bois sec nécessitant moins d'énergie pour être carbonisé. Ainsi, les procédés de carbonisation doivent-ils être étanches pour contrôler l'eau et l'air dans l'enceinte de carbonisation, et le bois sec pour limiter les quantités d'énergie nécessaires au démarrage de la pyrolyse.

L'énergie nécessaire pour sécher le bois et augmenter la température de cuisson pour atteindre la température de pyrolyse (au-dessus de 350-380°C) peut être fournie de trois façons: (i) par combustion partielle d'une partie de la charge (cas des fours traditionnels et de certains fours en métal/briques). Le rendement est en général moindre car la combustion est difficile à contrôler, une partie du bois est inutilement brûlé dans l'enceinte ; (ii) par chauffage externe dans un foyer de chauffe mis en contact avec la charge par une surface d'échange (vase clos, cornues). Les gaz dégagés lors de la carbonisation sont récupérés et réinjectés dans le système ; (iii) par contact de gaz chauds provenant d'un foyer externe et mis en contact direct avec la charge. Les gaz dégagés lors de la carbonisation sont récupérés et réinjectés dans le système (procédés de type Lambiotte).

La carbonisation traditionnelle est à proscrire, car elle est inefficace (rendement sur masse sèche de l'ordre de 10% à 15%) et dangereuse pour les producteurs. Il y a plusieurs façons d'améliorer l'efficacité de la carbonisation. La première consiste à améliorer les techniques sans changer de famille de technologie: dans la carbonisation traditionnelle "améliorée", l'énergie est fournie par combustion partielle de la charge. On observe un rendement de l'ordre de 15%, très dépendant du savoir-faire du charbonnier. La seconde consiste à changer de technologie. Dans cette étude, nous avons étudié l'exemple des cornues de type "Adam Retort": des fours en briques et en métal, de charge réduite (3 stères), fixes mais pouvant être démontés et remontés, à chauffage externe par combustion de résidus dans un foyer de chauffe et à circulation des gaz à l'intérieur de la charge. Théoriquement le rendement atteint 35% à 40% selon son constructeur.

Les fours traditionnels améliorés sont utilisés à Mampu depuis plusieurs années. La SNV a également formé des charbonniers professionnels à cette technique de carbonisation dans plusieurs villages du Plateau des Batéké (Yolo, Mutiene, Inziolo, Bwantaba...), il y a donc une main d'œuvre et un savoir-faire disponibles à proximité d'Ibi. La différence avec la carbonisation traditionnelle réside essentiellement dans les règles de construction du four, ce qui en fait une solution accessible pour la plupart des charbonniers, en plus d'être plus sécuritaire. Les fours à cornues de type Adam Retort présente le principal avantage d'augmenter considérablement les rendements, théoriquement du moins. La qualité de la production dépend moins de l'opérateur que de la qualité de la construction du four. Cependant, les coûts d'investissement sont bien entendus plus élevés: aux coûts de construction, de patente, d'entretien, s'ajoutent les coûts liés au transport du bois sec vers le four (acquisition et entretien de matériel roulant). Les contraintes logistiques de l'exploitation sont beaucoup plus élevées que pour la carbonisation traditionnelle.

Ainsi, nous recommandons dans un premier temps de réaliser la carbonisation traditionnelle "améliorée" à Ibi: c'est le choix le moins risqué et le plus efficient à court terme. Des charbonniers recrutés en association pourraient être recrutés sur une base volontaire moyennant l'acceptation d'un cahier des charges précis. Novacel pourrait mettre en place un système de surveillance des activités de production. Le GI Agro participerait au renforcement des capacités des charbonniers, ainsi qu'au suivi des activités. Par ailleurs, les bénéficiaires pourraient s'engager, avec l'appui du GI Agro, à la réalisation de plans simples de gestion forestière visant notamment la réalisation de reboisements dans leurs villages, leur permettant à terme de bénéficier d'un gisement de biomasse à proximité directe de leur lieu de vie.

Il est possible à titre pilote d'installer une unité de carbonisation semi-industrielle constituée de plusieurs fours de type Adam Retort (ou autres fours de la même famille). Cependant, des trous de production de bois disponible pour la carbonisation sont à prévoir dans les prochaines années à Ibi étant donné que le rythme de plantation n'est pas constant d'une année sur l'autre. Ainsi, il est déconseillé pour le moment d'investir dans un site de carbonisation démesuré par rapport aux quantités de bois réellement disponibles à l'avenir. En parallèle, il serait probablement préférable de reculer l'exploitation de certains peuplements de bonne qualité afin de lisser la production de bois dans les années à venir.



En matière de transport, Ibi jouit d'une excellente localisation en bordure directe de la RN1 à environ 130 km de Kinshasa. Généralement les producteurs de makala externalisent le transport. En l'occurrence, Novacel aura la possibilité d'utiliser ses propres camions: bien utilisés et entretenus, ils permettront à Novacel de réaliser quelques économies sur les charges liées au transport.

En matière de commercialisation des produits à Kinshasa, nous recommandons dans un premier temps d'écouler les produits dans les principaux dépôts de la ville (grossistes et semi-grossistes). Certains dépositaires identifiés dans cette étude ont reçu un appui de la part de la SNV pour mettre en avant les produits "durables", dont fait partie le makala produit à Ibi.

Par ailleurs, la société Novacel disposant de faibles capacités financières, la vente en bloc et sur pied d'une partie des surfaces disponibles pour la carbonisation permettrait de donner de l'air à la société dans la conduite de ces activités. Les opérations de carbonisation et pourraient être réalisées selon les mêmes principes évoqués précédemment.

## 1. Contexte de l'étude

---

### 1.1. La consommation de bois-énergie à Kinshasa:

---

D'après les travaux menés dans le cadre du projet Makala (Schure et al., 2011), les ménages kinois utilisent à 75% le makala comme principale source d'énergie pour la cuisson des aliments, et à 12% le bois de chauffe. L'électricité ne représente que 12%, et le pétrole 1%.

Chaque année, près de 4,7 millions de m<sup>3</sup> équivalent bois rond (EBR<sup>1</sup>) sont ainsi consommés pour les besoins énergétiques des ménages kinois, dont 490 000 tonnes de makala et 60 000 tonnes de bois de chauffe. Le plateau des Batéké produirait 43% du bois-énergie consommé à Kinshasa.

Un ménage kinois dépense en moyenne 266 USD par an pour les dépenses d'énergie liées à la cuisson des aliments. Le marché du bois-énergie à Kinshasa représente potentiellement 5 millions de personnes (ménages et industriels) et un chiffre d'affaires de l'ordre de 143 millions USD.

Enfin, la filière bois-énergie impliquerait plus de 311 900 personnes, dont 290 000 producteurs, 900 transporteurs et 21 000 vendeurs.

**♣ A Kinshasa, le makala est donc la principale source d'énergie des ménages et devrait le rester encore pour de nombreuses années en l'absence d'alternatives concrètes.**

### 1.2. Le bois-énergie, facteur de déforestation et de dégradation forestière:

---

Le bois-énergie provient principalement des défrichements liés à l'agriculture sur brûlis. En l'absence de gestion de la fertilité des sols agricoles, les forêts représentent la principale réserve de nutriments mobilisables pour les cultures à travers le brûlis.

Avant de procéder au brûlis de la parcelle, le producteur engage généralement un charbonnier pour monter une meule qui produira quelques sacs de makala. La carbonisation permet donc de valoriser un sous-produit de l'agriculture.

Or, la demande en produits agricoles à Kinshasa est telle que le rythme actuel des défrichements est largement supérieur aux capacités de régénération de la forêt. Les durées de mises en jachères sont raccourcies, contribuant ainsi à l'appauvrissement généralisé des sols. Dans le bassin d'approvisionnement de Kinshasa, la forêt continue donc de disparaître, malgré l'énorme quantité de terres arables existantes, faute de pouvoir les mettre en valeur adéquatement.

Cependant Les charbonniers professionnels exploitent également les forêts secondaires, dégradées, en particulier le long des cours d'eau, ainsi que les savanes, dès lors qu'elles présentent un stock sur pied suffisant pour construire une meule. Ils préfèrent évidemment les zones à stock sur pied élevé, comme les forêts et les plantations. Cela dit, les plantations sont plutôt rares (à l'exception des massifs comme Mampu et Ibi), et les charbonniers se contentent plutôt de ce qu'ils trouvent.

Ainsi, une quarantaine d'espèces sont utilisées pour produire du makala, dont plusieurs ont un statut de protection UICN comme l'Iroko (*Milicia excelsa*) et le Wenge (*Millettia laurentii*), deux espèces de forêts secondaires. On utilise également des espèces fruitières comme

---

<sup>1</sup> Le m<sup>3</sup> "équivalent bois rond" est employé pour ramener le volume de produits issus de divers modes de transformation du bois en un volume avant transformation permettant les comparaisons entre catégories de produits (makala et bois de chauffe dans le cas présent).

l'Aiélé (*Canarium schweinfurthii*) ou le Manguier (*Mangifera indica*). Les arbres issus de plantations sont essentiellement des Acacias (*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*) (CapMakala, 2014).

♣ **Même s'ils ont une préférence pour les espèces à bois durs, dont font partie les Acacias, la rareté de la ressource ligneuse dans le bassin d'approvisionnement de Kinshasa entraîne les charbonniers vers la carbonisation de toute espèce disponible, sans distinction. Les alternatives durables, telles que les plantations dédiées à la production de bois énergie, sont encore très peu nombreuses.**

### 1.3. Le Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké:

Le Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké (PCIB) est situé à environ 120 km de Kinshasa, au bord de la Route Nationale 1, dans la commune de Maluku. Un périmètre de 4 200 ha de savanes est dédié aux plantations forestières et agroforestières dans le cadre d'un projet MDP<sup>2</sup> enregistré auprès de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (Carte 1 et Carte 3). Les coordonnées exactes du PCIB sont présentées en Annexe 2 : Localisation exacte du PCIB (Source: PDD)Annexe 2.

Le projet est mis en œuvre par la société congolaise Novacel SPRL. A ce jour, la surface plantée et régénérée naturellement est d'environ 1420 ha (Tableau 1).



<sup>2</sup> Projet MDP n°4176

### Carte 1: Vue d'ensemble du périmètre du Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké

Les plantations ont débuté en 2008, avec 6 sous-blocs de 25 ha chacun: C6NE, C7NW, C7SW, A9SW, A9SE et A10SW (Carte 2). En 2014, ces plantations sont donc âgées de 6 ans et composées quasi exclusivement d'*Acacia auriculiformis*.



Carte 2: Vue générale des blocs de plantation et vue particulière des sous-blocs plantés en 2008

En 2009 et 2010, ce sont respectivement 15 et 16 sous-blocs supplémentaires qui ont été plantés (Carte 4). Parmi les espèces plantées, on peut citer l'*Acacia auriculiformis*, l'*Acacia mangium*, l'*Acacia crassicarpa*, l'*Eucalyptus camaldulensis*, l'*Eucalyptus citriodora* et le *Pinus oocarpa*. Les Eucalyptus et Pins représentent moins de 8% des surfaces plantées.

Le tableau ci-dessous indique les surfaces plantées par espèce et mode opératoire (agroforesterie et foresterie pure, hors régénération naturelle).

Espèce	Mode	État	Surface (ha)
<b>Acacia</b>	Agroforesterie	Très endommagés	277,61
<b>Acacia</b>	Agroforesterie	Endommagés	184,06
<b>Acacia</b>	Agroforesterie	Bien portant	355,83
<b>Acacia</b>	Foresterie pure	Faible croissance	229,18
<b>Eucalyptus</b>	Agroforesterie	Très endommagés	23,15
<b>Eucalyptus</b>	Agroforesterie	n.d.	23,33
<b>Pins</b>	Agroforesterie	Faible croissance	41,18
<b>Espèces locales</b>	Agroforesterie	Faible croissance	5,00
<b>Espèces locales</b>	Foresterie pure	Faible croissance	35,83
<b>Total</b>			<b>1175,17</b>

Tableau 1: Bilan des surfaces plantées dans le PCIB jusqu'en 2010

♣ **La grande majorité des surfaces (89%) ont été plantées en *Acacia auriculiformis* et en *Acacia mangium*. Les peuplements, plus ou moins endommagés par les feux, arriveront à maturité à partir de 2015, et seront donc prêts à produire du bois à destination de la filière bois-énergie.**

#### 1.4. La qualité du makala produit à partir d'*Acacia auriculiformis* en plantations

D'après Cassart (2011), l'*Acacia auriculiformis* présente une densité supérieure à 0,55 après 7 ans, supérieure à celle de l'*Acacia mangium* et à nombreuses autres espèces de savanes et de forêts secondaires.

La qualité du makala augmente avec la densité du bois car celui-ci contiendra davantage d'énergie par unité de volume et se consumera plus lentement. En effet, lorsque la carbonisation est lente, le makala produit est moins friable et plus dense.

C'est la raison principale pour laquelle on retrouve l'*Acacia auriculiformis* parmi les espèces préférées des charbonniers et des consommateurs. Le makala d'*Acacia* se vend à un prix plus élevé que le makala produit à partir de bois moins denses: une différence de 1000 à 2000 CDF/sac en moyenne est observée dans les dépôts entre les deux produits.

D'autres paramètres comme l'humidité du bois et la technique de carbonisation influencent également la qualité du makala produit (voir **Section 3** pour plus d'informations à ce sujet).

#### 1.5. L'évolution des prix du makala

Le prix du makala à Kinshasa subit également des fluctuations saisonnières, à qualité constante. L'offre est généralement abondante en fin de saison sèche, au moment de l'ouverture des champs et en prévision de la rentrée scolaire qui nécessite de déboursier des frais d'inscription. Elle diminue en saison des pluies, sauf au moment des fêtes de fin d'année. Les dépositaires interrogés notent en moyenne une différence de 1000 à 2000 CDF par sac entre la saison sèche et la saison des pluies.

Cependant, la tendance observée depuis 2010 est à l'augmentation du prix moyen du sac année après année. D'après Schure et al. (2011), le prix moyen du sac en 2010 était de 12 650 CDF. D'après trois dépositaires interrogés, il était de 15 000 CDF en 2012 et 17 150 en 2013. Il s'établit à l'heure actuelle à environ 17 000 CDF (novembre 2014) toute qualité confondue.

La variabilité saisonnière et inter-spécifique est néanmoins conservée. Dans les trois dépôts visités en novembre 2014, le prix du sac de makala d'*Acacia* était de 18 200 CDF en saison des pluies contre 15 400 CDF pour les espèces de savanes moins denses (*zamba*). Lors de la dernière saison sèche, le prix du sac d'*Acacia* était aux environs de 16 750 CDF en moyenne.

♣ **D'après les entretiens menés dans 3 dépôts et auprès de plusieurs charbonniers, le prix du sac de makala aurait donc subi une augmentation à Kinshasa depuis 2010. Malgré cela, les consommateurs continuent d'acheter le makala, car c'est la principale source d'énergie disponible à Kinshasa à court et moyen terme.**

#### 1.6. Problématique

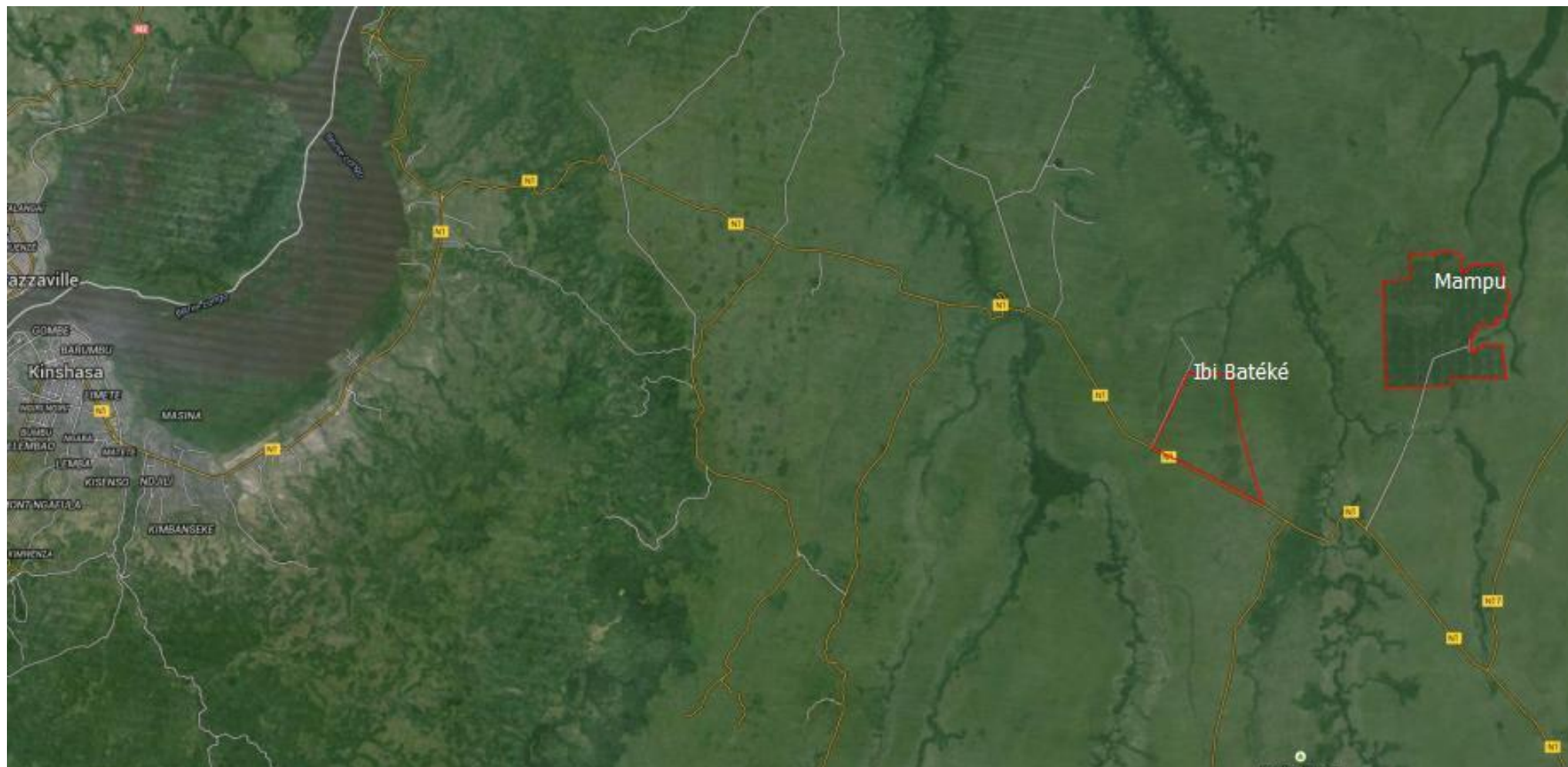
L'exploitation des plantations d'*Acacia auriculiformis* arrivant à maturité dans le Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké appelle donc plusieurs questions:

- Quelle est la quantité de bois effectivement disponible pour la carbonisation dans le PCIB ?

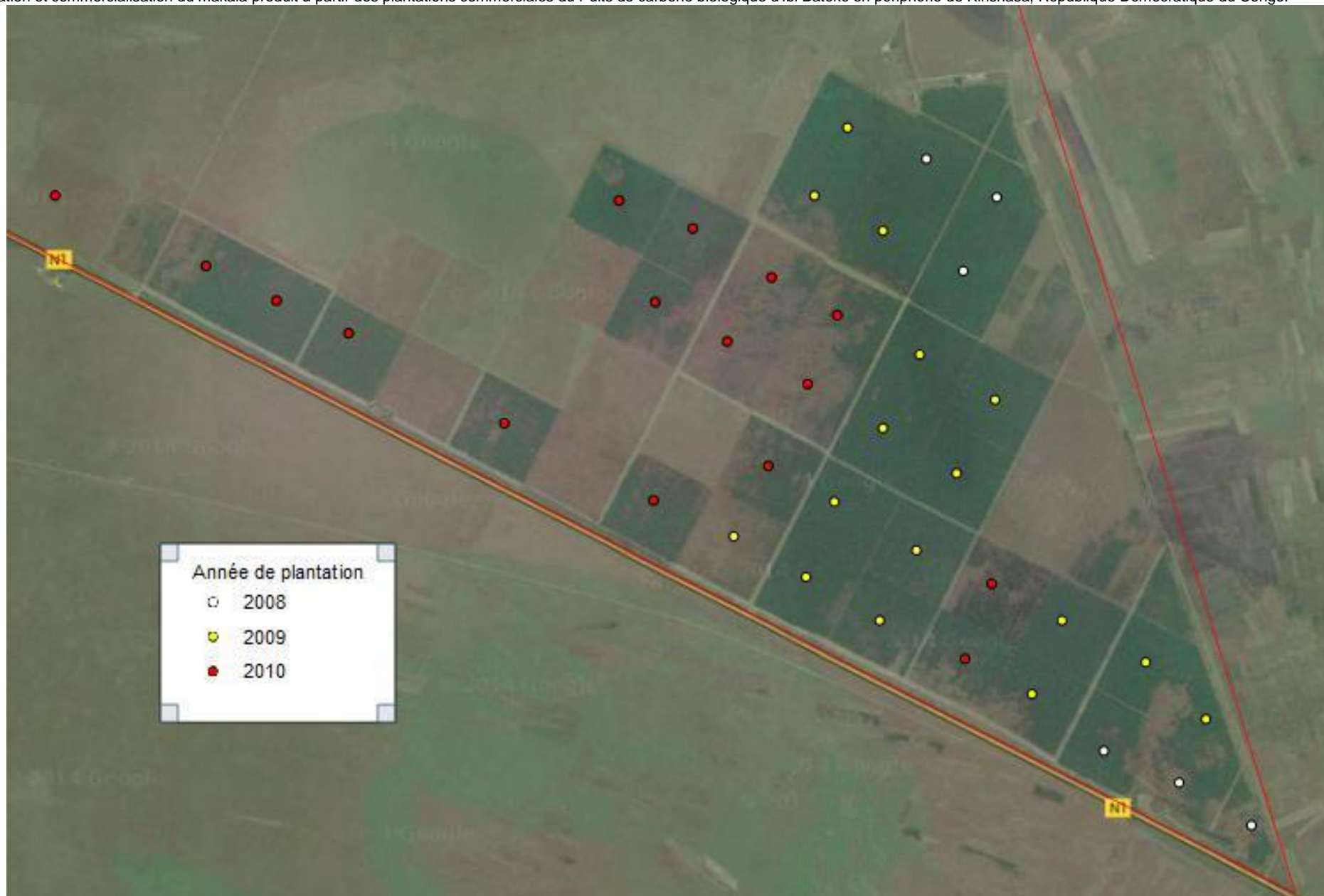
Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone biologique d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

- Quelles sont les techniques de carbonisation adaptées au site d'Ibi et les coûts associés ?
- Quelles sont les modalités d'organisation les mieux adaptées entre l'exploitation en régie, la sous-traitance à des charbonniers professionnels et la vente de bois sur pied ?
- Comment transporter le makala produit à Ibi jusqu'à Kinshasa ?
- Quelle est la meilleure stratégie de commercialisation du makala produit à Ibi ?

L'objectif de ce rapport est de répondre à ces questions, dans le but de produire un plan d'affaires sur 5 ans (2015 – 2019) adapté au contexte des plantations agroforestières du PCIB.



Carte 3: Vue aérienne sur Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa



Carte 4: Répartition des sous-blocs par année de plantation (2008 à 2011)



## 2. Volet "Aménagement des plantations forestières":

### 2.1. Evaluation de la ressource ligneuse

#### 2.1.1. Surfaces productives



**Carte 5: Vue particulière des sous-blocs C6NE, C7NW et C7SW**

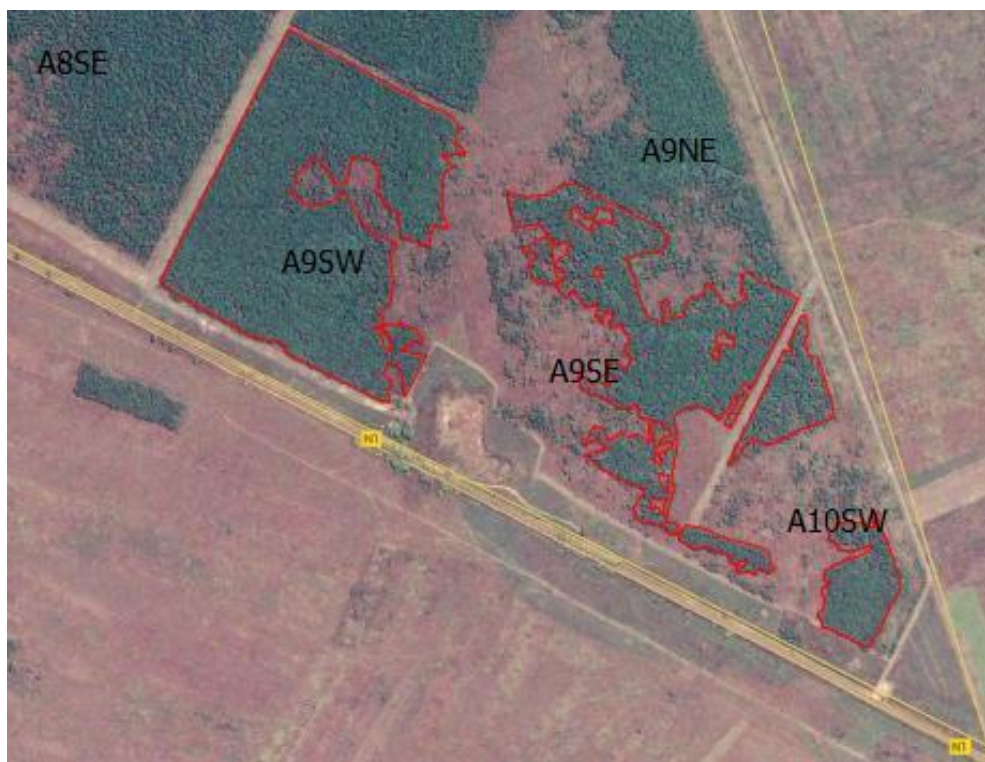
L'estimation des surfaces productives a été réalisée à partir d'images satellite à haute résolution datées de 2013 et fournies par le satellite Google. Une contre-visite de terrain a permis de confirmer l'adéquation des images avec la réalité du terrain (vérité terrain) sur la base de transects de vérification et de points de vérification aléatoires.

Les sous-blocs plantés en 2008 ont fait l'objet d'un découpage manuel en utilisant le logiciel de cartographie Q-GIS<sup>3</sup>. Les résultats sont présentés sur les Cartes 5 et 6 et résumés dans le Tableau 2:

Blocs	Surfaces productives
<b>A10SW</b>	4,11 ha
<b>A9SE</b>	9,34 ha
<b>A9SW</b>	16,49 ha
<b>C6NE</b>	24,96 ha
<b>C7NW</b>	20,98 ha
<b>C7SW</b>	23,29 ha
<b>Total</b>	99,17 ha

**Tableau 2: Estimation des surfaces productives dans les sous-blocs plantés en 2008**

<sup>3</sup> Version 1.8.0 ("Lisboa") sous Licence *Creative Commons* (<http://www.qgis.org/fr/site/>).



**Carte 6: Vue particulière des sous-blocs A9SW, A9SE et A10SW**

Les sous-blocs C6NE, C7NW et C7SW sont relativement homogènes et bien capitalisés, comme on peut l'observer sur la Photo 1. Les sous-blocs A9SW, A9SE et A10SW ont, en revanche, été en partie incendiés. Les zones incendiées ont donc été soustraites du calcul du volume exploitable, de même que les quelques patches isolés difficiles d'accès et présentant un faible capital sur pied.



**Photo 1: Zone incendiée (à gauche) et peuplement bien venant (à droite)**

Une fois les surfaces productives estimées, un inventaire par échantillonnage a été réalisé afin de déterminer le stock sur pied de chaque sous-bloc.

♣ **Le travail de préparation sur base cartographique est indispensable, ce qui nécessite de maîtriser au moins un logiciel SIG (ArcGIS ou QGIS) et de disposer des images adéquates. Ce point devrait faire l'objet d'une formation complémentaire pour au moins un cadre de Novacel et du GI Agro, sans quoi ils resteront toujours dépendants d'une aide extérieure.**

NB: les surfaces productives des plantations de 2009 et 2010 sont présentées en Annexe 5.

### 2.1.2. Réalisation d'un inventaire par échantillonnage

#### **De la théorie...**

Dans un inventaire forestier par échantillonnage, on considère la forêt comme une population d'unités d'échantillonnage (ou "placettes") dont on échantillonne une proportion seulement. Plus le nombre de placettes est élevé, plus l'erreur d'échantillonnage est faible, donc la précision élevée. Mais les coûts de collecte des données augmentent avec le nombre de placettes à inventorier.

L'estimation des volumes s'opère le plus souvent à partir de mesures effectuées sur un individu - l'arbre forestier (des tarifs portant à l'échelle du peuplement forestier, moins précis, existent également). L'obtention de volumes à des échelles plus intégrées (peuplement, massif, territoires) s'obtient par sommation sur un "domaine" donné.

Le volume d'un arbre n'est pas mesurable de façon immédiate. De plus, les méthodes destructives sont lentes, coûteuses, et rarement appropriées à un inventaire d'exploitation. Son appréciation résulte en général d'une estimation, obtenue à partir de modèles fondés sur des estimateurs aisément accessibles, de manière non destructive par des inventaires classiques (hauteur, diamètre).

Dans le secteur forestier, ces modèles sont désignés par le terme de "tarifs de cubage" (à une, deux entrées ou plus, qui désignent le nombre d'estimateurs du volume). Ces modèles sont obtenus à partir d'échantillons dans lesquels le volume de l'arbre a fait l'objet de mesures détaillées. Ils font intervenir un facteur de forme, qui désigne le rapport du volume de l'arbre à celui d'un cylindre de dimensions identiques.

Les valeurs obtenues en mesurant un échantillon ne sont qu'une estimation de la valeur "vraie". Lors de l'inventaire par échantillonnage, on recherche à la fois un résultat qui soit exact (valeur moyenne non biaisée, proche de la valeur vraie) et précis (faible dispersion des mesures autour de la valeur vraie).

On souhaite aussi limiter les erreurs de mesure. Celles-ci peuvent être aléatoires (erreur d'échantillonnage, erreur de lecture d'un instrument, erreur de prise de donnée...) ou systématiques (compas mal réglé, ruban mal étalonné, sur-échantillonnage de certaines zones forestières, etc.).

En général, les principales sources d'erreur proviennent de source humaine (instruments déréglés au fil du temps, vue de l'opérateur qui baisse, défaut d'utilisation d'appareil, mauvais placement pour mesurer une hauteur, erreur de calcul de retour au bureau...). En mettant en place des règles rigoureuses, et des procédés de suivi-contrôle (double-mesure, étalonnage, etc.), on est capable de réduire ce risque.

L'erreur "mesurable" entre toute est l'erreur d'échantillonnage provenant du fait qu'on observe une moyenne sur un échantillon et pas dans la population entière. La valeur moyenne obtenue quand toutes les placettes sont combinées représente un estimateur de la moyenne vraie de la population. L'erreur d'estimation (absolue) correspond à la différence entre ces deux valeurs. Pour un inventaire, on la fixe en général en valeur relative ("on ne veut pas se tromper de plus de 5% sur le volume").

L'erreur due à l'échantillonnage ( $e\%$ ) témoigne de la confiance accordée dans l'estimation de la moyenne. Cette erreur est d'autant plus faible que le nombre de placettes inventoriées ( $N$ ) est élevé. En pratique, elle est fonction du type d'échantillonnage (systématique, aléatoire, etc.), du coefficient de variation de la grandeur étudiée ( $CV\%$ ) et du nombre de placettes (Équation 1 ci-dessous).

$$N = \left( t_{1-\alpha/2} * \frac{CV\%}{e\%} \right)^2$$

**Équation 1: Relation entre le nombre de placettes et l'erreur d'échantillonnage**

Autrement dit, l'intervalle de confiance sur la moyenne est fonction de l'erreur relative : dans l'hypothèse d'un degré de confiance  $1 - \alpha$  de 95% (souvent utilisé) et d'une erreur relative fixée à 10%, pour 95% des échantillons issus de la même population (en imaginant qu'on répète l'échantillonnage un certain nombre de fois), la moyenne vraie se situe dans un intervalle de plus ou moins 10% la valeur moyenne estimée.

♣ **Les caractéristiques d'un inventaire forestier résulte toujours d'un compromis entre la précision recherchée et les moyens disponibles.**

... à la pratique !

En pratique, le nombre de points d'échantillonnage (placettes dans le cas d'inventaire forestier) peut être calculé en fixant a priori une erreur relative (par exemple, on acceptera une erreur sur le résultat final inférieure à 5%) et en utilisant une mesure de la variabilité de la variable étudiée (supposé connu, au moins approximativement à partir de pré-inventaires ou d'après la littérature).

Dans notre cas d'étude, nous disposons d'une première estimation de la variabilité des circonférences moyennes des arbres à 1,30 m de hauteur ( $c_{1,3}$ ) dans des peuplements d'*Acacia auriculiformis* âgés de 7 ans grâce à un inventaire mené en 2011 à Ibi Cassart (2011). L'auteur estimait que le coefficient de variation<sup>4</sup> de cette variable était proche de 40%.

On considère par ailleurs que l'erreur relative sur l'estimation de la circonférence moyenne doit être comprise entre 5% et 10% (compromis coût-précision). En supposant que  $t_{1-\alpha/2}$  est proche de 2 car  $N$  sera supérieur à 30, on estime le nombre de placettes d'inventaire supérieur à 64.

On répartit ensuite aléatoirement les placettes dans le domaine à inventorier, qui ne présente a priori qu'une seule strate. Pour ce faire, on a disposé une grille à maille carrée de 100 mètres de côté aléatoirement sur le domaine constitué par les sous-blocs plantés en 2008 (Carte 7). Les placettes situées dans les surfaces non productives ont été retirées.

Les coordonnées GPS des placettes ont été extraites puis importées dans un Garmin 62s de précision inférieure à 10 mètres, ce qui offre un compromis coût-précision acceptable.



**Carte 7: Plan d'échantillonnage dans les sous-blocs plantés en 2008**

La dimension des placettes est toujours difficile à évaluer a priori. Quelques règles peuvent cependant être retenues: (i) la dimension dépend de la variabilité locale: en plantations très homogènes, les placettes seront plus petites qu'en forêt naturelle (ii) à taux

<sup>4</sup> Noté "CV%", c'est le rapport de l'écart type sur la moyenne (exprimé en % donc), qui caractérise la variabilité entre placettes pour une variable donnée.

d'échantillonnage égal, il vaut mieux faire plus de placettes, plus petites (iii) une placette doit inclure suffisamment d'arbres représentatifs, mais le temps consacré aux mesures ne doit pas être excessif, (iv) les dimensions sont d'autant plus grandes que les distances les séparant sont élevées, (v) les dimensions dépendent également du compromis entre les coûts d'installation et la précision recherchée.

On a donc opté pour des placettes rectangulaires orientées vers le Nord Est incluant théoriquement 27 arbres, soit 3 lignes x 9 rangées compte tenue de la densité de plantation (3m x 3m soit 1111 arbres/ha). Les placettes rectangulaires sont bien adaptées aux plantations homogènes car leur matérialisation peut se faire facilement en repérant les lignes et rangées d'arbres.

Les alignements étant bien respectés dans les peuplements inventoriés et la pente faible à quasi nulle (pas de correction de pente), on a posé l'hypothèse que la surface des placettes était égale à  $(9 \times 3) / 1111 = 2,43$  ares. Avec plus de temps à notre disposition, nous aurions mesuré chaque surface de placette individuellement.

Au final, 90 placettes en zone productive ont pu être échantillonnées, soit un taux d'échantillonnage proche de 2%. Les hauteurs ont été estimées avec un étalon de 6m (bambou) et les circonférences avec un mètre-ruban.

♣ ***En l'occurrence, on peut estimer le coût de cet inventaire à 5 650 USD hors coût d'acquisition du matériel (GPS, ordinateurs, etc.). Ce coût élevé inclue le coût de l'assistance technique internationale: préparation des cartes et du protocole (1 HJ), test du protocole (1 HJ), formation de l'équipe d'inventaires (2 HJ), suivi des inventaires (2 HJ). Chaque nouvelle placette présente toutefois un coût marginal de collecte des données très faible (inférieur à 5 USD/placette) tant que le protocole ne nécessite pas d'être révisé.***

#### 2.1.1. Diamètres moyens des brins

La mesure des circonférences moyennes permet d'accéder directement au diamètre moyen par placette et par sous-blocs. Cette donnée est importante parce que le diamètre des billons a un impact sur le rendement de carbonisation.

Si les diamètres sont trop petits (< 3 cm), il y aura probablement moins de makala et plus de poussière. Si les diamètres sont trop gros (> 20 cm, variable en fonction des espèces et de l'humidité du bois), le temps de carbonisation sera plus élevé, et la carbonisation à cœur probablement incomplète. Un refendage est nécessaire avant d'enfourner les gros bois, ce qui augmente les coûts de production.

D'autre part, le diamètre moyen informe sur le matériel adapté pour les opérations d'abattage et de façonnage.

Sous-blocs	d <sub>1,3</sub> moyen (cm)
A10SW	9,9
A9SE	10,9
A9SW	9,7
C6NE	9,7
C7NW	9,7
C7SW	9,5
Moyenne	9,7

Tableau 3: Diamètre moyen (à 1,3m) dans les sous-blocs plantés en 2008

On constate sur le Tableau 3 que le diamètre moyen est proche de 10 cm, ce qui nécessite pas de refendage un matériel d'abattage adapté aux petits diamètres. L'erreur d'échantillonnage sur la circonférence moyenne est inférieure à 7%.

### 2.1.2. Stock sur pied

Le stock sur pied peut être estimé à partir du modèle développé par Cassart (2011) et qui lie le volume individuel sur pied à la circonférence à 1,30m ( $c_{1,3}$ ) et à la hauteur à la circonférence  $c_{1,3} = 9$  cm, spécialement développée pour l'*Acacia auriculiformis* à Ibi. La formule de ce tarif de cubage linéaire sans intercept est donné ci-dessous pour un peuplement âgé de 7 ans:

$$V = 0,05357 * (c_{1,3}^2 * h)$$

$$\text{où : } c_{1,3} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2}$$

La circonférence globale de l'arbre ( $c_{1,3}$ ) est calculée sur la base de la circonférence de chacun des brins ( $c_i$ ) et  $h$  est la hauteur à la découpe 9cm (de circonférence).

#### Équation 2: Tarif de cubage pour l'*Acacia auriculiformis* âgé de 7 ans à Ibi

A noter que l'emploi de ce tarif de cubage tend à surestimer le volume total, car l'inventaire a permis de mesurer la hauteur totale, qui est plus élevée que la hauteur à la découpe 9 cm (de circonférence).

Pour des raisons pratiques, il est difficile d'obtenir cette hauteur sans échantillonnage destructif. Par ailleurs, il n'existe pas de modèle allométrique liant la hauteur totale à la hauteur à la découpe 9 cm (de circonférence). Cependant, même avec cette surestimation, le volume estimé reste plus proche de la réalité qu'avec un autre modèle non adapté au contexte spécifique et stationnel d'Ibi.

Pour chaque sous-bloc, on peut donc estimer le volume moyen ( $m^3/ha$ ) et le volume total ( $m^3$ ) compte tenu des surfaces productives connues:

Sous-blocs	Volume moyen ( $m^3/ha$ )	Surface productive (ha)	Volume total ( $m^3$ )
A10SW	89,4	4,11	367,4
A9SE	112,4	9,34	1 049,8
A9SW	102,4	16,49	1 687,9
C6NE	127,6	24,96	3 185,8
C7NW	135,6	20,98	2 845,1
C7SW	128,9	23,29	3 002,5
Total général			12 138,6

Tableau 4: Estimation des stocks sur pied dans les sous-blocs plantés en 2008

### 2.1.3. Valeur du stock sur pied

On appelle la valeur du stock sur pied, la "valeur de consommation" des bois telle qu'elle résulterait d'une vente des bois dans l'état dans lequel ils se trouvent. C'est le prix (valeur marchande) que paierait un acheteur pour des arbres répondant à ses besoins immédiats moins les frais de commercialisation liés à la coupe. Elle est égale à la valeur finale du peuplement arrivé à l'âge d'exploitabilité.

La valeur de consommation est égale au volume de bois sur pied multiplié par le prix au m<sup>3</sup>. Or, il n'existe pas de mercuriale de prix "officielle" permettant d'accéder facilement au prix du m<sup>3</sup> de bois en République Démocratique du Congo pour ce type de bois de plantations.

D'ailleurs, les pratiques locales consistent plutôt à vendre une surface (1/4 ha au minimum) à un prix fixe indépendant du volume sur pied (de 250 USD/ha à 1 200 USD/ha).

On propose donc de reconstituer le prix du m<sup>3</sup> sur pied à partir des hypothèses sur le prix du makala et des marges bénéficiaires générées aux différentes étapes de la filière makala, de l'abattage à la commercialisation. Si la vente doit être faite "à la surface" et non "au volume", il suffira de multiplier le volume sur pied de la surface en question par le prix du m<sup>3</sup> obtenu par calcul.

Le résultat de cette estimation dépendant des scénarios techniques choisis, il est donc reporté à la **Section 6** de ce rapport.

♣ **La valeur de consommation n'est qu'une composante de la valeur totale des forêts.**

## 2.2. Programmation des coupes

Les coupes pourraient débuter par les sous-blocs A9SW, A9SE et A10SW. Ils présentent à la fois des zones plus ou moins capitalisées et des zones improductives.

Ces sous-blocs situés en bordure de RN1 pourraient être attribués à des acheteurs extérieurs car ils sont plus facilement accessibles (dans l'hypothèse où ils seraient effectivement attribués à des acheteurs). Ils sont - pour partie - plus difficilement exploitables dans les zones moins capitalisées, il serait donc préférable de ne pas y engager de main d'œuvre en régie afin de mieux maîtriser les coûts.

Les recettes directes générées par la vente de bois sur pied pourraient y couvrir en partie les frais de suivi d'exploitation, la régénération naturelle assistée des zones capitalisées et le renouvellement des plantations dans les zones improductives.

L'inconvénient majeur est que ces sous-blocs sont les plus éloignés de la base vie d'Ibi. Le coût de reboisement de ces zones y est probablement le plus élevé car il mobilise un tracteur sur de longues distances. Les coûts d'implantation, d'entretien et de suivi du manioc de seconde rotation sont également les plus élevés dans cette zone.

Les sous-blocs C6NE, C7NW et C7SW pourraient être exploités dans un second temps, voire reportés en année (n+1) si l'exploitation en année (n) n'est pas réalisable. Dans ce cas il serait nécessaire de mettre en place un suivi de croissance et de l'état phytosanitaire des plantations, en s'appuyant sur le protocole établi au cours de cette mission. A l'inverse, les coûts de reboisement et de suivi dans ces sous-blocs seront les moins élevés.

Pour faciliter le suivi d'exploitation, il serait sans doute préférable de matérialiser des ¼ ha ou des ½ ha sur le terrain à la bombe de peinture avant leur attribution. La récolte d'écorces nécessaires à l'emballage des sacs de makala (voir **Section 5.3.3**) y serait effectuée avant l'abattage, obligeant ainsi les intervenants à respecter les peuplements voisins.

♣ **Nous pensons donc qu'il serait judicieux d'envisager de toute façon la vente du bois sur pied dans certaines zones afin de générer des liquidités permettant de financer le fonds de roulement nécessaire au suivi d'exploitation et à l'exploitation en régie, si celle-ci s'avérait intéressante. Dans ce cas, un paiement à l'avance (up-front) serait exigé.**

## 2.3. Coûts d'exploitation des bois

---

### 2.3.1. Abattage, ébranchage et façonnage

---

L'abattage doit se faire manuellement, avec une tronçonneuse en bon état. Avec un diamètre moyen proche de 9,5 cm, un guide chaîne de 30 à 40 cm est largement suffisant, le diamètre maximum relevé étant de 24,5 cm. Une tronçonneuse de type STIHL MS 241 pèse seulement 5 à 7 kg et peut être utilisée à la fois pour l'abattage et le façonnage (billonnage des grumes et coupe des grosses branches).

Les tronçonneuses actuelles présentent également l'intérêt de réduire la consommation en carburant et en lubrifiants (de 20% à 50% selon les modèles). On estime leur consommation entre 0,3 et 0,6 L/stère de carburant et moitié moins de lubrifiants, en fonction des travaux à accomplir et de la dimension des produits. Ces chiffres sont très variables d'un utilisateur à l'autre.

Par ailleurs, plus petit est le guide chaîne, plus faibles sont les risques d'accidents. Les risques d'accidents graves voire mortels sont réels, ainsi les techniques de base et règles de sécurité doivent être connues de l'abatteur. Une formation initiale est souvent nécessaire.

L'abatteur doit en outre disposer des équipements de sécurité nécessaires tels qu'un casque de sécurité, une visière ou des lunettes en polycarbonate, des protecteurs auditifs, des gants de sécurité, un pantalon avec jambières de protection et des chaussures de sécurité.

Compte tenu de l'homogénéité et des faibles dimensions des troncs, on estime qu'un abatteur bien équipé et son aide peuvent abattre et façonner entre 7,5 et 10 stères<sup>5</sup> de bois par jour, équivalent à 4,7 à 6,3 m<sup>3</sup> réels. Ceci équivaut à une productivité de 29 à 39 arbres abattus et façonnés par jour, le volume de l'arbre moyen étant estimé à 0,16 m<sup>3</sup> d'après les données d'inventaire.

Sur le plateau des Batéké, la pratique la plus classique consiste à embaucher un abatteur individuel payé au litre de carburant. Le coût moyen varie entre 1 500 CDF/Litre quand le contracteur fournit la tronçonneuse à 5 000 CDF/Litre quand c'est l'abatteur qui la fournit. Ce mode de fonctionnement pose problème pour plusieurs raisons:

- Il est préférable de disposer de matériel neuf moins consommateur en carburant et adapté aux dimensions des produits. D'après nos entretiens auprès des charbonniers locaux, les tronçonneuses qu'ils utilisent consomment entre 0,25 et 1,6 Litres de carburant par stère.
- Il est difficile de contrôler les quantités de carburant et d'huile qui circulent pour chaque abatteur. Les risques de détournement sont élevés, ce qui explique aussi en partie les écarts observés en matière de consommation de carburant et de lubrifiants d'un abatteur à l'autre.

Il serait donc préférable d'indexer le prix à payer pour service d'abattage/façonnage au stère rendu (si la législation sur le travail au Congo le permet), et de proposer une prime d'abattage fonction du rendement journalier et du soin apporté au travail.

♠ **Coût d'investissement (tronçonneuse + matériel de protection): 1 200 à 1 800 USD/unité hors frais d'importation. Frais d'entretien: 15%/an du coût d'investissement (incluant les pièces de rechange). Durée d'amortissement: 5 ans. Frais variables: 0,3 à**

---

<sup>5</sup> 1 stère = 1 mètre cube apparent en billons de 1 mètre de longueur. Le coefficient d'enstérage correspond au rapport "volume apparent/volume réel". Pour des billons de 1 m, il est compris entre 1,3 et 1,6 (valeur retenue dans cette étude). En toute rigueur, on ne devrait plus employer le terme "stère" quand la longueur des billons n'est plus d'1 mètre (on devrait parler de "mètres cubes apparents"). En pratique, le terme de "stère" reste employé couramment.



**0,6 L de carburant par stère et 0,15 à 0,3 L d'huile par stère, soit entre 1,4 et 2,8 USD/stère. Forte variabilité en fonction du matériel employé. Main d'œuvre: 1 USD/stère rendu pour l'abatteur et 0,5 USD/stère rendu pour son aide (soit respectivement 10 USD et 5 USD/jour avec un rendement journalier de 10 stères). Nourriture à la charge de l'opérateur.**

### 2.3.2. Débardage

Le débardage s'effectue manuellement vers l'endroit de la parcelle où sera montée la meule, ou le bois stocké avant transport le cas échéant. La pratique la plus classique consiste à payer à la tâche, du ¼ ha jusqu'au dixième d'ha.

Le prix payé varie considérablement d'un opérateur à l'autre et il est parfois inclus dans un ensemble de services liés soit à l'abattage-façonnage, soit au montage-défournement de la meule.

Les chiffres disponibles sur le débardage réalisé en plantations d'Acacias indiquent que le prix varie de 25 000 CDF/ha à 80 000 CDF/ha. Ce chiffre varie sans doute en partie avec le stock sur pied par ha. Or cette donnée n'est pas disponible, car inconnue de la part des enquêtés. Il est vraisemblable qu'elle varie aussi fortement d'un opérateur à l'autre, en fonction de ses capacités de négociations.

Les données disponibles permettant d'évaluer le temps passé à débarder un ha de plantation d'acacias de 8 ans indiquent un rendement de 20 à 32 HJ/ha. En considérant un volume par ha de 124,3 m<sup>3</sup>/ha (volume moyen observé dans les plantations de 2008 à Ibi), et un coefficient d'enstérage de 1,6, le rendement journalier serait de l'ordre de 6 à 10 stères par jour, ce qui est acceptable.

Comme pour l'abattage-façonnage, il serait préférable d'indexer le prix à payer pour service de débardage au stère rendu si cela est conforme à la législation congolaise sur le travail.

**♣ On estime qu'avec 1 USD/stère débardé, l'opérateur peut gagner entre 6 et 10 USD/jour. Cela peut paraître cher payé, mais c'est un travail qui exige beaucoup de force physique. Nourriture à la charge de l'opérateur.**

### 2.3.3. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

Les opérations d'abattage et de débardage nécessitent des contrats à temps plein pendant une durée limitée (5 à 6 mois par an). En général, les abatteurs sont recrutés de manière individuelle, il n'existe pas de coopératives d'abatteurs.

Les accords contractuels à prévoir peuvent faire référence au cahier des charges techniques des opérations d'abattage et débardage. Sauf si cela est contraire à la réglementation sur le travail au Congo, ils devraient mentionner le service à la tâche et la durée limite exigée pour chacune des tâches.

### 2.3.4. Cas du transport de bois sec vers un site de carbonisation fixe

Le transport de bois sec vers un site de carbonisation fixe nécessiterait l'emploi d'un tracteur et d'une benne agricole. On peut estimer le coût du transport d'une tonne de bois sec en posant des hypothèses sur le tonnage de la remorque (ex: 5 stères), la consommation du tracteur (8 L/heure), la distance moyenne de transport (6 km maximum) et la quantité de main d'œuvre requise pour transporter le bois (1 ouvrier spécialisé) et le chargement/déchargement sur site (1 ouvrier temporaire en appui à l'ouvrier spécialisé).

En une journée, il est possible de réaliser jusqu'à 3 allers-retours, considérant la vitesse d'un tracteur (12 km/h) et le temps de chargement/déchargement d'une remorque de 5 stères. La distance totale parcourue serait de 36 km, soit 3 heures de transport et 24 L de carburant.

Le coût journalier d'un ouvrier spécialisé peut être estimé à 7 USD, contre 3,5 USD pour un ouvrier temporaire. Le prix du diesel est quant à lui autour de 1,6 USD/Litre.

♣ **Coût d'investissement (tracteur 80 CV + benne agricole): 53 000 USD/unité hors frais d'importation. Frais d'entretien: 15%/an du coût d'investissement (incluant les pièces de rechange). Durée d'amortissement: 5 ans. Frais variables: 3,3 USD/stère, dont environ 1 USD/stère de main d'œuvre. Nourriture à la charge de l'opérateur.**

## 2.4. Main d'oeuvre

On estime qu'il faudrait 7 à 9 abatteurs à temps plein (et autant d'aide) pour abattre et façonner les sous-blocs plantés en 2008, en considérant un stock sur pied de 12 139 m<sup>3</sup> réels, à raison de 284 jours travaillés par an à l'exclusion des dimanches, des congés et des jours fériés. Si la période d'abattage est réduite à 5 mois (Mai-Septembre), il faut plutôt prévoir 16 à 22 abatteurs à temps plein, et autant d'aide.

En considérant les mêmes hypothèses, on estime qu'il faudrait 16 à 27 opérateurs à temps plein pour débarder les bois exploités dans ces sous-blocs pendant une période 5 mois, afin que les champs soient libres pour démarrer la nouvelle saison de culture.

En fonction de la quantité de bois sec transportée par tracteur, il faudrait également embaucher jusqu'à 5 tractoristes sur 12 mois, ou 11 sur 5 mois.

## 2.5. Organisation des chantiers d'exploitation

### 2.5.1. Période d'exploitation

Saison	Période	Activité traditionnelle (exemples)
A	15 Sept. – 15 Jan.	Plantation de maïs/manioc
Petite saison sèche	15 Jan. – 15 Fév.	Entretiens
B	15 Fév. – 15 Mai	Entretiens + Plantation de manioc
Grande saison sèche	15 Mai – 15 Sept.	Récolte + Brûlage (en fin)

**Tableau 5: Calendrier agricole du plateau des Batéké**

Par principe, il est préférable de ne pas faire circuler d'engins roulants dans les plantations pendant la saison des pluies, ceux-ci pouvant causer d'importants dégâts sur les pistes. Cela est valable tant pour le débardage de grumes que pour l'évacuation des sacs de charbon par camion.

La disponibilité de la main d'œuvre est un facteur essentiel pour assurer la continuité des opérations. Au début de la saison des pluies, les travaux aux champs monopolisent une grande quantité de main d'œuvre, y compris les charbonniers professionnels dans leurs propres champs. A partir du début de la saison sèche, les travaux aux champs sont moins nombreux et la main d'œuvre est de nouveau disponible pour la carbonisation.

La régénération d'acacias doit être acquise dès le début de la saison des pluies pour favoriser l'installation et la survie des semis. La sélection des semis qui constitueront le futur alignement se fera en parallèle de l'installation des cultures.

Cela signifie donc que pour enchaîner sur une nouvelle saison A de culture en système agroforestier, les acacias doivent préférentiellement être abattus, et le bois façonné et regroupé sur le lieu de carbonisation ou de stockage intermédiaire, entre Mai et Septembre. Un délai supplémentaire peut toutefois être accordé pour les parcelles qui seront mises en culture pour la saison B (voir Tableau 2).

Le brûlis qui précède la mise en culture doit intervenir assez tôt pour lever la dormance des graines d'acacia et contrôler la végétation adventice. Dans le cas contraire, si la saison des pluies démarre et que la végétation adventice a pris le dessus, la régénération d'acacia est compromise et le brûlis doit être remplacé par un labour, ce qui augmente les coûts de production.

Une fois le bois entreposé sur le lieu de carbonisation ou de stockage, il est recommandé de le laisser sécher à l'air libre pendant au minimum un à deux mois, un bois sec permettant d'obtenir de meilleurs rendements de carbonisation.

Le séchage est également effectif en saison des pluies pendant laquelle les températures sont plus élevées. Le bois y sèche en profondeur, mais il est nécessaire d'attendre plusieurs jours entre deux pluies pour assurer un ressuyage de surface complet.

Il n'est donc pas nécessaire, ni utile, de carboniser immédiatement le bois récolté. Cela permet également de déployer des ressources humaines sur d'autres postes d'activités cruciaux en saison des pluies.

En pratique, la carbonisation peut être réalisée toute l'année, ce qui en fait une excellente activité d'appoint. Sur le plateau des Batéké, la petite saison sèche et le début de la grande saison sèche sont toutefois deux périodes d'intensification de l'activité des charbonniers traditionnels car les camions accèdent plus facilement à l'intérieur des terres. De plus, la terre encore humide est plus facile à manipuler pour couvrir les meules.

Ce sont deux périodes qui permettent d'étaler les opérations du point de vue de la disponibilité de la main d'œuvre, de carboniser un bois sec à l'air libre et donc d'obtenir des rendements meilleurs, et de limiter la pénétration d'engins roulants dans les parcelles pendant les périodes de pluies. On notera également qu'à l'approche de Noël, les carbonisateurs reprennent de l'activité en prévision des fêtes.

Le makala produit pendant la petite saison sèche peut éventuellement être conservé quelques semaines à l'abri pour bénéficier de prix plus avantageux sur le marché pendant la saison B, quand les pluies reprennent.

**♣ Le succès des opérations repose donc sur une bonne organisation des activités et la disponibilité de la main d'œuvre au moment opportun, pour que la régénération d'Acacia soit acquise et les champs prêts à être mis en culture au début de la saison des pluies. Si l'abattage d'une parcelle est trop tardif par rapport au démarrage de la saison A, il est préférable de le reprogrammer pour la saison B, ou de le reporter à l'année suivante. Le recours à des organisations de producteurs ou l'internalisation de ressources humaines sont deux voies à privilégier pour assurer la disponibilité de main d'œuvre pendant les périodes cruciales. Le recours à des contractants individuels est à proscrire, ceux-ci n'ayant en général pas les capacités de se dédier entièrement à une tâche donnée, en particulier au début de la saison des pluies.**

### 2.5.1. Organisation des équipes

Une équipe d'abattage est composée d'un abatteur et de son aide. Lorsque plusieurs équipes interviennent sur la même parcelle, il est préférable de laisser entre elle une distance de sécurité au moins égale à 3 fois la hauteur de la plantation.

L'équipe de débardage est constituée de deux personnes minimum. Le débardage peut débuter dès que l'abatteur a terminé sa tâche jusqu'à quelques semaines plus tard (le bois

sera ainsi plus sec et donc moins lourd), mais en aucun cas simultanément, à cause du risque de chute d'arbres. En tout état de cause, les parcelles doivent être libérées avant la saison de culture.

Au sein d'un sous-bloc les sites de débardage sont rassemblés autant que possible en bordure de parcelle, à proximité de la route. Si la carbonisation est effectuée sur le sol de coupe, il vaut mieux s'entretenir avec le charbonnier pour décider de la quantité de bois à disposer sur chaque site de débardage, et leur espacement. Si le bois est simplement stocké avant transport, il est préférable de constituer des tas linéaires le long de la route, facilitant le séchage et la manutention ultérieure du bois.

#### 2.5.2. Quelques consignes de sécurité lors de l'abattage

Le matériel employé doit être irréprochable, il en va de la vie des travailleurs forestiers. Tous les éléments de sécurité de la tronçonneuse doivent être présents: poignée antidérapante, protèges-mains, double gâchette, frein de chaîne, chaîne anti-rebonds, etc.

Il est interdit de travailler seul sur un chantier d'abattage. Le chantier doit être signalé par un panneau et des balises de sécurité pour limiter tout risque d'accident. Un véhicule de repli doit être disponible en cas d'urgence.

**♣ *L'ensemble des consignes de sécurité devrait figurer dans le cahier des clauses techniques ou règlement d'exploitation. Des formations techniques en abattage contrôlé et sécurité des chantiers d'exploitation sont généralement à prévoir.***

### 3. Volet "Exploitation et carbonisation":

#### 3.1. La carbonisation: pyrolyse et combustion partielle du bois

Le makala est un produit facile à transporter. A masse égale, il contient deux fois plus d'énergie que le bois. En effet, son pouvoir calorifique inférieur (PCI) est de 29 à 31 MJ/kg contre 15,8 à 21,2 MJ/kg pour le bois, dont le PCI varie en fonction des espèces et du taux d'humidité des fibres. Le makala présente de plus une combustion régulière et dégage peu de fumées, mais beaucoup de monoxyde de carbone (Louppe, 2014a).

Dans le processus de carbonisation, on appelle "pyrolyse" la décomposition thermique de la lignine et de la cellulose sous l'effet de la chaleur. La pyrolyse commence à partir de 300°C environ, c'est pourquoi il est nécessaire de chauffer le bois préalablement. Elle s'auto-entretient par la suite, jusqu'à pyrolyse complète et refroidissement du dispositif.

La pénétration d'air est un facteur important du rendement de carbonisation. La pyrolyse s'effectue dans un espace fermé ou les entrées d'air sont contrôlées. En effet, l'air active la combustion du bois, qui brûle et génère des cendres plutôt que du makala.

La température est un second facteur important du rendement de carbonisation. Les réactions se produisant lors de l'élévation de la température peuvent être résumées ainsi, d'après Louppe (2014):

Température	Réactions physico-chimiques du bois
< 160°C	Séchage du bois (perte en vapeur d'eau, d'où les fumées blanches)
< 200°C	Brunissement, perte de l'humidité et de l'hygroscopicité, entraînement de composés gazeux volatiles par la vapeur d'eau (ex: acide acétique).
< 270-280°C	<b>Torréfaction (bois torréfié)</b> . Dégagement de CO, CO <sub>2</sub> , vapeur d'eau, acide acétique, méthanol (gaz oxygénés) et goudrons légers. Combustion partielle (cendres).
< 350-380°C	<b>Pyrolyse (charbon de bois)</b> . Dégagement de gaz oxygénés en quantité moindre et hydrocarbures légers (méthane, éthane, éthylène) et goudrons légers. Combustion partielle (cendres). Fumées jaunâtres, denses et à l'odeur de vinaigre.  On obtient du charbon à 65-70% de carbone pur, 3-5% de cendres et le reste en résidus goudronneux.
< 400°C Chauffage artificiel	<b>Pyrolyse (charbon de bois)</b> et décomposition des goudrons qui augmente la teneur en carbone pur.
< 500°C Chauffage artificiel	<b>Pyrolyse (charbon de bois)</b> et décomposition des goudrons. Le taux de carbone pur atteint 85%, la teneur en éléments volatiles 10%. Rendement sur masse anhydre de 33% hors bois utilisé pour lancer la carbonisation.
< 700°C-900°C Chauffage artificiel	<b>Pyrolyse (charbon de bois)</b> . Départ d'hydrogène (enrichissement des gaz). Jusqu'à 90-95% de carbone pur.

Tableau 6: Augmentation de la température et réactions physico-chimiques du bois

Enfin, le contrôle de l'humidité du bois est un troisième facteur important du rendement de carbonisation. Plus le bois est humide, plus il sera nécessaire de produire de l'énergie pour le sécher. Cette énergie peut être fournie de différentes façons.

- Par combustion partielle d'une partie de la charge (cas des fours traditionnels et de certains fours en métal/briques). Le rendement est en général moindre car la combustion est difficile à contrôler, une partie du bois est inutilement brûlé;

- Par chauffage externe dans un foyer de chauffe mis en contact avec la charge par une surface d'échange (vase clos, cornues). Les gaz dégagés lors de la carbonisation sont récupérés et réinjectés dans le système.
- Par contact de gaz chauds provenant d'un foyer externe et mis en contact direct avec la charge. Les gaz dégagés lors de la carbonisation sont récupérés et réinjectés dans le système (Lambiotte).

### 3.2. État des lieux des techniques de carbonisation



**Photo 2: Le sac "bande verte" surmonté d'une "tête" à trois étages**

#### 3.2.1. La carbonisation traditionnelle en meule ou en fosse

La carbonisation traditionnelle est largement pratiquée dans les pays en développement. Elle nécessite peu d'intrants mais beaucoup de main d'œuvre. La meule est une construction aérienne, alors que la fosse est une construction souterraine.

Sur le plateau des Batéké, les charbonniers pratiquent plutôt la meule, même si certains creusent légèrement le sol sur une faible profondeur pour en extraire du sable et de l'argile qui serviront ensuite à couvrir la meule (enfournement).

La chaleur permettant le démarrage de la pyrolyse, appelée également "phase d'allumage", est fournie par la combustion partielle de la charge de la meule. La température se propage dans la meule et dégage d'abord de la vapeur d'eau (fumée blanche). Lorsque la fumée change de couleur et vire au jaune foncé puis au bleu-gris, la carbonisation est complète. Il faut alors attendre le refroidissement de la meule pour extraire le makala.

La durée de carbonisation varie en fonction du taux d'humidité du bois, la dimension des rondins, la taille de la meule, l'essence et les conditions climatiques... Ceci explique sans doute pourquoi il est difficile d'obtenir des données de terrain prenant en compte l'ensemble de ces paramètres. Sur le Plateau des Batéké, la carbonisation s'étend entre 1 et 3 semaines.

Les techniques de construction de meules traditionnelles varient d'une zone à l'autre du globe. Parfois les rondins sont allongés ou mis debout, la meule peut prendre une allure rectangulaire ou conique... les dimensions sont largement dépendantes de la quantité de bois à carboniser. Sur le Plateau des Batéké, la meule est en règle générale rectangulaire. Ses dimensions dépendent de la quantité de bois à enfourner et à l'expérience du charbonnier.

On retrouve tout de même certaines caractéristiques communes à toutes les meules traditionnelles, comme le paillage, la couverture de terre, l'ouverture d'évents et la disposition d'une cheminée (en tirage normal, c'est-à-dire par le haut).

Lieu	Origine du bois	Volume entrant (stères)	Nombre de sacs sortant	Ratio sacs sortant / stères	Poids moyen du sac (kg)	Durée carbonisation	Source
<b>Duale Bolingo</b>	savane	19,2	12	0,6		1 à 2 semaines	Entretien Aimé Mgambo
<b>Ibi</b>	acacia (8 ans) (0,25 ha)	80	72	0,9			Entretien Aimé Mgambo
<b>Ibi</b>	acacia (8ans) (0,25 ha)		88				Entretien Papa Elisée
<b>Ibi</b>	acacia (8ans) (0,25 ha)	120	90	0,8			Entretien Papa Ghislain
<b>Ibi</b>	acacia (8ans) (1 ha)	182	300	1,6			Entretien Claver GI Agro
<b>Inziolo, RDC</b>	savane	5	9	1,8		6 j	Entretien SNV
<b>Inziolo, RDC</b>	acacia + mikoati	5	8	1,6		8 j	Entretien Président charbonniers Inziolo
<b>Mampu</b>	acacia (12 ans) (1 ha)		425				Entretien Président UFAM
<b>Mampu</b>	acacia (6 ans) (1 ha)		335				Entretien Président UFAM
<b>Mampu</b>	acacia (8 ans)	24	85	3,5	50	2 semaines	Entretien Président UFAM
<b>Mampu</b>	acacia	30	85	2,8	60		Bisiaux et al. (2009)
<b>Plateau, RDC</b>	savane	5	12	2,4	30	12 j	Entretien SNV
<b>Yolo</b>	savane	5,6	9	1,6		1 à 2 semaines	Entretien Président charbonniers Yolo

**Tableau 7: Comparaison des rendements en meules traditionnelles sur le Plateau des Batéké**

Les rendements en carbonisation traditionnelle sont également très variables, mais l'ensemble de la communauté scientifique et technique s'accorde à dire que cet ensemble de techniques présente les rendements les plus faibles.

Les charbonniers ne pèsent pas la masse de bois entrant car ce n'est pas un paramètre essentiel pour eux. Cela pose de sérieuses difficultés pour évaluer le rendement réel d'une meule.

L'indice que l'on peut utiliser est le rendement en nombre de sacs par meule, en considérant que le poids des sacs est comparable (en général autour de 60 kg, sauf mention contraire). En isolant l'origine du bois et la technique utilisée, il renseigne de manière générale sur le savoir-faire du charbonnier (en particulier, le soin apporté au séchage).

Le Tableau 7 ci-dessus présente quelques données récoltées sur le terrain et dans la littérature attachée au Plateau des Batéké. D'après les mesures effectuées par ailleurs dans la Zone pilote agroforestière d'Ibi village suite à la carbonisation de 5,41 ha de plantations, un hectare d'*Acacia auriculiformis* âgées de 8 ans permettrait de produire environ 300 sacs de makala par ha, pour 4 meules de 45,5 stères chacune.

L'échantillon de données utilisées dans le Tableau 7 est trop faible pour donner des tendances statistiquement significatives. Un charbonnier travaillant en savane peut très bien obtenir davantage de sacs qu'un charbonnier travaillant en plantation d'acacias, et vice-versa. Ce que l'on peut déduire de ce tableau, c'est que le savoir-faire du charbonnier est un élément-clé du rendement.

♣ ***S'il fallait retenir un chiffre de rendement, en l'absence de données statistiquement significatives provenant du terrain, nous serions d'avis de retenir un rendement massique sur bois sec de 10 à 15% (d'après Schure et al., 2011).***

Le montage de la meule est donc une étape-clé. Il inclue le classement des bois, le morcelage des cales, le paillage et l'enfournement proprement dit. Sur le plateau des Batéké, l'organisation du travail varie d'une situation à une autre.

Par exemple, la coopérative de Mutiene fournit à ses membres la main d'œuvre dont ceux-ci ont besoin pour monter une meule et reçoit en échange un sac de makala. Le membre bénéficiaire fournit la nourriture pour les membres coopérants. Le montage d'une meule peut être complété en une journée seulement.

Lorsqu'il s'agit plutôt d'un particulier qui fait appel à un charbonnier, le mode de rétribution varie en fonction du charbonnier et des tâches. Le Tableau 8 ci-dessous présente 5 exemples permettant d'identifier quelques tendances :

- En général les charbonniers professionnels exigent un salaire et une ration, tandis que les plus jeunes acceptent aussi de travailler pour la ration seulement.
- La plupart du temps les charbonniers s'organisent pour intervenir en groupe. Le montage complet d'une meule, du classement à l'enfournement complet, peut prendre 2 jours pour une équipe d'environ 10 personnes.
- Les commanditaires individuels disposant de peu de moyens payent leurs charbonniers progressivement, ce qui contribue au ralentissement des opérations.
- Le coût au stère varie de 1 300 CDF à près de 8 000 CDF. Bien que les données soient trop peu nombreuses pour conclure sur le coût moyen du montage, on constate tout de même des écarts conséquents.



Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone biologique d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

Origine du bois	Lieu	Taille de la meule	Classement des bois				Morcellement des cales			
			Coût total (CDF)	Explication	Durée	Nombre d'intervenants	Coût total (CDF)	Explication	Durée	Nombre d'intervenants
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	60 stères (5x4x3)	25 000	Salaire + ration	1 j	7 à 10	23000	Salaire	nc	nc
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi		20 000	ration	1 j	12		inclus dans montage		
<b>Savanes</b>	Yolo	5,6 stères (2x2x1,4)	25 000	Salaire + ration	2j	2		inclus dans montage		
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	45,5 stères (5x7x1,3)	90 000	Salaire + ration	7j	1	60000	Salaire	nc	nc
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	40 stères (4x5x2)	80 000	Salaire + ration	5j	2	30000	Salaire	inclus dans montage	

Paillage				Enfournement				Total		
Coût total (CDF)	Explication	Durée	Nombre d'intervenants	Coût total (CDF)	Explication	Durée	Nombre d'intervenants	Coût total (CDF)	Coût par stère (CDF)	Source
5000	Prix des bottes	< 1j	1	25 000	Salaire + ration	1 j	7 à 10	78 000	1 300	Entretien Papa Ghislain
	inclus dans montage			25 000	ration	1 j	12	45 000		Entretien Papa Elisée
5000	Prix des bottes	< 1j	1	15 000	Salaire + ration	1 j	1	45 000	8 036	Entretien Président charbonniers Yolo
18000	Bottes + salaire	< 1j	1	55 000	Salaire + ration	1 j	8	223 000	4 901	Entretien Claver GI Agro
16000	Bottes + salaire	< 1j	1	24 000	ration	1 j	12	150 000	3 750	Entretien Duale Bolingo

**Tableau 8: Comparaison des coûts de montage de meules traditionnelles sur le Plateau des Batéké**

Le suivi de la carbonisation ne nécessite en général pas de coût supplémentaire. Il est la plupart du temps inclus dans le service de montage. Parfois c'est le commanditaire qui réalise lui-même le suivi. Au sein d'une coopérative, le suivi se fait aussi grâce à l'entraide entre coopérants.

Lorsque la carbonisation dure 1 à 3 semaines, le charbonnier partage son temps entre plusieurs meules et le travail au champ en saison des pluies. Ceci explique sans doute le déficit de suivi de carbonisation qui occasionne des effondrements de meule à l'origine d'entrées d'air, responsables de pertes de production importantes par combustion partielle.

Sur le Plateau des Batéké, on considère que le défournement couvre l'ouverture et refroidissement de la meule. Comme pour le montage, le coût varie en fonction des dimensions de la meule. Le Tableau 9 ci-dessous présente les coûts observés lors de notre visite de terrain.

L'ensachage est souvent inclus dans le service du charbonnier, mais le commanditaire doit acheter les sacs vides. Le coût peut parfois être inclus dans un forfait global couvrant le montage de la meule, le suivi et le défournement. Lorsque le commanditaire manque de liquidités, il peut aussi décider de payer le charbonnier en nature avec quelques sacs de makala.

La durée de l'ensachage varie en fonction des dimensions de la meule. On estime qu'avec 10 ouvriers temporaires il est possible de préparer 100 sacs en 1 à 2 jours. Les ouvriers doivent faire bien attention à ne pas charger trop de sable ni de cailloux dans le sac, et à éviter le contact du makala avec l'eau.

♣ **Le coût moyen du défournement est de l'ordre de 800 à 1 400 CDF par sac de makala. Il inclut le coût du sac et le coût de la main d'œuvre.**

### 3.2.1. La carbonisation traditionnelle "améliorée"

On trouve souvent dans la littérature le terme de "meule casamançaise". C'est une meule traditionnelle améliorée pourvue d'une cheminée constituée de trois fûts. Au lieu d'être libérés par le haut, les gaz s'échappent par le bas (en tirage inverse), réchauffant la meule au passage et favorisant la recombinaison de certains composés volatiles avec le makala, ce qui augmente la quantité de carbone pur dans le makala. La figure ci-dessous (Louppe, 2014a) illustre la notion de tirage inverse:

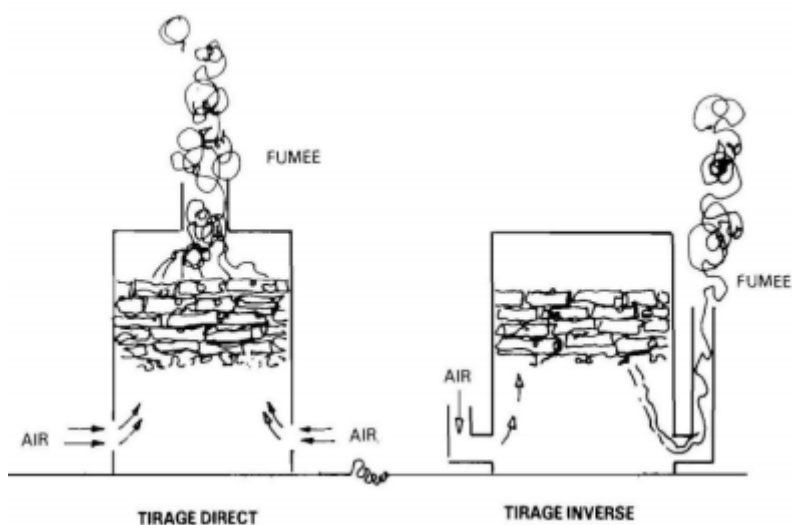


Figure 1: Illustration du tirage direct et inverse

Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone biologique d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

Défournement et ensachage									
Origine du bois	Lieu	Taille de la meule	Nombre de sacs	Coût hors sac (CDF)	Explication	Durée	Nombre d'intervenants	Coût unitaire du sac (CDF)	Coût sac seul (CDF)
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	30 stères (4x5x1,5)	non défourmé		inclus dans un forfait global du montage à l'emballage			100	<i>non défourmé</i>
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	45,5 stères (5x7x1,3)	75	55 000	Salaire + ration	2 j	8 à 9	500	37 500
<b>Acacia auriculiformis (12 ans)</b>	Mampu	24 stères (2x3x4)	87	56 550	10% des sacs obtenus	nc.	nc.	650	56 550
<b>Savanes</b>	Yolo	nc.	50	25 000	ration seule	1 j	5	650	32 500
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	nc.	88	25 000	ration seule	1 j	12	500	44 000
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	60 stères (5x4x3)	45	25 000	Salaire + ration	nc.	nc.	600	27 000
<b>Acacia auriculiformis (8 ans)</b>	Ibi	nc.	72	25 000	ration seule	10 j	1	1 000	72 000

Emballage						Total
Taux de réutilisation	Coût total (CDF)	Explication	Durée	Nombre d'intervenants	Coût total par sac de makala (CDF)	Source
<b>4 fois</b>			(forfait)			
<b>nc.</b>	inclus dans défournement		2 j	3	1 233	Entretien Claver GI Agro
<b>nc.</b>	43 500	500 F/sac	nc.	nc.	1 300	Entretien Président UFAM
<b>nc.</b>	10 000	200 F/sac	3 j	nc.	1 150	Entretien Président charbonniers Yolo
<b>nc.</b>	44 000	500 F/sac	nc.	nc.	784	Entretien Papa Elisée
<b>nc.</b>	22 500	500 F/sac	nc.	nc.	1 156	Entretien Papa Ghislain
<b>4 fois</b>	36 000	500 F/sac	nc.	nc.	1 347	Entretien Duale Bolingo

**Tableau 9: Comparaison des coûts de défournement, ensachage et emballage sur le Plateau des Batéké**

La meule casamançaise apporte certaines innovations techniques à la meule traditionnelle, comme la disposition d'un plancher de bois, la rationalisation des dimensions de la meule, l'organisation des couches de rondins en fonction de leur diamètre, le positionnement de la cheminée contre le vent, l'orientation des événements... par ailleurs, une amélioration sur la cheminée métallique permet de récupérer le vinaigre de bois et autres goudrons, utilisés par exemple contre les termites.

Ainsi, dans le contexte du Plateau des Batéké, la carbonisation traditionnelle "améliorée" est relativement simple à mettre en pratique pour les charbonniers professionnels. Elle nécessite tout de même une formation de base. Elle consiste à observer certaines règles de base (Louppe, 2014b)<sup>6</sup>:

- Faire sécher le bois au moins un mois avant la carbonisation ;
- Homogénéiser les diamètres des bois. Les plus gros bois doivent être fendus pour mieux sécher, ou placés au milieu de la meule.
- Éviter le mélange d'essences dont la durée de carbonisation n'est pas la même.
- Monter la meule sur des rails de bois espacés de 50 cm, sur sol plat, permettant de faire circuler l'air autour de la meule. Le lit, constitué de bois rectilignes de 4 à 5 cm de diamètre resserrés, doit être très plat. Les espaces entre les rangées de bois doivent être comblés avec des petits morceaux de bois (joints). Le paillage est effectué sur tout le pourtour de la meule, et la terre est étalée sur 40 cm d'épaisseur.
- Les ouvertures situées à la base et au sommet du four, nécessaires pour allumer la meule et activer le tirage, doivent être refermées
- Faire pénétrer l'air de manière homogène en positionnant les événements sous le au vent pour les entrées d'air et contre le vent pour la cheminée. La combustion sera homogène, limitant ainsi les incuits. Le charbonnier gère l'ouverture et la fermeture des événements pour propager le front de carbonisation et maintenir une température élevée dans l'ensemble de la meule.
- Veiller à l'étanchéité du four. Les meules traditionnelles sont réputées très inefficaces, en partie parce que les charbonniers surveillent rarement une meule 24h/24 pendant tout le temps que prend la carbonisation (jusqu'à 20 jours). L'étanchéité du four est souvent compromise pendant cette période. Réduire le temps de carbonisation et renforcer la surveillance pendant cette période représente donc un potentiel gain de rendement.



**Photo 3: Meule en cours de montage à Mutiene selon la méthode améliorée proposée par SNV**

<sup>6</sup> Le projet Makala a produit des guides pratiques en français et en lingala à destination des charbonniers. Ceux-ci sont accessibles sur le site du projet: [http://makala.cirad.fr/les\\_produits/guides\\_pratiques](http://makala.cirad.fr/les_produits/guides_pratiques)

La SNV a formé une dizaine de village et la zone de Mampu à la carbonisation améliorée, en proposant d'autres améliorations techniques comme l'utilisation d'évents métalliques, la limitation de la largeur à 2 m, et la disposition d'une rangée de bois sur le pourtour extérieur de la meule, afin de favoriser la circulation de l'air. La longueur et la hauteur ne sont pas imposées, elles sont fonction de la quantité de bois à carboniser. Toutefois la hauteur devrait être limitée pour diminuer le risque de chute.

Une étude comparative a été menée par la SNV sur 9 fours dans le but de déterminer les gains de rendements permis par les fours traditionnels améliorés, avec et sans événements métalliques.

Les résultats complets de cette étude ne sont pas encore disponibles, mais la SNV a bien voulu nous communiquer des résultats partiels. A Inziolo par exemple, une meule traditionnelle de 5 stères a produit 9 sacs en 6 jours, contre 14 sacs en 3 jours pour une meule améliorée.

Ailleurs, une meule traditionnelle de 5 stères a produit 12 sacs de 30 kg en 12 jours, contre 12 sacs de 37,5 kg en 3 jours pour une meule améliorée de 5 stères également. A cet endroit, une meule améliorée avec événements métalliques de 10 stères a produit 24 sacs de 40 kg en 3 jours.

Le Tableau 10 ci-dessous résume les données collectées lors de la mission et dans la littérature liée au Plateau des Batéké. Le rendement en nombre de sacs par stère est en moyenne plus élevé que dans le cas de la carbonisation traditionnelle. Le temps de carbonisation est systématiquement égal à 3 jours, à comparer avec les 1 à 3 semaines en carbonisation traditionnelle.

Les événements métalliques empêchent les événements de se boucher et devraient garantir un meilleur rendement. Il n'y aurait cependant pas de différence nette de rendement entre les fours améliorés avec et sans événements métalliques.

La cheminée métallique a toutefois l'avantage de permettre la condensation du vinaigre de bois (acide pyroigneux) qui peut servir d'insecticide (traitement du bois, des champs...), mais n'est pas valorisé ici. Les éléments métalliques ont aussi l'intérêt de limiter les effondrements.

**♣ *S'il fallait retenir un chiffre, nous serions d'avis de retenir celui issu de mesures effectuées à Mampu sur des plantations d'Acacia auriculiformis de 12 ans (Bisiaux et al., 2009). Le rendement sur bois sec était alors évalué à 20% environ. L'auteur indiquait que ce rendement plutôt élevé était rendu possible grâce à l'accumulation du savoir-faire chez certains charbonniers de Mampu.***

D'après la SNV, les charbonniers comprennent bien la notion de durabilité. La SNV a délivré 57 brevets de formation officiels et estime que 250 personnes sont formées en tout (avec les formations données par les charbonniers déjà formés par la SNV). Néanmoins, les formations données par des charbonniers formés à d'autres charbonniers présentent des lacunes pouvant se traduire par une mauvaise préparation des meules.

Cela dit, d'après nos entretiens menés auprès de plusieurs coopératives de charbonniers formés par la SNV, la plupart d'entre eux ont bien compris les principes de la meule améliorée et les appliquent désormais. Certains, comme à Mampu, restent en attente des résultats de l'étude comparative sur les rendements.

L'intérêt principal cité par les charbonniers est l'augmentation du rendement et la diminution du temps de carbonisation: jusqu'à 3 jours, au lieu de 2 à 3 semaines en temps normal. La qualité de la braise semble également meilleure : plus lourde, plus grosse et présentant moins d'incuits et de cendres.

Le principal frein à l'emploi des événements métalliques est le coût des événements qui, bien que réutilisables, constitue une dépense jugée inutile par les intéressés. On estime qu'une cheminée, constituée de 3 tonneaux soudés, coûte environ 250 USD (soudage inclus). Trois

évents métalliques (tuyaux métalliques de diamètre 15-20 cm pour une longueur d'un mètre) coûtent environ 30 USD pièce. A Yolo, certains charbonniers utilisent des bambous en remplacement des événements métalliques.

Certains charbonniers s'interrogent aussi sur le coût de l'hygromètre nécessaire pour mesurer l'humidité du bois et sur la possibilité de recourir à des méthodes indirectes pour la mesurer.

A Mutiene, les charbonniers affirment que les événements métalliques produisent du makala de petite dimension lorsqu'on emploie des petits arbres, car la cuisson est trop importante. Ceci révèle probablement des difficultés pour gérer la température de cuisson avec les événements métalliques. Ils pensent que les événements métalliques seraient mieux adaptés pour des bois de gros diamètres ou très durs.

Les résultats au sein de chaque village sont donc contrastés:

- Dans le village de Mutiene, 5 personnes sont chargées de former les autres membres de la coopérative de charbonniers. La plupart des charbonniers se convertiraient peu à peu à la technique améliorée, d'après le Président de la coopérative.
- A Yolo, où la coopérative compte 21 membres, ils sont deux charbonniers à avoir été formés par la SNV.
- A Duale Bolingo, 10 membres ont été rencontrés, mais un seul semble poursuivre avec la meule améliorée sans événements (mais avec la cheminée) à cause du coût du métal.
- A Mampu, pour une raison difficile à comprendre, mais qui semble lier à un défaut de séchage du bois et de suivi des meules-tests, les charbonniers préféreraient la méthode traditionnelle.
- A Inziolo, ils étaient deux membres formés par la SNV, et ils auraient formé à leur tour les 50 membres de la coopérative à la meule sans événements métalliques. Un seul utilise les événements métalliques, aucun les cheminées (sauf deux obtenues lors de la formation SNV d'après les enquêtés).
- A Bwantaba, deux membres ont été formés par la SNV, qui en ont eux-mêmes formés 9 autres. Seuls quatre d'entre eux poursuivent avec les meules améliorées sans événements métalliques, les autres trouvent que le temps de séchage est trop long avant d'enfourner.

♣ ***On peut donc considérer que la meule améliorée présente plusieurs avantages: les rendements sont meilleurs qu'en carbonisation traditionnelle lorsqu'elle est bien exécutée, c'est une solution mobile peu chère, qui nécessite peu d'intrants mais beaucoup de main d'œuvre. Très localement, le site de carbonisation enrichit le sol. Parmi les inconvénients, le rendement est imprédictible. Il dépend très fortement du savoir-faire et du soin du charbonnier apporté au montage. Les coûts sont très variables et chaque charbonnier à sa manière de fonctionner ce qui peut devenir ingérable sur des grands chantiers. Lors du défournement, le makala peut également entrer en contact avec de l'eau ou du sable, ce qui augmente le taux de cendres.***

♠ ***On peut par ailleurs estimer que le coût de montage d'une meule traditionnelle améliorée sans événements métalliques est similaire à celui d'une meule traditionnelle (entre 1,5 et 9 USD/stère), mais plutôt dans la fourchette haute car il nécessite d'employer un charbonnier expérimenté.***

♦ **Dans la Section 3.3, la carbonisation traditionnelle améliorée fait donc l'objet d'un scénario technico-économique. On ne considérera pas l'investissement dans les événements métalliques, étant donné l'incertitude qui pèse encore quant à leur effet sur le rendement.**

Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone biologique d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

Technique	Origine du bois	Volume entrant (stères)	Poids sortant (kg)	Nombre de sacs sortant	Ratio sacs sortant / stères	Poids moyen du sac (kg)	Durée carbonisation	Lieu	Source
<b>Meule améliorée sans événements métal</b>	Savane	4		10	2,5		3 j	Bwantaba, RDC	Entretien Moba Bwantaba
	Savane	19,2		24	1,3		3 j	Duale Bolingo , RDC	Entretien Aimé Mgambo
	Savane	5		14	2,8		3 j	Inziolo, RDC	Entretien SNV
	Acacia + mikoati	5		14	2,8		3 j	Inziolo, RDC	Entretien Président charbonniers Inziolo
	Savane	5	450	12	2,4	37,5	3 j	Plateau, RDC	SNV
	Savane	5,6		15	2,7		3 j	Yolo, RDC	Entretien Président charbonniers Yolo
<b>Meule améliorée avec événements métal</b>	Acacia + mikoati	5		15	3		3 j	Inziolo, RDC	Entretien Président charbonniers Inziolo
	Savane	10		25	2,5			Mutiene, RDC	Entretien Président charbonniers Mutiene
	Savane	10	960	24	2,4	40	3 j	Plateau, RDC	SNV

**Tableau 10: Comparaison des rendements en meules traditionnelles "améliorées" sur le Plateau des Batéké**

### 3.2.2. Les fours fixes pour la carbonisation améliorée

A la différence du four en terre, le four fixe implique l'emploi de matériaux de construction (briques, métal...) et donc un investissement initial. Ce coût varie beaucoup d'une technologie à l'autre, en fonction des matériaux, des dimensions du four, mais aussi des brevets ou patentes d'utilisation qui peuvent entourer certains d'entre eux.

Ces fours sont fixes, ce qui implique qu'ils doivent être situés à proximité des plantations pour limiter les coûts de transport du bois abattu ou façonné, ainsi que les coûts de manutention (chargement/déchargement).

Les moyens de transport varient du moins cher (charrette) au plus cher (couple tracteur + remorque ou chargeur + porteur), et représentent donc des investissements potentiellement conséquents dans du matériel roulant, dans des frais d'entretien, etc. En saison des pluies, l'utilisation d'engins roulants lourds occasionne des dégâts sur les pistes, d'autant plus importants que le chargement est lourd.

Ce type de four implique également que la ressource soit renouvelée périodiquement, pour que les fours puissent être réutilisés, moyennant une remise en état (remplacement de tôles, réfection des cheminées, etc.). C'est le cas à Ibi, puisque les plantations seront renouvelées après exploitation.

On trouve plusieurs types de fours fixes, hormis les meules bien entendu. Il y a également une grande variété de modèles plus ou moins adaptés aux pays en développement. Nous donnons ci-dessous quelques exemples pour nourrir la réflexion dans le cadre de notre étude (FAO, 1983).

#### 3.2.2.1. Les fours en briques et en métal à source de chaleur interne produit par combustion d'une partie de la charge

##### **Fours en briques fixes**

Les fours en briques peuvent être opérés toute l'année et sont relativement robustes en comparaison des fours métalliques. Une batterie de fours en briques permet d'adapter l'outil de transformation aux quantités de bois carbonisable. Au besoin, une unité peut être détruite et une partie des briques réutilisée pour d'autres ouvrages, ou pour reconstruire un four plus loin.

D'après Practical Action (non daté) les fours en briques produiraient toutefois du makala de trop bonne qualité pour un usage domestique, car difficile à allumer et lent à monter en température. La construction du four nécessite une bonne expertise en maçonnerie et bien sûr la disponibilité des briques.

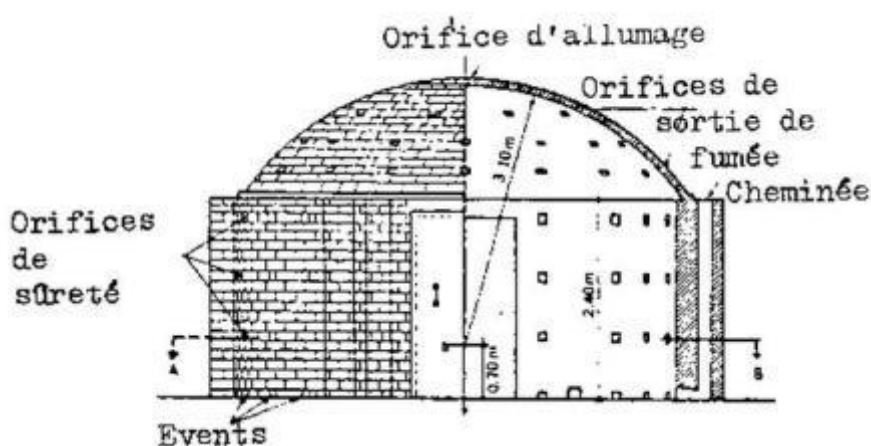


Figure 2: Illustration du four en nid d'abeille



Le four brésilien "en nid d'abeille" est un exemple de four en briques fixe. Ce type de four est largement développé au Brésil dans l'industrie sidérurgique. Sa construction est relativement simple (8 500 briques et une bande de fer plat pour la coupole) de même que son entretien.

Sa durée de vie est de 6 ans au même endroit. La carbonisation et le refroidissement sont homogènes. Un cycle de production fournit 5 tonnes de makala et dure 9 jours en moyenne (FAO, 1983). Une fournée peut contenir 45 à 50 stères, si bien qu'en général on trouve une batterie de plusieurs fours regroupés pour carboniser des grandes quantités de bois. Son rendement atteindrait 35%, ce qui paraît toutefois très élevé pour un four qui ne récupère pas les gaz de pyrolyse (Practical Action, non daté).

Le besoin en formation sur ce type de four est relativement modeste. On signale toutefois que ce type de four nécessite beaucoup moins de main d'œuvre que les meules améliorées ou traditionnelles. Ce sont autant d'emplois potentiels en moins sur le Plateau des Batéké.

### **Fours métalliques fixes**

Il est intéressant d'observer que des fours fixes en métal ont un jour été mis en exploitation sur le site agroforestier de Mampu. Ils ont ensuite été abandonnés à cause des coûts de transport trop élevés (Marien and Dubiez, 2013).

Dans la littérature, on relève beaucoup d'exemples d'abandon du four fixe de petite dimension, à cause des coûts de transport élevés et des gains en rendement qui ne compensent pas ces coûts (PADeCom-Zou, 2003). En particulier, lorsque le four est fait d'un alliage de métal et d'acier, voire de fonte, il devient presque impossible à transporter.

A noter que les fours en métal se refroidissent en général plus rapidement que les fours en briques.

#### **3.2.2.2. Les cornues à source de chaleur externe et chauffage indirect par parois.**

Une cornue est une enceinte de matériaux réfractaires: c'est un synonyme de "four". Les cornues (*retort*) étaient tombées en désuétude à cause de leur coût élevé et de leur faible rendement, bien qu'elles produisent un charbon d'excellente qualité et permettent la récupération de sous-produits. Ces technologies étaient employées dans l'industrie de l'acier.

Cependant, un four à cornue en brique dénommé **Adam Retort** a été spécialement conçu pour limiter les coûts d'investissement et améliorer les rendements de carbonisation. Ce procédé est avant tout adressé aux pays en développement. Nous avons pris contact avec le constructeur et voici les informations qu'il nous a fournies.

Le four Adam Retort est un four en métal et en briques à deux chambres, dont une chambre à combustion servant à réchauffer la chambre principale pour initier la pyrolyse en brûlant de la biomasse et des résidus de biomasse.

Lorsque la charge est assez chaude et que l'humidité du bois s'est évaporée, les gaz de pyrolyse dont le méthane sont récupérés pour être brûlés dans la chambre de combustion et accélérer la pyrolyse. Ainsi non seulement le procédé améliore le rendement obtenu avec les fours en briques classiques, mais en plus il contribue à limiter les émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, son action sur la santé des travailleurs est bien meilleure car davantage de fumées sont récupérées.

Son constructeur annonce un rendement de 35% à 40% sur masse sèche, ce qui paraît tout de même très élevé. La quantité de biomasse brûlée pour initier la pyrolyse est de 50 kg environ et il peut s'agir de bois sec ou de résidus de charbon, de noix de coco, etc.

Un cycle de production dure de 2 jours environ, dont 10 heures pour la carbonisation stricto sensu. Le constructeur indique réaliser 2 cycles par semaine, 3 si une équipe travaille de nuit. Un cycle permet de produire 250 à 300 kg de makala. En une semaine, ce type de four permettrait théoriquement de produire 8 à 10 sacs de makala.

Le volume entrant est d'approximativement 3 stères de bois (300 stères par four et par an), ce qui signifie que plusieurs unités peuvent être disséminées dans un site de production. Ceci représente une alternative crédible aux projets dans lesquels les distances de transport sont trop importantes pour diriger vers le bois vers une unité de production centrale.

Le coût d'investissement est de l'ordre de 1 200 USD d'après son constructeur et nécessite des matériaux que l'on peut trouver à Kinshasa ou sur le Plateau des Batéké: 1 400 briques, du sable, des graviers, 350 kg de ciment, deux feuilles de métal de 1,25m x 2,5m d'épaisseur 2 à 3mm et l'autre de 0,8 mm d'épaisseur ainsi qu'une feuille de tôle ondulée pour créer une cheminée.

La construction est assez simple et le constructeur se contente de délivrer le manuel de construction et de répondre aux questions du carbonisateur. Le four peut être opérationnel après une semaine seulement.

Le procédé est breveté. Le coût de la licence est de 2 600 USD pour les 6 premiers fours et 40 USD pour chaque four suivant. Le constructeur indique que le coût de la licence est révisable si le four est employé pour un projet à grande échelle ou financé par la coopération internationale. En l'occurrence, le projet de carbonisation sur Ibi n'est pour le moment financé par personne.

♣ **Ces fours "Adam Retort" ont donc l'avantage d'être robustes, d'améliorer les rendements et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et constituent une alternative à la centralisation de la production. Cependant, ils représentent des coûts supplémentaires et une organisation qui évolue. Le jeu en vaut-il la chandelle ? Autrement dit, est-ce que les gains de rendement espérés permettent une augmentation significative des recettes ? C'est ce que nous évaluerons dans la Section 3.3.**



**Figure 3: Illustration du four à cornue "Adam Retort"**

3.2.2.3. Les fours à source de chaleur externe et chauffage direct par circulation de gaz chauds inertes en briques (modèle Schwartz) ou en métal (type Lambiotte).

Le four Schwartz est un alliage de briques, métal et fonte. D'après la FAO (1983), ce four présente l'inconvénient majeur de ne pas bien se fermer hermétiquement pour le refroidissement, d'où des entrées d'air. Le feu est également difficile à contrôler.

Le four Lambiotte CISR est un four vertical fonctionnant en continu nécessitant de l'eau et de l'électricité pour fonctionner. Il nécessite une grande expertise et un suivi constant de la carbonisation. Ce procédé semble donc peu adapté au contexte du Plateau des Batéké.

### 3.2.2.4. A propos des procédés industriels complexes et coûteux

Certains types de fours nécessitent des installations industrielles lourdes et coûteuses, parce qu'ils répondent à des impératifs socio-environnementaux forts comme les normes environnementales européennes sur les rejets de fumées.

Ils impliquent également une forte mécanisation, justifiée dans un contexte de fort coût de la main d'œuvre. On trouve ainsi le four à cornues "Cornell", à l'ingénierie complexe, et ressemblant à un silo qu'il faut charger par le sommet à l'aide d'un tapis de chargement:

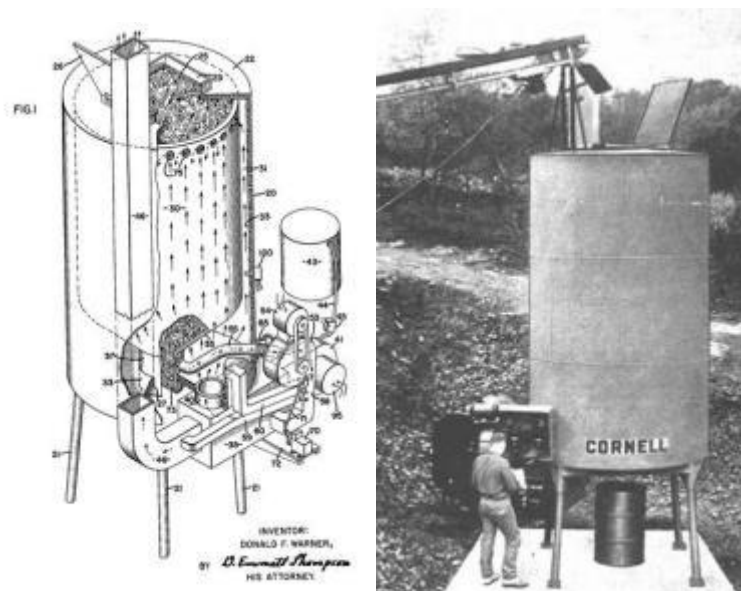


Figure 4: Illustrations du four à cornue "Cornell Retort"

Parfois, l'humidité du bois entrant doit être parfaitement contrôlée: au besoin, on peut avoir recours à un pré-séchage artificiel, ce qui augmente inévitablement les coûts de production.

Enfin, certains de ces procédés acceptent des bois, soit de grosses dimensions (billons de 2 à 5m), soit de petites dimensions (longueur du billon < 20 cm). Dans le premier cas, cela implique de disposer du matériel d'exploitation forestière adéquat (*forwarder* avec pince à bois). Dans le second cas, cela multiplie les découpes lors du façonnage

Parmi ces procédés on peut citer le procédé de carbonisation CML dont le coût d'installation est d'environ 1 million d'USD pour une production de 3000 tonnes de makala/an. Une unité standard comprenant 6 à 12 fours de carbonisation à combustion partielle pouvant accueillir 130 stères chacun, à chargement par le haut et vidange par le bas.

Elle nécessite un chariot élévateur et un godet pour le chargement. L'incinérateur traite les fumées de 4 à 5 fours fonctionnant simultanément. Un cycle de carbonisation dure 24h environ. Les gaz récupérés peuvent être utilisés en séchage ou en production d'électricité. Les conditions de sécurité sont très bonnes pour les opérateurs.

Les fours continus (type Lambiotte) permettent de produire du bois de haute qualité avec un rendement élevé. En récupérant les gaz combustibles dégagés lors de la pyrolyse, il est possible de compenser les pertes de chaleur par les parois et par les autres parties du four, ainsi que de sécher le bois entrant (Loupe, 2014a).

Toutefois la production de charbon de haute qualité en continue est réservée à des usages industriels. Les coûts d'investissements dans ce type de fours sont également très conséquents.

### 3.2.3. Les fours métalliques transportables

Les fours métalliques portables (TPI, Magnien ou Mark V, etc.) sont généralement de forme cylindrique avec un chapeau en forme de cône. Ils sont scindés en trois parties pouvant être roulées à terre vers un autre site de carbonisation ou chargées sur une remorque agricole (Practical Action, non daté).

La technique est simple à maîtriser. Le rendement est en règle générale meilleur que les meules traditionnelles et la qualité du makala semble meilleure. Il requiert également moins de main d'œuvre. Un cycle de carbonisation de 7 stères dure 3 à 4 jours, le refroidissement étant plutôt rapide. On notera que ce cycle est assez similaire à celui de la meule traditionnelle améliorée.

Un four métallique standard de 7 stères peut produire entre 100 et 150 tonnes de makala par an (rendement de 25 à 30%). Ils sont donc peu adaptés pour des zones de production conséquentes. En général, ils sont employés dans les zones où le bois est disparate, pour une production à petite échelle (Practical Action, non daté ; ONF International and Novacel SPRL, 2012).

En revanche son coût dépasserait 1 000 USD par four pour une durée de vie de 2 à 3 ans. Une évaluation réalisée à Kinshasa par deux entrepreneurs travaillant sur un prototype de four métallique transportable indique que ce coût serait de l'ordre de 3 000 USD même avec des matériaux de récupération (D. Dehan et T. Marchal, comm. pers.).

Ce prototype devrait être testé dans les semaines qui viennent et fournir des données de base pour l'évaluation des rendements.

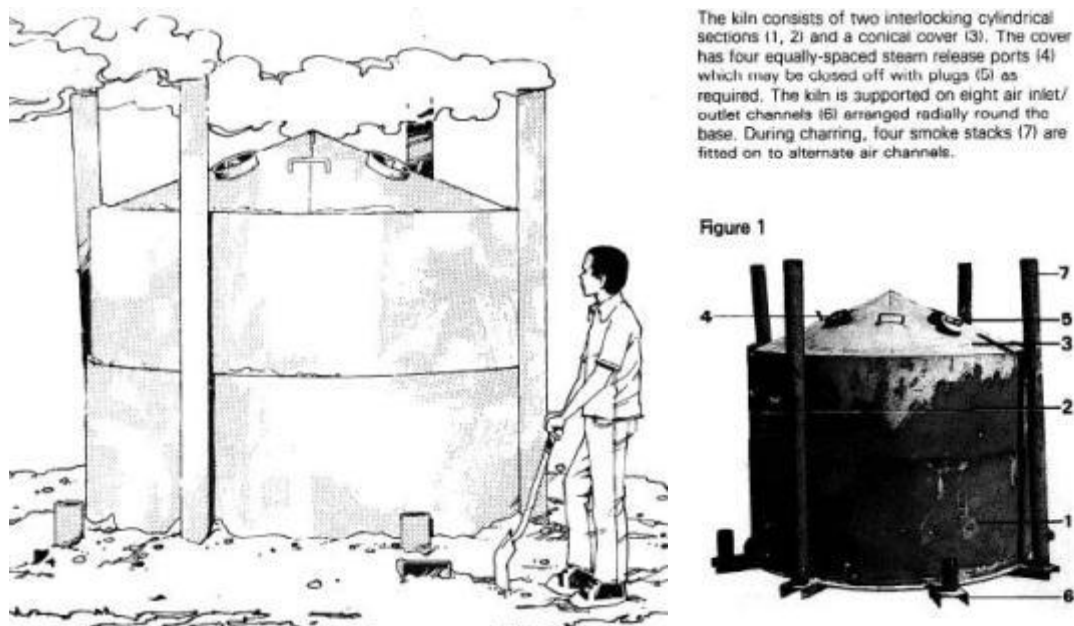


Figure 5: Illustrations d'un four métallique transportable

### 3.2.4. A propos des rendements

Le tableau ci-dessous présente les rendements comparés des principaux types de fours (PNUD, 2014):

Table 11. Comparison of the main characteristics of charcoal kilns

Kiln Type	Capacity	Efficiency (%)	Unit Cost (\$)
Traditional earth mound kiln	Variable	10-25	Manual labour
Casamance kiln	Variable	25-30	200
Pit type kiln	3-30 m <sup>3</sup>	30-35	Manual labour
Metal kiln—Mark V	300-400 kg	20-25	2,000-5,000
Metal kiln—Oil Drum (Portable)	12-15 kg	23-28	Low
Brick kiln	10-50 m <sup>3</sup>	25-35	150 – 5,000
Masonry 'Katugo' kiln	70 m <sup>3</sup>	25-30	8,000
Retort Kiln—Cornell	1-3 tonnes	22-33	40,000
Retort Kiln—Adam	1 tonne/week	30-35	1,000
Retort Kiln—Lambiotte	3,000-20,000 tonnes/y	30-35	0.5-2 million

Source: Nturanabo, Byamugisha and Preti, 2011.

### Tableau 11: Rendements de carbonisation pour différentes techniques de pyrolyse

D'après ce tableau, les rendements potentiels avec des meules traditionnelles améliorées (casamançaise ou autre) peuvent atteindre 25% à 35%, contre 20% à 30% pour les fours métalliques mobiles. Les fours en briques feraient à peu près autant que les meules traditionnelles bien conduites. Le four Adam Retort, comme présenté ci-dessus, figure parmi les plus abordables et les plus performants de tous les fours. Mais selon ce tableau même une meule traditionnelle bien réalisée peut atteindre d'aussi bons rendements que la technique la plus améliorée !

**On notera simplement que les rendements issus de la littérature ne sont jamais garantis.** Les conditions d'utilisation du bois (dimensions, humidité, etc.) et la qualité de la construction du four (étanchéité, circulation d'air) sont des paramètres très variables dont la maîtrise dépend pour beaucoup du savoir-faire du carbonisateur.

Ainsi, avant d'investir en masse dans une technologie particulière, il serait sans doute plus judicieux de la tester si possible à petite échelle. A Ibi par exemple, la carbonisation pourrait débiter avec la meule traditionnelle améliorée. En parallèle, des tests pourraient être menés sur une technologie identifiée.

♣ **Quand les fours seront mis en marche, Novacel pourra mettre en place un système de suivi des rendements. Le plus simple consiste à suivre les volumes entrants (mesurés en stères de bois) et le nombre de sacs de charbon sortant. Le suivi "idéal" mais plus lourd consiste plutôt à cuber et peser le bois entrant et les sacs de charbon sortants.**

## 3.3. Scénario 1 : carbonisation traditionnelle améliorée

### 3.3.1. Quantité globale de makala

D'après les données d'inventaire présentées dans la Section **2.1** on estime le volume total disponible pour la carbonisation des sous-blocs plantés en 2008 à 12 138,6 m<sup>3</sup> réels ou 19 421,8 stères en utilisant un coefficient d'enstérage de 1,6 m<sup>3</sup> réel par stère (m<sup>3</sup> apparent).

En supposant que la masse volumique sur bois sec d'*Acacia auriculiformis* en plantation de 7 ans est d'environ 554 kg/m<sup>3</sup> (Cassart, 2011) et considérant un rendement massique sur bois sec de 20% en carbonisation traditionnelle améliorée, la quantité de makala produite est d'environ 1 345 tonnes. A titre de comparaison, la production annuelle de Mampu est estimée entre 8 000 et 12 000 tonnes de makala (Bisiaux et al, 2009).

D'après une étude menée par le CIFOR dans le cadre du projet Makala (Schure et al., 2011), le poids moyen du sac à Kinshasa est de l'ordre de 57 kg toutes origines confondues. D'après Bisiaux et al. (2009) il est d'environ 60 kg à Mampu. Par ailleurs, des mesures effectuées sur 10 sacs de makala produits à Ibi dans la Zone pilote agroforestière indiquent un poids sec moyen de 65 kg.

Ibi et Mampu étant deux sites de production de makala d'Acacia, on pose l'hypothèse que le poids moyen du sac de makala se situe entre 60 et 65 kg. La quantité de sacs de makala produite en carbonisation traditionnelle améliorée serait donc comprise entre 20 692 à 22 416 sacs.

♣ ***Si ce scénario est retenu pour le business plan, les analyses de sensibilité devraient porter sur le rendement massique sur bois sec et le poids du sac.***

### 3.3.2. Coûts de production du makala

On a précédemment estimé que le coût de montage d'une meule améliorée sans événements métalliques est similaire à celui d'une meule traditionnelle (entre 1,5 et 9 USD/stère), mais plutôt dans la fourchette haute (5-9 USD/stère) car il nécessite d'employer un charbonnier expérimenté. Le coût total pour le montage est estimé entre 97 100 et 174 800 USD.

De plus on a estimé le coût moyen du défournement au sens large, incluant la mise en sac et l'emballage, est de l'ordre de 800 à 1 400 CDF par sac de makala (entre 0,9 et 1,5 USD/sac). En considérant la quantité de sacs ci-dessus et cette fourchette de coûts, le coût du défournement serait compris entre 20 200 et 31 000 USD.

Au final, le coût de la carbonisation traditionnelle améliorée sans événements métalliques s'élèverait entre 49 300 et 205 800 USD. Ces écarts d'estimations s'expliquent par la forte variabilité des coûts de montage d'une meule pour laquelle il n'existe pas de coûts de référence (chaque travail résulte d'une négociation individuelle).

♣ ***Si ce scénario est retenu pour le business plan, les analyses de sensibilité devraient porter en priorité sur le coefficient d'enstérage et le coût du montage de la meule améliorée.***

### 3.3.3. Organisation des chantiers de carbonisation

Comme indiqué précédemment, l'abattage et le débardage doivent être réalisés de Mai à Septembre, avant le démarrage de la saison des pluies, voire reporter à la petite saison sèche en cas de nécessité. Le bois doit sécher au moins deux mois avant d'être carbonisé afin d'être bien sec: c'est un des paramètres importants du rendement de carbonisation.

Le bois disponible pour la carbonisation est donc théoriquement sec à partir de Juillet de l'année (n). Une première période de carbonisation est possible jusqu'au démarrage de la saison des pluies.

A partir de septembre/octobre, il est probable que les chantiers de carbonisation soient ralentis à cause des travaux dans les champs, les charbonniers étant eux-mêmes des agriculteurs. De plus, à cette période, Novacel est également très occupée dans ces propres jachères agroforestières.

Il serait donc probablement préférable de ralentir la production de makala au début de la saison des pluies, sans toutefois l'arrêter complètement puisque les prix du makala sont élevés à cette période. Ce ralentissement permettrait aussi de limiter les impacts des camions de makala sur les pistes du Puits de carbone agroforestier.

La carbonisation pourra reprendre en rythme soutenu en fin de saison A (au moment des fêtes) et jusqu'en Juin de l'année (n+1), soit le milieu de saison sèche. En Juillet, les lots à carboniser de l'année (n+1) sont théoriquement prêts.

La localisation des parcelles très proches de la Route Nationale 1 permettra à Novacel de produire du makala en saison des pluies en limitant l'impact des camions sur les pistes. Environ  $\frac{1}{4}$  de la production est située en bordure directe de la route (sous-blocs A9SW, A9SE et A10SW), le reste étant à moins de 4 km et accessible par deux pistes. Des travaux d'aménagement seraient quand même à prévoir régulièrement, mais sur des petits tronçons.

**NB:** les matériaux utilisés pour l'emballage peuvent tous être recueillis dans les plantations d'Acacia. Cependant, nous avons observé à plusieurs reprises l'écorçage d'arbres dans des plantations n'ayant pas atteint l'âge de maturité. **Cette pratique est à proscrire, un écorçage trop intense provoquant une chute de croissance et, à terme, la mort de l'arbre.** Il faut absolument que la récolte d'écorce soit effectuée dans les peuplements matures avant l'abattage ou au moment du débardage/stockage des bois. De même, les branches doivent être récoltées sur les arbres abattus.

**Novacel devrait toutefois étudier la possibilité de produire des sacs de makala sans tête (gain de temps, limite l'écorçage mais impact potentiellement négatif en termes de marketing).**



**Photo 4: Ecorçage d'un *Acacia auriculiformis* dans un sous-bloc en bordure de Route Nationale 1**

### 3.3.1. Main d'œuvre nécessaire

Le Tableau 12 ci-dessous évalue la quantité de main d'œuvre nécessaire pour carboniser l'ensemble du bois disponible selon la technique de la meule améliorée, issue des Tableaux 8 et 9:

Main d'œuvre - unité/HJ	Rendement (stères/HJ)		Main d'œuvre totale (12 mois)		Main d'œuvre totale (9 mois)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<b>Montage</b>	4	7	10	17	13	23
<b>Enfournement</b>	3,5	7	10	20	13	26
<b>Défournement et ensachage</b>	7	10	7	10	9	13
<b>Total</b>	<b>14,5</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>47</b>	<b>35</b>	<b>62</b>

**Tableau 12: Quantités de main d'œuvre nécessaire pour la carbonisation traditionnelle améliorée**

En étalant la durée de carbonisation sur une année, il faudrait donc entre 27 et 47 charbonniers à temps plein. En la raccourcissant à 9 mois, il en faudrait 35 à 62.

D'après nos entretiens avec les associations de charbonniers, on estime que les associations dans les villages proches d'Ibi peuvent fournir autant de charbonniers.

Localité	Charbonniers formés par la SNV	Charbonniers formés par d'autres charbonniers	Charbonniers utilisant la meule améliorée
<b>Duale Bolingo</b>	2	15	10
<b>Inziolo</b>	2	50	50
<b>Bwantaba</b>	2	11	4
<b>Mutiene</b>	5	30	30
<b>Yolo</b>	2	22	22
<b>Mampu</b>	2	?	0
<b>Nfumunketo</b>	?	?	?
<b>Impuru</b>	2	60	10
<b>Mpongwene</b>	6	40	5
<b>Imbu</b>	?	?	?
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>228</b>	<b>131</b>

**Tableau 13: Charbonniers formés à la carbonisation améliorée autour d'Ibi village**

### 3.3.2. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

Dans ce scénario, le GI Agro réaliserait les volets organisation de la production et formation des producteurs (ce qui rentre dans son champ de compétences), tandis que Novacel réaliserait le contrôle de la production.

Nous recommandons de ne pas travailler avec des individus, mais de plutôt travailler avec des associations de charbonniers, plus flexibles en termes de main d'œuvre qu'un opérateur seul. Toutes les associations rencontrées (Duale Bolingo, Inziolo, Bwantaba, Mutiene et Yolo) se sont montrées intéressées. On estime qu'ils sont plus d'une centaine à pratiquer la meule améliorée.

Les charbonniers préfèrent un partage en nombre de sacs (de 70/30 en faveur du charbonnier à 50/50 selon les personnes interrogées, jusqu'à 40/60 si Novacel prend en charge le logement et la nourriture). Ils reconnaissent que Novacel a investi pour obtenir ces arbres, donc cela doit être reflété dans le pourcentage qui revient à la société. Par contre, ils ne sont pas en faveur d'un paiement up-front pour accéder à la ressource, car ils n'en ont pas les moyens. Enfin certains souhaiteraient que Novacel fournisse la ration, ce qui semble compliqué à réaliser.



Ce système de paiement en pourcentage de la production présente comme avantage de maximiser le soin de la part des charbonniers. Parmi les inconvénients, on peut citer les risques de fraude (tricherie sur le nombre de sacs réellement produits). Ces risques seraient atténués par le suivi rigoureux du montage et du défournement de la part de Novacel pour établir les ratios "sacs produits sur volume de bois enstéré", le rétablissement des postes de contrôle au niveau de la RN1 et la présence d'un représentant de Novacel lors du chargement des camions.

Nous recommandons également de proposer un modèle de contrat unique pour simplifier la gestion administrative. La main d'œuvre serait directement gérée par l'association de charbonniers, Novacel se contenterait de faire le suivi de terrain. Prévoir une clause d'annulation de contrat en cas de fraude. Prévoir également un cahier des charges techniques inspiré du guide sur le montage des meules améliorées ainsi qu'un règlement intérieur (exemple: collecter des matériaux pour emballage avant abattage ou sur bois débardé/stocké) et des consignes de sécurité. Prévoir enfin une clause de disponibilité au début de la saison des pluies pour que les opérations ne soient pas complètement arrêtées, et que les charbonniers s'organisent entre eux au sein d'une association.

Certaines associations souhaiteraient qu'un mode de transport soit mis à leur disposition pour se rendre à Ibi. D'autres préféreraient s'installer à proximité du Puits de carbone agroforestier pour ne pas perdre de temps ni d'argent dans les transports. Nous pensons que cette seconde option est envisageable tant que la population de charbonniers ne dépasse pas 100 à 120 personnes.

Enfin, il serait intéressant de proposer aux associations de charbonniers de mettre en place des plantations agroforestières sur leurs terroirs villageois respectifs, de sorte qu'elles puissent également bénéficier à terme d'une ressource durable. Le GI Agro dispose des compétences nécessaires pour réaliser les Plans simples de gestion correspondants. Cependant cette action ne pourrait pas être financée sur les recettes du makala produits à Ibi, il serait nécessaire d'identifier une autre source de financement.

En conclusion de ce qui précède, nous proposons qu'une enquête soit réalisée dans les villages voisins d'Ibi afin de recruter les potentielles associations de charbonniers volontaires sur la base des critères suivants:

- Partage 50/50 des sacs de makala;
- Travailler exclusivement avec des fours traditionnelles améliorés, en respectant le cahier des charges imposé par Novacel;
- Venir s'installer dans les sites d'accueil des travailleurs à Musia Bikui pour la durée des opérations de carbonisation;
- Gérer les avances pour la ration et les outils qui seront récupérées au moment du défournement en termes de sacs.
- Engagement en faveur de la réalisation de plantations communautaires dans le village d'origine, dans le cadre de Plan simple de gestion des forêts.

### 3.3.3. Autres coûts à prévoir

#### *Suivi-contrôle des activités de production*

On estime qu'un technicien du GI Agro à temps plein est en mesure de contrôler quotidiennement le travail effectué par les charbonniers sur le terrain: vérifier l'application du cahier des charges, contrôler la présence d'un charbonnier pour le suivi de carbonisation et être présent lors du défournement pour contrôler le nombre de sacs produits.

Un technicien Novacel doit être présent aux côtés de l'agent GI Agro lors des opérations de réception des meules montées et de contrôle du défournement, dans le but d'établir les

ratios "sacs produits sur volume sur volume de bois enstéré". De plus, l'agent Novacel doit être présent lors du chargement des camions, sa fonction principale étant de mettre au point un système de surveillance des sacs produits revenant à Novacel.

Coût d'un technicien: 350 USD/mois à temps plein. Investissement véhicule: une moto en bon état, 1 500 USD. Durée d'amortissement: 5 ans. Frais d'entretien: 15%/an du coût d'investissement. Frais variables: 100 USD/mois de carburant (utilisation quotidienne de la moto). A multiplier par deux pour obtenir le coût total (un technicien GI Agro et un technicien Novacel).

Il faudrait rétablir et équiper les postes de surveillance en bordure de Route Nationale 1 pour y accueillir un surveillant et sa famille, soit la somme de 2 000 USD environ.

#### *Renforcement des capacités des coopératives*

Il sera nécessaire de prévoir une formation (ou remise à niveau) des charbonniers professionnels sur la meule traditionnelle améliorée. On estime que former un groupe de 10 à 15 charbonniers représente un coût d'environ 10 000 USD (GIZ, 2014). Cette formation devrait se dérouler dès le début des opérations de montage (quand le bois est sec), soit aux environs du mois de Juillet. Elle pourrait être organisée par le GI Agro.

Il sera de plus nécessaire de prévoir des activités de formation aux techniques de production de plants, de plantations et d'entretien des plantations dans le cadre de la réalisation des Plans simples de gestion villageois. Ce coût pourra être évalué en fonction du nombre de communautés impliquées dans les opérations de carbonisation et des surfaces de terrains à reboiser dont elles disposent. Le GI Agro dispose là-aussi des compétences nécessaires pour réaliser ce travail.

Il sera enfin nécessaire d'établir les contrats avec les associations de charbonniers participantes (présentation des clauses, discussions, signature). Le coût dépend de nouveau du nombre d'associations concernées. Le GI Agro dispose là-aussi des compétences nécessaires pour réaliser ce travail.

### 3.4. Scénario 2 : carbonisation semi-industrielle (Adam Retort)

Dans cette section nous étudions plus en détail la carbonisation améliorée grâce au four *Adam Retort*. Comme indiqué précédemment, les raisons du choix de ce four sont les suivantes:

- Les gaz de pyrolyse sont récupérés et servent à augmenter la température de la charge. Ceci augmente la quantité de carbone pur dans le makala et améliore le rendement: 30-35 % contre 20-25% avec des fours à combustion interne en briques: **c'est l'argument n°1, lié au procédé de carbonisation lui-même.** Le constructeur annonce 35-40% de rendement, mais nous pensons qu'il vaut mieux rester conservateur.
- C'est un four à chauffage externe, la mise en température du bois est mieux contrôlée que par combustion interne et la quantité de bois brûlée inutilement est moindre.
- Les fumées et le méthane sont récupérés et brûlés, limitant ainsi les émissions de GES et les risques sur la santé des charbonniers.
- Le cycle de production est très court (2 jours environ).
- Étant donné ses dimensions (3 stères par cycle), il est possible de répartir plusieurs fours dans l'enceinte et sur les abords du Puits de carbone, limitant ainsi l'impact sur les coûts de transport.

### 3.4.1. Quantité globale de makala

D'après ce qui précède on estime le volume total disponible pour la carbonisation des sous-blocs plantés en 2008 à 19 421,8 stères en utilisant un coefficient d'enstérage de 1,6 m<sup>3</sup> réel par stère (m<sup>3</sup> apparent).

En supposant que la masse volumique sur bois sec d'*Acacia auriculiformis* en plantation de 7 ans est d'environ 554 kg/m<sup>3</sup> (Cassart, 2011) et considérant un rendement massique sur bois sec de 30% avec le four Adam, la quantité de makala produite est d'environ 2 017 tonnes (à comparer aux 1 345 tonnes estimées avec la carbonisation traditionnelle améliorée).

En posant l'hypothèse que le poids moyen du sac de makala se situe entre 60 et 65 kg, la quantité de sacs de makala produite avec le four Adam serait donc comprise entre 31 037 à 33 624 sacs, soit en moyenne 10 777 sacs de plus qu'en carbonisation traditionnelle améliorée.

♣ **Si ce scénario est retenu pour le business plan, les analyses de sensibilité devraient porter sur le rendement massique sur bois sec et le poids du sac.**

### 3.4.2. Coûts de production du makala

#### Construction du four

D'après le constructeur, un four de capacité 3 stères peut opérer 100 cycles de production par an à raison de deux cycles par semaine, soit une capacité de 300 stères par four et par an. Il serait donc nécessaire de construire 65 fours Adam pour une période de carbonisation de 12 mois, et 87 pour une période de 9 mois.

D'après nos calculs et les données sur les matériaux issues d'entretiens à Kinshasa et sur les Plateaux Batéké, on estime à environ 1 500 USD le coût de construction d'un four Adam contre 1 200 USD d'après son constructeur (Tableau 13).

Poste de dépense	Unité	Qté	Coût unitaire (USD)	Coût total (USD)	Commentaire
Maçon	hj	3	25	75	
Assist. maçon	hj	4,5	5	22,5	
Ingénieur / technicien	hj	3	50	150	
Plaque en métal A		2	125	250	1,25m x 2,5m x 2,5mm
Plaque en métal B		1	100	100	1,25m x 2,5m x 0,8mm; galvanisée
Plaque en métal C		2	100	200	1,25m x 2,5m x 0,5mm
Briques		1400	0,27	380,4	Petites briques réfractaires
Sable, graviers		1	100	100	
Ciment	sac	7	15,5	108,5	sac de 50 kg
Plaque en métal résistante		1	100	100	cheminée; ondulée
Construction	hj	4	5	20	
<b>TOTAL 1 FOUR</b>				<b>1 506,4</b>	
<b>TOTAL 65 FOURS</b>				<b>97 918,3</b>	
<b>TOTAL 87 FOURS</b>				<b>131 059,8</b>	

**Tableau 13: Coût moyen de construction d'un four Adam**

Le four étant couvert par une patente, son constructeur délivre une licence pour l'utilisation du manuel de construction du four à hauteur de 2 600 USD pour les 6 premiers fours et 40 USD pour les fours suivants, soit 4 960 USD de licence.

♠ **Au total, les frais de construction et de licence s'élèvent donc à 149 900 USD pour 87 fours Adam. A cela s'ajoutent les frais d'entretien, estimés à 15%/an des coûts d'investissement.**

#### *Opération du four et main d'œuvre nécessaire*

Un seul ouvrier spécialisé est nécessaire pour un cycle de deux jours comprenant le chargement du four, le suivi de la carbonisation et le déchargement du four. Au total, 61 ouvriers spécialisés seraient nécessaires pour faire fonctionner les 65 fours Adam sur une période 9 mois. A des fins pratiques, on considérera plutôt 65 ouvriers spécialisés (1 par four).

Variable	Valeur	Unité
Capacité d'un four sur 9 mois	225	stères/four/9 mois
Nombre de cycles sur 9 mois	75	cycles/four/9 mois
Quantité de main d'œuvre	2	HJ/cycle
Nombre de fours	87	fours
Quantité globale de main d'œuvre	150	HJ/four
Quantité globale de main d'œuvre	13 050	HJ
Quantité globale de main d'œuvre	61	Équivalent temps plein
Coût global main d'œuvre	84 825	USD
Coût global main d'œuvre	4,37	USD/stère

**Tableau 14: Coût d'opération des fours Adam**

♠ **Au total, les frais d'opération s'élèvent donc à 84 825 USD pour 87 fours Adam, soit 4,37 USD/stère. Il s'agit de main d'œuvre uniquement, rétribuée à hauteur de 6,5 USD/HJ (ouvrier spécialisé).**

#### *Transport du bois vers le four*

Le tableau ci-dessous indique le nombre de fours nécessaires pour carboniser en 9 mois chacun des 6 sous-blocs plantés en 2008:

Sous-blocs	Volume total (m <sup>3</sup> )	Volume total (stères)	Nombre de fours
<b>A10SW</b>	367,4	587,84	3
<b>A9SE</b>	1049,8	1679,68	7
<b>A9SW</b>	1687,9	2700,64	12
<b>C6NE</b>	3185,8	5097,28	23
<b>C7NW</b>	2845,1	4552,16	20
<b>C7SW</b>	3002,5	4804	21
<b>Total général</b>	12138,6	19421,76	87

**Tableau 15: Répartition théorique des fours Adam par sous-bloc**

La densité de construction de fours serait très élevée (1 four pour 1,14 ha en moyenne), du fait de la faible capacité de charge du four Adam. Ainsi il serait préférable de construire des petites unités rassemblant une vingtaine de fours pour chaque sous-bloc de 25 ha. Ces unités seraient disposées à proximité des pistes pour faciliter l'évacuation des produits.

Ceci impliquerait donc des coûts de transport du bois sec sur de faibles distances. Ce coût était précédemment évalué à 3,3 USD/stère hors coûts liés à l'investissement dans un tracteur agricole + benne. Or la distance de transport devrait facilement diminuer de moitié, donc ce coût variable également (1,7 USD/stère).

♠ **Au total, les frais de transport du bois sec vers le lieu de carbonisation s'élèveraient donc à 33 017 US, hors coût d'investissement et amortissement dans les engins roulants.**

### *Coût total, hors entretien des fours et entretien/amortissement du matériel roulant*

Pour ce scénario, les coûts totaux de la carbonisation avec four Adam s'élèvent 267 742 USD, soit 13,8 USD/stère, à comparer aux coûts de la carbonisation traditionnelle étant compris entre 2,5 et 10,6 USD/stère.

Rapporté au nombre de sacs produits, la carbonisation avec four Adam présente des coûts de production minimums de l'ordre de 8,28 USD/sac, contre 2,3 à 9,5 USD/sac pour la carbonisation traditionnelle améliorée.

**♣ En ajoutant les coûts d'entretien des fours et des engins roulants (tracteurs + porteurs), de même que les coûts d'investissement dans les engins roulants, les coûts de la carbonisation améliorée avec four Adam dépasseront largement les coûts de la carbonisation traditionnelle. Qui plus est, en tenant compte de considérations pratiques sur l'état des pistes et sur le temps nécessaire pour réparer les avaries sur le matériel, nous pensons que le rythme réel de production serait fortement diminué et que les objectifs de production ne sauraient être atteints.**

**♣ Si ce scénario est retenu pour le business plan (ce que nous ne conseillons pas), les analyses de sensibilité devraient porter en priorité sur le coefficient d'enstérage et le coût du montage du four Adam.**

#### 3.4.3. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

Les mêmes recommandations peuvent s'appliquer que pour le cas de la carbonisation traditionnelle améliorée.

L'autre accord contractuel à prévoir est l'objet de la licence d'utilisation du manuel de construction, le constructeur imposant certaines conditions d'utilisation. A priori celles-ci ne sont pas insurmontables dans la mesure où le manuel de construction n'est pas diffusé à l'extérieur et où le nombre de fours construits correspond bien au nombre communiqué pour établir la licence.

#### 3.4.4. Autres coûts à prévoir

Les mêmes coûts supplémentaires que dans le cas de la carbonisation traditionnelle améliorée sont à prévoir.

La formation des charbonniers devrait toutefois coûter plus cher étant donné qu'il serait nécessaire de construire plusieurs fours (minimum 6), soit presque 12 000 USD rien que pour la construction des fours nécessaires à la formation.

### 3.5. A propos des taxes:

Les taxes sont prélevées en même temps que le transport, à l'arrivée du camion au dépôt. C'est souvent le dépositaire qui l'inclut dans son prélèvement avant de la reverser aux agents des ministères concernés. Il y a deux origines pour ces taxes (Mvula Mampasi, 2013):

- Ministère de l'énergie: par arrêté du gouvernement provincial. Prélèvement à la source de 20 USD par meule initialement, mais comme les agents ne se déplacent pas sur le terrain, une amende est prélevée. Dans les faits, l'amende est négociable (400 CDF/sac environ, mais varie selon les dépôts). Bien entendu, nous n'avons aucune idée de leur utilisation finale.
- Ministère de l'environnement, conservation de la nature et tourisme: taxe collectée par la Coordination urbaine de l'environnement (à terme, c'est la commune qui

devrait la prélever). Normalement, il ne s'agit pas d'une taxe mais d'une amende transactionnelle de 5 USD/sac en cas de non paiement du permis. Ce permis coûte 130 USD pour 3 mois et permet d'exploiter 50 tonnes de bois ou 50 tonnes de charbon (donc théoriquement valable pour 800 sacs de 62,5 kg, ce qui interpelle quand on le compare à l'amende infligée en réalité). Ces quantités sont à déclarer au district qui délivre le permis. Dans les faits, personne n'achète le permis et tout le monde prend l'amende comme une taxe. Elle est négociable et d'environ 300 CDF/sac, prélevée au dépôt également.

Les autres taxes sur la route ont disparu depuis quelques semaines/mois, sauf les taxes de parking.

## 4. Volet "Transport":

---

Dans cette section nous prendrons l'hypothèse d'un volume de production de 21 554 sacs de makala de 62,5 kg en moyenne, correspondant au scénario 1 du volet "carbonisation".

### 4.1. État des lieux de la problématique du transport

---



**Photo 5: Le transport par camion depuis la Nationale 1 entre Ibi et Kinshasa**

Tous les entretiens effectués pendant la mission montrent le recours au transport externalisé.

A Mutiene, l'association de charbonniers indique qu'à partir de 10 sacs de makala, les membres louent une camionnette. Au-delà, ils contactent un transporteur qui viendra chercher les sacs au bord de la route, au village.

Le point de chute du transport est l'un des nombreux dépôts de makala de Kinshasa situés à l'entrée de la ville. En général, les charbonniers indiquent un coût de transport de 3 000 CDF à 3 500 CDF/sac hors frais de chargement, taxes, frais de dépôts et déchargement. Des frais de chargement supplémentaires peuvent être nécessaires pour acheminer les sacs vers le lieu de stockage en attendant le chargement dans le camion.

La prise en charge du coût de transport par le producteur est une modalité très répandue parmi l'ensemble des charbonniers interviewés, individuels ou en association, mais les prix varient d'une location à une autre. Moins le village est accessible, plus le coût de transport sera élevé. A Mampu, les transporteurs demandent 7 000 à 7 500 CDF/sac, plus de deux fois ce qui est demandé à Mutiene.

De l'aveu de certains charbonniers, le transport est certes cher, mais les prix du makala bord de route dépassent rarement 8 000 CDF/sac (voire 6 500 à 7 000 CDF/sac à Mampu) alors que les prix à Kinshasa sont élevés.

Cependant lorsque la quantité n'est que de quelques sacs, obtenus par exemple contre service rendu, la vente bord de route permet d'avoir plus rapidement son argent.

Certains charbonniers ne se rendent pas physiquement à Kinshasa, mais restent en contact avec le transporteur. D'autres, des individus en général, préfèrent accompagner la marchandise, quitte à payer des frais supplémentaires pour le voyage et pour retourner au village.

## 4.2. Scénario 1 : transport externalisé

### 4.2.1. Coûts du transport

D'après nos entretiens, on estime le coût moyen du sac au départ d'Ibi à 6 120 CDF/sac.

Lieu	Chargement	Transport	Taxes	Déchargement	Frais de dépôt	Total	Source
Ibi	200	4 000	800	200	1000	6 200	Entretien Maman ZAVI
Mutiene	200	3 500	700	250	800	5 450	Entretien Président charbonniers Mutiene
Ibi	500	4 000	*	500	1000 (inclus*)	6 000	Entretien Claver GI Agro
Yolo	500	6 000		inclus dans transport		6 500	Entretien Président charbonniers Yolo
Ibi	500	4 000	400	500	500	5 900	Entretien Papa Elisée
Ibi	300	4 500	400	200	800	6 200	Entretien Papa Ghislain
Ibi	500	4 000	500	500	800	6 300	Entretien Aimé Mgambo
<b>Moyenne</b>						6 079	
<b>Moyenne départ Ibi</b>						6 120	

**Tableau 16: Estimation des coûts de transport au départ d'Ibi (CDF/sac)**

Pour une production totale de 21 554 sacs, on estime les coûts de transport totaux à 143 381 USD dans ce scénario.

### 4.2.2. Main d'oeuvre nécessaire

D'après un dépositaire du marché Liberté (dépôt "Safari"), on charge en moyenne 100 sacs de makala sur un camion, le reste étant constitué de sacs de fougou et autres commodités agricoles. Il faudrait donc 216 camions environ pour transporter 21 554 sacs de makala, soit 24 par mois pendant 9 mois (période de carbonisation).

Cela signifie qu'il faudrait charger presque 1 camion par jour, tous les jours pendant 9 mois. Cela nécessiterait une équipe de 4 à 5 ouvriers dédiée spécialement au chargement des camions (hypothèse de 20 sacs chargés par personne en moyenne).

### 4.2.3. Organisation du transport

L'évacuation des sacs de makala produits en bordure de parcelle nécessite la pénétration de camions sur les pistes du Puits de carbone et donc leur entretien, de manière quasiment continue en saison des pluies. On estime que 4,5 km de pistes inter-blocs et intra-blocs seront à restaurer pour accéder aux sous-blocs A9SW, A9SE et A10SW, contre 7 km pour les sous-blocs C6NE, C7NW et C7SW.

Pour limiter les impacts sur la piste du km6, on pourrait également restaurer la portion de piste qui part du km 10 et qui arrive en bordure du sous-bloc C7NW. On demanderait ainsi aux transporteurs de n'utiliser ces pistes que dans un sens.



Dans cette modalité, c'est le transporteur qui assume le risque en cas d'avarie matérielle : si le camion tombe en panne, un autre viendra prendre son chargement, aux frais du transporteur.

#### 4.2.4. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

Étant donné le besoin élevé en camions (1 par jour en moyenne), Novacel pourrait faire appel à une ou plusieurs compagnies de transporteurs, qui disposent d'une flotte de camions suffisamment importante pour ne pas avoir à démultiplier les coûts de gestion administrative des contrats. La durée de la mission n'a malheureusement pas permis d'interviewer des candidats transporteurs potentiels.

Par l'intermédiaire des dépôts de makala, la SNV entend identifier des transporteurs disponibles, et avec des véhicules en bon état; intéressés par le transport de makala en provenance des villages du Plateau des Batéké. Ce n'est cependant pas une grande priorité pour leur projet, qui se concentre avant tout sur les producteurs.

#### 4.2.5. Autres coûts à prévoir

Les coûts de restauration des pistes n'ont pas été estimés à ce stade. Ils sont indépendants du scénario retenu. Les coûts de suivi de l'évacuation des produits peuvent être assurés par le technicien identifié dans la section précédente.

Novacel pourrait en outre désigner un responsable de la commercialisation du makala à Kinshasa qui serait chargé de contrôler les opérations dans les dépôts.

### 4.3. Scénario 2 : transport internalisé

#### 4.3.1. Coûts du transport

Cette estimation se base sur les hypothèses présentées en Annexe 4, en particulier sur trois rotations par camion et par semaine. Le coût annuel d'un camion de capacité 10 tonnes est estimé à 91 020 USD/an, soit environ 58 USD/tonne.

Considérant que le poids moyen d'un sac de makala s'établit à 62,5 USD/kg, il en ressort que le coût moyen de transport d'un sac est de l'ordre de 3,7 USD/sac, à comparer aux 4,1 USD/sac estimés pour le scénario précédent (voir **Section 4.2.1**: transport externalisé, hors coûts de chargement/déchargement, frais de dépôt et taxes). Pour un camion de 20 tonnes, le coût de transport descend à 3,1 USD/sac.

Le scénario 1 semble plus intéressant que le scénario 2 et permettrait d'économiser entre 8 621 et 12 932 USD de frais de transport.

**♣ Le coût moyen du transport dans le scénario 2 "transport internalisé" est donc plus faible que dans le scénario 1 "transport externalisé".**

#### 4.3.2. Organisation du transport

La circulation à l'intérieur du Puits de carbone agroforestier est indépendante du scénario choisi. Les règles énoncées plus haut s'appliquent également, de même que le besoin de restaurer les pistes pour accéder aux plantations.

Deux camions, un de 10t et un de 20t, ont été acquis par Novacel dans le cadre du projet REDD+ agroforestier dans le Sud Kwamouth. Le scénario d'internalisation nécessite un seul

camion de 10t pour transporter les 1 345 tonnes de makala produites par carbonisation traditionnelle améliorée sur une période de 12 mois.

Le risque de panne ou casse matérielle est entièrement assumé par Novacel dans ce scénario: si un camion tombe en panne, il doit être rapidement réparé. Sinon l'activité s'arrête et il faut faire appel à des transporteurs (scénario 1).

L'impact sur les pistes sera moindre avec un camion de 10t qu'avec un camion de 20t, donc les coûts d'entretien sont censés diminuer.

**♣ Dans le business plan, si cet axe stratégique est retenu, il faudrait donc considérer l'achat d'un nouveau camion léger, au coût indiqué précédemment (91 000 USD/an).**

#### 4.3.1. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

La rentabilité du voyage Kinshasa – Ibi est problématique, car les camions voyagent en général à vide dans ce sens.

Cela dit, étant donné que le transport de makala devrait être effectué à flux tendu entre Ibi et Kinshasa pour au moins un des deux camions, il ne faudrait pas qu'il soit ralenti par des activités connexes mal maîtrisées, comme la livraison de produits en provenance de Kinshasa vers Mbankana ou ailleurs, et qui auraient donc un effet contre-productif.

#### 4.3.2. Main d'oeuvre nécessaire

Le transport de 21 554 tonnes de makala sur 12 mois nécessiterait donc 1 chauffeur-mécanicien.

Le chargement des sacs sur les camions nécessiterait 4 à 5 ouvriers à temps plein (idem que pour le scénario 1). Le déchargement est inclus dans le coût de transport, le transporteur se chargeant de recruter la main d'œuvre sur place au dépôt de Kinshasa.

#### 4.3.3. Autres coûts à prévoir

D'autres coûts sont à prévoir en comparaison du scénario 1 tels que les frais de parking du ou des camion(s) à Kinshasa. La durée de la mission n'a pas permis d'arriver à ce niveau de détail de l'estimation, mais on estime que ce coût est relativement faible par rapport aux autres dépenses identifiées.

En ce qui concerne la taxe de stationnement des véhicules au parking, le taux appliqué est de 180 USD par véhicule pour une durée de validité d'un an d'après la loi. Les véhicules qui ne sont pas en règle payent une amende journalière de 3,2 USD (ou autre montant négocié sur place).

## 5. Volet "Commercialisation":

---

### 5.1. État des lieux de la problématique de la commercialisation

---



**Photo 6: Sacs bande verte et bande bleue indifféremment entreposés dans un dépôt à Kinshasa**

Les producteurs de makala s'adressent en général à des grossistes ou semi-grossistes pour commercialiser les produits. On les appelle "dépositaires" car ils occupent des "dépôts" à Kinshasa.

Par exemple, les charbonniers de Yolo envoient leur makala dans les dépôts de Matamba (Kingasani), Kimpakasa (Kimbanseke), N'Gaba (N'Gaba), Limete, Yolo (Kalamu), Liberté (Masina), Kambi (Masina), Bitabe (N'djili)... en fonction de l'avantage comparatif de chacun de ces dépôts. Par exemple, Matamba est plus rapide, mais le prix est en général plus réduit, à l'opposé de N'Gaba (vente plus longue, mais prix plus élevé). L'accessibilité du dépôt est également un facteur important à prendre en compte.

Les consommateurs et détaillants s'adressant directement aux dépositaires vérifient la qualité du makala en scrutant les morceaux contenus dans la "tête": poids, dimensions, présence de poussières... Si le makala est de bonne qualité, le prix est plus élevé. Le reste du sac n'est pas inspecté.

Au dépôt Safari, situé au marché Liberté (commune de Masina, Quartier 12), le dépositaire et l'Union des fermiers agroforestiers de Mampu ont signé un accord de commercialisation. Entre 5 et 10 camions arrivent chaque jour en provenance de Mampu, mais le dépositaire commercialise la marchandise de 5 ou 6 camions tout au plus afin de maintenir des prix élevés en limitant l'offre. Le coût d'accès au dépôt Safari est de 600 CDF/sac. Environ quatre personnes travaillent dans ce dépôt, hormis les deux responsables basés en ville. De l'aveu du dépositaire, c'est le makala qui fait marcher le dépôt. De plus, les consommateurs seraient attirés par les sacs "bande bleue" et "bande verte", mais pas "bande rouge" (Photo 6).

**NB:** L'Annexe 3 montre le poids d'un échantillon de sacs de makala d'*Acacia auriculiformis* pesés à Ibi pendant la mission. Il y a bien des différences de volume entre les sacs mais aussi une grande variabilité au sein d'un même type de sac en fonction de l'agencement du makala.

Au dépôt de Bitake (commune de N'djili), le dépositaire travaille un peu avec les fermiers de Mampu mais surtout avec des commerçants qui achètent le makala en brousse. Le dépositaire écoule deux camions par jour en moyenne, mais ne vend pas uniquement du makala d'acacia. Les frais prélevés par le dépositaire (1 000 CDF/sac de droit de dépôt) servent à payer les salaires des deux responsables du dépôt (350 000 CDF/mois), les coûts d'entretien de la parcelle (100 000 CDF/mois) et l'emploi d'un surveillant (200 000 CDF/mois). A la différence du dépôt Safari, le dépositaire indique que seuls les sacs bande verte se vendent au meilleur prix.

Au dépôt "Bob" Matamba (commune de Kimbanseke, Quartier Mikondo), l'acacia représente 2/3 des 150 sacs commercialisés par jour. Le droit de dépôt est de 800 CDF, il permet de faire travailler 1 responsable et 5 personnes supplémentaires. Le dépositaire indique que le makala d'acacia représente un très bon rapport qualité-prix pour les consommateurs. A l'inverse des dépositaires précédent, il indique que c'est le sac bande bleue qui est le plus recherché par les consommateurs, mais qu'il s'agit seulement d'une mode.

La SNV a encore peu travaillé sur le volet commercialisation mais envisage de sensibiliser les consommateurs sur les effets positifs de la consommation de makala durable sur l'environnement, à long terme. D'après les dépositaires interrogés, il semble que le meilleur argument marketing soit la qualité de la braise contenue dans la tête et la faible quantité de poussière résiduelle dans le sac.

**♣ A ce stade, nous pensons qu'il n'est pas nécessaire d'investir dans un outil marketing performant (sacs avec logo) pour la vente en gros ou semi-gros, la qualité du makala d'acacia étant son meilleur argument de vente. D'après nos entretiens, il est peu probable que cela se reflète par un prix plus élevé sur le marché du gros ou semi-gros. Il faudrait de plus déployer des efforts pour récupérer les sacs, diminuant ainsi la rentabilité de l'opération. Cependant cette discussion pourrait être poursuivie, en lien avec les travaux menés par la SNV sur ce sujet. Cela dit, il faudrait encourager les dépositaires à distinguer le makala d'acacia produit à Ibi du reste (séparation physique par exemple).**

## 5.2. Scénario 1 : commercialisation en gros et semi-gros

---



Photo 7: Marché Liberté vidé par un jour de pluie

### 5.2.1. Prix de vente

Comme indiqué précédemment, on peut considérer le prix du sac de makala en gros ou semi-gros à environ 20 USD/sac. On considère les sacs "3 pas" (tête gonflée de trois niveaux de makala) à bande bleue ou verte. Ainsi, les recettes potentielles du scénario 1 "carbonisation traditionnelle améliorée" s'élèvent à 431 080 USD.

### 5.2.2. Main d'œuvre nécessaire

Ce scénario ne nécessite pas de main d'œuvre, la commercialisation étant assurée par les dépositaires de makala. Le déchargement est effectué par des travailleurs du dépôt. Un responsable de la commercialisation peut être désigné pour contrôler les flux à Kinshasa et collecter les recettes aux dépôts.

### 5.2.3. Organisation de la commercialisation

Les gros dépôts de Kinshasa comme le dépôt Safari au marché Liberté ont la capacité d'écouler 5 à 6 camions de makala par jour. C'est bien plus que ce que les plantations d'Ibi pourraient fournir en flux tendu (3 camions par semaine si le transport est internalisé).

La personne chargée de suivre la commercialisation devrait se rendre dans les dépôts ciblés par Novacel pour faire le suivi-contrôle de l'activité, percevoir les recettes de commercialisation et régler les frais de dépôt. C'est le dépositaire qui fait l'essentiel du travail de commercialisation.

### 5.2.4. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

Les dépositaires interviewés dans le cadre de cette mission (Safari, Matamba, Bitake) se sont tous montrés intéressés pour commercialiser le makala d'Acacia en provenance d'Ibi. Ces dépositaires font partie de ceux formés par la SNV pour commercialiser le makala "durable". Leur liste complète n'est cependant pas encore communiquée.

## 5.3. Scénario 2 : commercialisation au détail (marché de niche)

Par manque de données quantitatives sur ce scénario, nous ne pouvons pas estimer précisément les coûts de commercialisation associés.

### 5.3.1. Prix de vente

Deux types de makala "haut de gamme" ont été observés:

- Le makala "Chaco", compressé, en provenance d'Afrique du sud, vendu au détail dans plusieurs enseignes de supermarché à Kinshasa. Il est vendu autour de 10 USD le sac de 5 kg. D'après le responsable d'une enseigne (Shoprite) que nous avons contacté, les ventes seraient tout au plus de 10 sacs par jour, soit à peine 50 kg/jour. Un autre responsable nous a même indiqué 10 sacs par mois...
- Un autre makala trouvé chez City Market (marque Barbecue), jusqu'à 25 USD/kg. Il s'agit cette fois de makala de bambou. Nous n'avons pas obtenu d'informations sur les quantités écoulées.

♣ ***D'après nos entretiens, les volumes commercialisés dans ce marché de niche (charbon pour barbecue) sont très faibles. Cette demande limitée ne permettrait pas d'écouler les stocks produits à Ibi.***

### 5.3.2. Organisation de la commercialisation

Pour ce type de marché de niche, il serait nécessaire d'investir dans un outillage de packaging adapté aux sacs de petite dimension (sacs en papier-carton de 5 à 10 kg). Ceci augmenterait sans doute les coûts d'ensachage / emballage, puisqu'il faudrait ensacher 6 fois plus de sacs, et les ficeler. De plus, les sacs ne seraient pas ré-utilisables.

Étant donné les faibles volumes écoulés, il serait probablement nécessaire de prévoir des frais de stockage des sacs de makala, ainsi qu'une quantité d'inventus. Ce scénario nous semble sub-optimal comparé au scénario 1 où l'ensemble des produits est écoulée sans difficultés.

### 5.3.3. Main d'oeuvre nécessaire

Aucune information n'a été trouvée sur la main d'œuvre nécessaire pour la mise en sac dans le cas d'un packaging « haut de gamme », faute de contacts dans ce domaine. Les marques de charbon haut de gamme vues à Kinshasa étant de plus étrangères, il est très probable qu'aucune entreprise de ce type ne soit installée en RDC, ce qui complique l'estimation des besoins en main d'œuvre.

Ce type d'emballage augmente le nombre de sacs à traiter mais réduit le temps de fabrication de la tête du sac. Un emballage en sac traditionnel sans la tête permettrait de distinguer le makala d'Ibi Batéké des autres makala et d'éviter cette étape aussi fastidieuse qu'inutile (sauf éventuellement sur un plan marketing). L'impact sur la perception du charbon par le consommateur est cependant incertain, étant donné que ceux-ci sont habitués aux têtes qui leur permettent de « tester » le makala.

Hormis pour la mise en sac, ce scénario ne nécessite pas de main d'œuvre, la commercialisation étant assurée par les supermarchés. Un responsable de la commercialisation peut être désigné pour contrôler les flux commercialisés à Kinshasa.

### 5.3.4. Accords contractuels à prévoir et candidats potentiels

Compte tenu du temps disponible pour la mission, aucun candidat potentiel n'a été identifié sur ce scénario. Les accords contractuels porteraient sur la régularité des flux, de la qualité des produits, des échéances de paiement, etc. et seraient en général en défaveur de Novacel (pénalités, décalage de trésorerie négatif, etc.). Le scénario 1 de vente en gros et semi-gros ne présente pas tous ces inconvénients.

## 6. Recommandations pour le plan d'affaires

---

A la vue de ce qui précède, nous recommandons:

- La carbonisation traditionnelle améliorée plutôt que le recours massif à une technique de carbonisation qui coûte plus chère à produire et dont l'efficacité reste encore théorique.
- Le transport internalisé, à condition que les flux de production soient constants, les pistes en bon état et l'organisation bien maîtrisée. Les gains de marge bénéficiaire sont toutefois réduits.
- La vente en gros ou semi-gros, plutôt que la vente pour un marché de niche avec des volumes a priori très faibles.

Naturellement, rien n'empêche à titre pilote de monter un four Adam en bordure de RN1 et d'effectuer des mesures de coûts et de rendements pour observer les résultats non plus théoriques mais bien pratiques.

Les surfaces productives plantées en 2009 et 2010 ont été estimées respectivement à 307,4 ha et 219,5 ha à partir des images satellite à haute résolution disponibles (Annexe 5). Afin d'estimer le volume disponible pour la carbonisation en 2016 et 2017, on multiplie ces surfaces par le volume moyen obtenu lors de l'inventaire. Cette méthode permet de pouvoir ébaucher le business plan jusqu'en 2019, mais présente des inconvénients:

- L'inventaire ne porte pas sur les plantations de 2009 et 2010. Il sera nécessaire de réaliser de nouveau un inventaire dans ces plantations avant leur exploitation afin d'estimer proprement le volume sur pied.
- Entre 2014 et l'année de leur exploitation, ces parcelles peuvent encore subir des incidents (incendies ou crises phytosanitaires). Les surfaces correspondantes devront être recalculées avant l'exploitation.

Par ailleurs, étant donné que les surfaces de plantations ne sont pas identiques d'une année sur l'autre, et qu'elles ont cessé après 2010, nous recommandons à Novacel de lisser la production pour les 5 ans à venir si le maintien sur pied de plantations dépassant l'âge d'exploitabilité est possible.

Le business plan 2015 – 2019 a été préparé sur la base de ces orientations stratégiques et est présenté en **Annexe 6**. La marge brute totale (avant taxation de la société) sur 5 ans s'élève à 481 683 USD. Le temps de retour sur investissement est inférieur à deux ans. La valeur actualisée nette avec un taux d'actualisation de 20% est de 245 000 USD.

La marge brute exprimée en fonction du nombre de sacs produits est de l'ordre de 3,5 USD/sac. D'après nos enquêtes, certains producteurs arrivent à obtenir des marges plus élevées (jusqu'à 10 USD/sac) et d'autres ne font presque pas de marge. Signalons toutefois que certains producteurs ne comptent pas leur temps, alors que pour Novacel, toute intervention est chiffrée. Par ailleurs, les hypothèses de rendement sous-jacentes au plan d'affaires de Novacel sont des moyennes observées sur le terrain, il est donc normal que les résultats n'atteignent pas les maxima.

La marge brute exprimée à l'hectare s'élève à 769 USD/ha à l'âge d'exploitabilité, d'après les données et hypothèses retenues dans cette étude. En y intégrant le coût de renouvellement des plantations agroforestières, Novacel pourra estimer le prix de vente en bloc et sur pied à un tiers lui permettant de générer du cash pour reconstituer ses réserves et poursuivre ses activités de plantations de seconde génération. Un dispositif de suivi-contrôle est toutefois à prévoir.

## Bibliographie

---

- Bisiaux, F., Peltier, R., Muliele, J.C., 2009. Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux Batéké, Mampou, en République démocratique du Congo. Bois For. Trop. 3.
- Cassart, B., 2011. Contribution à l'étude du stockage du carbone dans une chronoséquence d'Acacia auriculiformis sur arénosols en République Démocratique du Congo. Université Catholique de Louvain, Louvain.
- FAO, 1983. Techniques simples de carbonisation. Etude FAO For. 41.
- GIZ, 2014. Formation à la carbonisation améliorée pour les acteurs producteurs de bois énergie à Businga et Mulende (Sud Kivu). Projet Biodiversité et Forêt, Kinshasa.
- Loupe, D., 2014a. Module de formation sur le bois énergie - Chapitre 4-1: Carbonisation: Fabrication du charbon de bois.
- Loupe, D., 2014b. Module de formation sur le bois énergie - Chapitre 4-2: Améliorer la production de charbon de bois.
- Marien, J.N., Dubiez, E., 2013. Quand la ville mange la forêt: les défis du bois-énergie en Afrique centrale, Matière à débattre et décider. Éditions Quae.
- Mvula Mampasi, E., 2013. Taxes et permis du secteur bois-énergie dans la zone d'approvisionnement de Kinshasa: règles, recettes et réalités de terrain.
- ONF International, Novacel SPRL, 2012. Étude de préfaisabilité sur les potentialités de développement des filières agroforesterie et bois-énergie dans le bassin de Kinshasa - Volet bois énergie. Banque Mondiale, Paris.
- PADeCom-Zou, 2003. Chapitre 2: Articulations de l'économie du charbon dans la commune, in: Economie Du Charbon et Durabilité Dans La Commune de Djidja.
- PNUD, 2014. NAMA Study for a sustainable charcoal value in Côte d'Ivoire. Abidjan.
- Practical Action, non daté. Technical brief: Charcoal production.
- Schure, J., Ingram, V., Akalakou-Mayimba, C., 2011. Bois énergie en RDC: analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani. Projet Makala - CIFOR, Kinshasa.

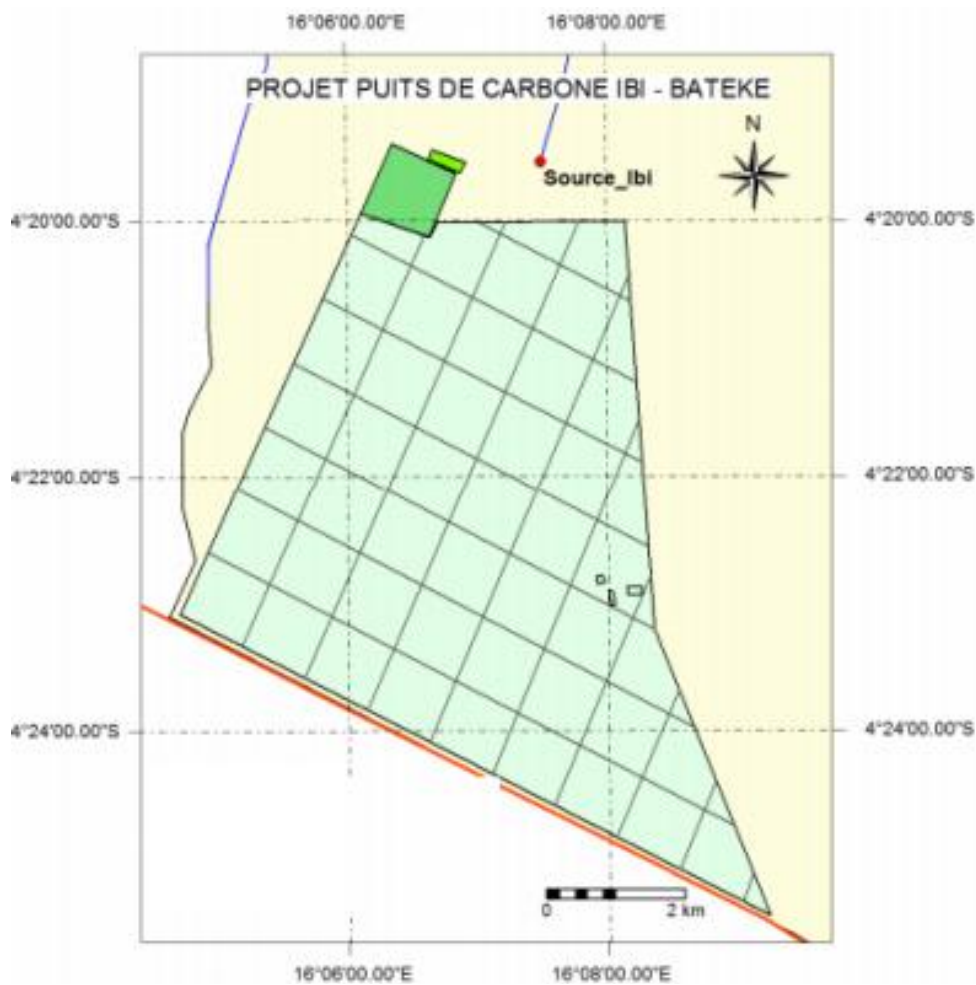


## Annexes

### Annexe 1 : Liste des personnes consultées

Nom et Prénom	Organisation
Jean Lejoly	GI Agro
Olivier Mushiete	Novacel
Richard Sulu	Novacel
Ulrich Müller	GIZ
Gabrielle Munduku	GIZ
Armel Ndanga	Novacel
Aaron Mbuyamba	GI Agro
Dieudonné Kazadi	SNV
Samuel Martin	SNV
Emmanuel Mvula	SNV
Emilien Dubiez	Projet Makala
David Dehan	Entrepreneur
Thomas Maréchal	Entrepreneur
Impulu Accra	Coop. Charbonniers de Mutiene
Fabrice Bamwanza	Coop. Charbonniers de Mutiene
Marie José Dekenya	Productrice de makala
Claver Ngwabana	GI Agro
Beaudoin Kankienza	UFAM
François Kamenda	UFAM
Papa Gary	Coop. Charbonniers de Yolo
Justin Ntengwenghi	Dépôt Safari
Elisé Luanza Mabanza	Ibi village
Guylain Ibabi	GI Agro
Thimotée Madiate	Dépôt Bitabe
Zitoni Mbango	Dépôt Bitabe
Trésor Ngaliema	Dépôt Matamba
Aimé Mgambo	Coop. Charbonniers de Duale Bolingo
Gérard Ewamona	Coop. Charbonniers de Duale Bolingo
Dieudonné Otshudi Okitokota	GI Agro
Papa Mitterand	Mitterand soudeur
Emmanuel Basanga	Lituka Yasika
François Kotiko	Shoprite
Godé Kalula	Novacel
Clauvis Ngunza Yemueni	Coop. Charbonniers d'Inziolo
Jetaime Moba	Coop. Charbonniers de Bwantaba
R.J. Van der Plas	Consultant SNV

**Annexe 2 : Localisation exacte du PCIB (Source: PDD)**



Identification of the point	Longitude	Latitude	Position
1	16°6'7" East	-4°19'54" South	NW corner
2	16°6'37" East	-4°20'9" South	
3	16°6'41" East	-4°19'59" South	
4	16°7'51" East	-4°19'59" South	NE corner
5	16°8'18" East	-4°22'30" South	valley
6	16°9'14" East	-4°25'29" South	SE corner
7	16°4'36" East	-4°23'7" South	SW corner

Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone biologique d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Annexe 3 : Poids d'un échantillon de 10 sacs de makala mesurés à Ibi en Novembre 2014**

	Sacs bleus bande noire		Sacs bleus bande rouge		Sacs jaune bande noire		Sacs jaune bande rouge		Sacs verts	
Numéro du sac	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Circonférence (cm)</b>	138,5	134	148	145	131	141	135	146,5	136,5	139,5
<b>Hauteur (cm)</b>	146	145	150	148	149	150	150	150	141	160
<b>Hauteur de la tête (cm)</b>	39	44	46	48	45	43	41	45	40	45
<b>Poids (kg)</b>	76	72	88	67	68	62	58	70	62	66

#### Annexe 4 : Évaluation des coûts de transport dans le scénario internalisé

Objet	Qté	Unité
<b>Nombre de voyages A/R moyen</b>	3	par semaine
	13	par mois
	156	par an
<b>Distance à parcourir</b>	260	km par voyage A/R
	3380	km par mois
	40560	km par an
<b>Capacité de transport</b>	10	tonnes/voyage
	1560	tonnes/an
	1170	tonnes/9mois
<b>Coût d'investissement</b>	90000	USD
<b>Durée d'amortissement</b>	2	ans
<b>Annuités:</b>	<b>45000</b>	<b>USD/an</b>
<b>Frais fixes</b>		
<b>Pièces de rechange (10% de la valeur d'acquisition)</b>	9000	USD/an
<b>Assurances et taxes (forfait annuel)</b>	1000	USD/an
<b>Main d'œuvre (chauffeur: rémunération + charges)</b>	4200	USD/an
<b>Coût total - frais fixes:</b>	<b>14200</b>	<b>USD/an</b>
<b>Frais variables</b>		
<b>Coût d'entretien (15%/an du coût d'acquisition)</b>	1125	USD/mois
<b>Consommation de carburant</b>	25	L/100 km
<b>Coût unitaire du carburant</b>	1,5	USD/L
<b>Coût total carburant</b>	1268	USD/mois
<b>Consommation de lubrifiant</b>	5	L/1500 km
<b>Coût unitaire du lubrifiant</b>	5,00	USD/L
<b>Coût total lubrifiant</b>	56	USD/mois
<b>Coût unitaire d'un jeu de pneumatiques (1 jeu = 35000 km)</b>	2100	USD/jeu
<b>Coût total pneumatiques</b>	203	USD/mois
<b>Coût total - frais variables:</b>	<b>2652</b>	<b>USD/mois</b>
	<b>31820</b>	<b>USD/an</b>
<b>Coût annuel total pour 1 camion</b>	<b>91020</b>	<b>USD/an</b>
<b>Coût par tonne de matière transportée</b>	58	USD/tonne
<b>Coût par sac de makala (62,5 kg/sac)</b>	3,6	USD/sac
<b>Nombre de camions nécessaires pour écouler la production de makala en 12 mois</b>	0,9	
<b>Nombre de camions nécessaires pour écouler la production de makala en 9 mois</b>	1,1	

**Annexe 5 : Estimation des surfaces productives des plantations réalisées entre 2009 et 2010**



Sous-bloc	Surface (ha)
C6NW	22,11
C6SW	14,87
C6SE	23,01
B7NW	23,64
B7NE	23,15
B7SW	23,06
B7SE	24,01
A7NW	22,34
A7NE	21,63
A7SW	21,69
A7SE	20,97
A8NE	22,57
A8SE	17,14
A9NW	19,03
A9NE	8,22
Total	307,44

Sous-bloc	Surface (ha)
A3SW	14,57
A3SE	22,9
A4SW	22,35
A5SW	20,83
B5NW	21,91
B5NE	20,97
B5SE	14,92
B6NW	3,98
B6NE	12,14
B6SE	2,77
A6SW	16,65
A6NE	16,03
A8NW	15,71
A8SW	13,82
Total	219,55

### Annexe 6 : Plan d'affaires 2016 - 2019

Activité	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Coûts</b>					
Abattage - main d'œuvre (abatteur principal)	19 422	26 166	26 166	26 166	26 166
Abattage - main d'œuvre (aide)	9 711	13 083	13 083	13 083	13 083
Abattage - carburant	14 250	19 198	19 198	19 198	19 198
Abattage - lubrifiant	23 750	31 997	31 997	31 997	31 997
Abattage - tronçonneuses (acquisition)	28 137	9 770	-	-	-
Abattage - tronçonneuses (entretien)	4 221	5 686	5 686	5 686	5 686
Débardage - main d'œuvre	19 422	26 166	26 166	26 166	26 166
Montage, enfournement - main d'œuvre	135 957	183 165	183 165	183 165	183 165
Défournement, ensachage - main d'œuvre	25 824	34 791	34 791	34 791	34 791
Suivi-contrôle - techniciens (salaire)	8 400	8 400	8 400	8 400	8 400
Suivi-contrôle - techniciens (frais variables)	2 400	2 400	2 400	2 400	2 400
Suivi-contrôle - motos (acquisition)	3 000	-	-	-	-
Suivi-contrôle - motos (entretien)	600	600	600	600	600
Suivi-contrôle - poste de surveillance (acquisition)	2 000	-	-	-	-
Suivi-contrôle - poste de surveillance (entretien)	300	300	300	300	300
Transport - chargement, taxes, déchargement, frais de dépôt	42 104	56 724	56 724	56 724	56 724
Transport - main d'œuvre (chauffeur)	4 200	4 200	4 200	4 200	4 200
Transport - camion (acquisition)	90 000	-	-	-	-
Transport - camion (pièces de rechange)	9 000	-	-	-	-
Transport - camion (entretien)	13 500	13 500	13 500	13 500	13 500
Transport - carburant	15 216	15 216	15 216	15 216	15 216
Transport - lubrifiant	672	672	672	672	672
Transport - pneus	2 436	2 436	2 436	2 436	2 436
Transport - assurances et taxes	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Formation - carbonisation améliorée	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
<b>Total des coûts (USD)</b>	<b>475 523</b>	<b>455 471</b>	<b>445 701</b>	<b>445 701</b>	<b>445 701</b>
<b>Recettes</b>					
Commercialisation des sacs en gros	430 400	579 847	579 847	579 847	579 847
<b>Total des recettes (USD)</b>	<b>430 400</b>	<b>579 847</b>	<b>579 847</b>	<b>579 847</b>	<b>579 847</b>
<b>Marge brute</b>					
<b>Recettes - Coûts (USD)</b>	-	45 123	124 376	134 146	134 146
<b>Indicateurs</b>					
Nombre de sacs produits	21 520	28 992	28 992	28 992	28 992
<b>Valeur actualisée nette (Taux d'actualisation: 20%)</b>	<b>245 004</b>				
Marge brute (USD/m3)	6,2				
Marge brute (USD/ha)	769				
Marge brute (USD/sac)	3,5				

NB: les frais de formation des charbonniers ne sont pas intégrés au total des coûts, on suppose qu'un financement extérieur interviendra pour les couvrir.



Décembre 2014

SAS SalvaTerra

6 rue de Panama

75018 Paris I France

Tel : +33 (0)6 66 49 95 31

Email : [info@salvaterra.fr](mailto:info@salvaterra.fr)

Skype : o.bouyer.salvaterra

Web : [www.salvaterra.fr](http://www.salvaterra.fr)