

Les transferts de fertilités, une solution à la baisse de fertilité des sols agricoles en régions tropicales ?

Étude de faisabilité d'un projet de compostage en République du Congo

I. Introduction

Les techniques d'abattis-brûlis sont anciennes et rencontrées dans nombre de pays tropicaux. Elles dérivent d'une coutume agricole transmise de génération en génération, mais elles répondent aussi à un besoin ou à des problèmes que pose cet environnement tropical. Par un résumé des bases biophysiques régissant le milieu tropical et la compréhension des pratiques agricoles, on essayera de répondre aux questions suivantes :

« Pourquoi la matière organique est-elle importante dans le milieu tropical ? En quoi l'apport de matière organique est-il bénéfique à l'agriculteur ? »

« Les transferts de fertilités sont-ils réellement envisageables, est-il techniquement possible d'utiliser la forêt et sa fertilité pour couvrir les besoins de l'agriculture traditionnelle ? »

II. Le milieu tropical : base biophysique

A. Le climat tropical

Selon la classification simplifiée de *Dubreuil* et si nous nous concentrons sur la zone équatoriale d'Afrique centrale, deux types de climats sont définis: **le climat équatorial de transition**, et **le climat équatorial pur**. Le climat équatorial de transition est défini comme suit : les deux saisons sèches sont d'inégale importance, la pluviométrie moyenne annuelle est supérieure à 1000 mm. Le climat équatorial pur, lui, est défini par deux saisons des pluies séparées l'une de l'autre par une saison sèche d'égale importance (L'Hôte, Dubreuil, & Lérique, 1995).

B. Les causes de pertes de fertilité des sols tropicaux

On distingue plusieurs causes responsables de la pauvreté des sols tropicaux, comme les facteurs géologiques, les facteurs climatiques inhérents aux régions tropicales, mais aussi d'autres facteurs comme les facteurs physico-chimiques et biologiques.

Au niveau des **facteurs géologiques**, on retrouve une forte présence des roches siliceuses (comme le granit, le grès, et les sables) dans le substrat. De plus, le type d'argiles dominant dans les régions tropicales est la kaolinite, qui présente une **capacité d'échange cationique**¹ (CEC) faible en comparaison des argiles rencontrées dans les régions tempérées. Les **facteurs climatiques** sont également considérés comme une cause de la pauvreté des sols tropicaux car les précipitations et l'action dissolvante de l'eau accélèrent les **processus de dégradation**² (la cinétique de réaction est élevée du fait de la température importante). Les **facteurs biologiques** provoquent une disparition rapide de la matière organique du sol due au dynamisme de la pédofaune et de la microflore du sol. Enfin, la dernière cause responsable de la pauvreté des sols sont les **facteurs physico-chimiques**, souvent accentués par l'alternance (en région équatoriale de transition surtout) de périodes fortement humides et de sécheresses intenses.

Les périodes de sécheresse provoquent des remontées de fer et d'aluminium aboutissant à la constitution de **latérite**³, voire de cuirasse ferrugineuse (qui est l'une des menaces d'altération des sols tropicaux les plus graves sur le milieu de par son côté irréversible). La minéralisation rapide de la matière organique fait que les sols tropicaux ont une teneur en humus faible, caractéristique majeure du phénomène de latérisation (Van Wambeke, 1995)

C. Luxuriances et fragilité des écosystèmes tropicaux

D'un point de vue chimique et physico-chimique, les sols tropicaux ne peuvent être considérés comme étant des sols riches. Dès lors, une des réponses données pour justifier la luxuriance des écosystèmes forestiers équatoriaux est la suivante : la plupart des éléments nutritifs sont stockés dans la biomasse et non dans le sol. La luxuriance de l'écosystème devient alors du même fait son propre réservoir.

En réalité, la phytomasse importante contenue dans l'écosystème assure, grâce à un « turn-over » rapide, le recyclage des éléments nutritifs par la biomasse. Cela permet d'éviter au maximum les pertes dues à un sol incapable de stocker les éléments nutritifs contenus dans le système. La fertilité est donc liée au fonctionnement du système dans sa globalité, et non à la qualité du sol (Maldague, Bases biophysiques de l'environnement tropical, 2004).

Le milieu forestier tropical en situation d'équilibre permet au système, malgré une certaine fragilité, de résister aux **perturbations**⁴ à la condition qu'elles soient de faibles amplitudes et localisées. À notre époque, ces interventions (découlant principalement de l'activité humaine) sont de plus en plus brutales et de large amplitude, ce qui fait des activités anthropiques une des causes principales de la rupture d'équilibre dans le fonctionnement de l'écosystème forestier tropical.

III. Agriculture traditionnelle

Caractéristiques de l'agriculture en Afrique Centrale

Si on ne considère que l'agriculture traditionnelle, les techniques de mises en culture des terres forestières consistent majoritairement en l'application des techniques d'abattis-brûlis, suivies d'une mise en jachère plus ou moins longue des parcelles cultivées.

Ce type d'agriculture a été développé car les terres forestières ont un potentiel relativement élevé pour la pratique de l'agriculture. Ce potentiel provient, comme nous l'avons vu précédemment, de la dynamique de fonctionnement du système forestier. Cette agriculture consiste en un système de culture temporaire permettant l'utilisation de la capacité de production d'une parcelle de manière fugitive, et sans se soucier de la prolonger. Une fois cette capacité réduite, le terrain est abandonné à lui-même, et sa fertilité se reconstitue avec le temps, grâce notamment à la dynamique de reconstitution de la fertilité naturelle des écosystèmes (Maldague, Mécanisme de la fertilité des sols tropicaux et rapports avec les pratiques agricoles, 2004).

Lorsque les pratiques agricoles traditionnelles d'abattis-brûlis sont pratiquées, il y a libération de tous les éléments minéraux contenu dans la matière organique (MO) ; une partie du soufre et de l'azote va être perdue par dissipation dans l'atmosphère, les autres éléments minéraux vont se retrouver sous la forme de cendres. Les vents violents vont être responsables de certaine perte, mais cette fraction perdue reste minime par rapport à la quantité totale restant sur la parcelle (CIRAD-

GRET Ministère des affaires étrangères, Juin 2009). L'apport minéral que constituent les cendres est considérable, du phosphore au potassium, en passant par les bases échangeables et les oligo-éléments. De plus, les cendres ont un effet non négligeable sur le pH du sol.

Quand on pratique l'abattis-brûlis, les apports de résidus organiques au champ sont réduits car le taux de MO, même s'il est **faible dans la plupart des sols tropicaux**⁵, est avant tout dépendant de l'apport de la phytomasse. À partir du moment où cette dernière est brûlée, la MO va disparaître en laissant échapper du gaz carbonique dans l'atmosphère. La pratique du brûlis va provoquer un apport direct d'éléments minéraux solubles dans un sol pauvre avec une capacité de rétention faible ce qui peut, sous l'effet de fortes précipitations provoquer un lessivage de ses éléments; **éléments dès lors perdus pour les cultures**⁶.

Les techniques culturales, développées suite aux conditions exceptionnelles de l'environnement tropical (température élevée, précipitations abondantes, sols pauvres, etc.), ainsi qu'au manque de moyen dont dispose l'agriculteur traditionnel ont pour conséquence directe une **baisse du taux de matière organique dans le sol**⁷.

IV. Contrer la réduction du taux de matière organique : « les transferts de fertilités »

Le climat des régions équatoriales permet le développement rapide des végétaux et ceux-ci développent de ce fait une biomasse importante en un laps de temps relativement court. Pour l'agriculteur, **la technique de brûlis** est une méthode **rapide**, qui ne demande que très **peu de moyens matériels** et qui permet de récupérer un terrain « propre » où la pratique de **l'agriculture est plus aisée**. Cependant, en nettoyant les parcelles agricoles par le feu, les agriculteurs s'exposent à des problèmes de fertilités qui apparaissent assez rapidement.

La matière organique est la clé de voûte de la stabilité des systèmes de culture par son **influence sur la capacité d'échange cationique**⁸, mais aussi sur le **complexe argilo-humique**⁹ et sur le **phénomène de chélation**¹⁰. Imaginer un transfert de fertilité (de la forêt vers les parcelles agricoles) via l'apport de MO peut donc être considéré comme une partie de la solution dans l'amélioration des systèmes de culture congolais.

L'utilisation de compost est évidemment la première méthode qui nous apparaît quand on parle de « transfert de fertilité ». Le compost est la solution envisagée dans ce projet, mais il faut noter que d'autres solutions peuvent également être envisagées ; comme le principe de la « **terra preta**¹¹ » ainsi que les techniques d'utilisation des « **bois rameaux fragmentés**¹² ».

V. Exemple de projet de transfert de fertilité : « Estimation de la biomasse mobilisable dans le cadre d'un projet de compostage en République du Congo »

A. Étude de gisement de biomasse

Cette étude, réalisée au sein d'une société d'exploitation forestière en République du Congo, a pour objet de juger de la faisabilité d'un projet de transfert de fertilité via la création d'une dalle de compos-

tage au sud dans la vallée du Niari et à l'ouest de la capitale Brazzaville. Il a été expliqué précédemment que l'apport de compost pouvait être considéré comme une partie de la solution dans l'amélioration des systèmes de culture congolais. Mais ces apports de compost demandent initialement de collecter une biomasse suffisante. La première étape pour juger de la faisabilité d'un tel projet consiste donc à quantifier la biomasse présente sur le territoire et ce, via une étude de gisement.



Une étude de gisement se conçoit de manière à calculer l'ensemble de la biomasse disponible sur un territoire. Il faut donc dans un premier temps décrire chaque système de « production de biomasse » et dans un deuxième temps calculer la production moyenne par hectare de chaque système. Enfin, une estimation de la superficie couverte par chaque système de production est nécessaire pour avoir une idée de la production globale. Une fois cette phase de quantification « globale » terminée, il convient de décrire et de définir tous les contextes techniques de mobilisation. Cette partie de l'étude doit permettre de déduire un volume de biomasse inexploitable pour des raisons techniques, sociales ou pratiques.

1. Les trois systèmes de production de biomasse répertoriés

Le **système de production de biomasse « forestière »** est certainement le plus complexe à analyser. La luxuriance de la forêt d'Afrique centrale rend difficile l'identification directe de la biomasse. Dans ce projet, la biomasse choisie et à récupérer pour la fabrication de compost est celle se trouvant dans la strate forestière inférieure ; elle ne fait l'objet d'aucune attention particulière de la part de l'exploitant forestier. Dans cette strate, seules les **branches inférieures à 7 cm de diamètre seront collectées**¹³.

Le **système de production de biomasse « agricole »** comprend l'ensemble de la biomasse constitutive de la jachère. Suite aux pratiques agricoles et surtout au temps laissé à la jachère pour se constituer, on observera le développement de deux espèces de plantes différentes. Les caractéristiques communes à ces deux plantes sont d'avoir une croissance rapide et de développer une biomasse importante (Colin Wilson, Parks & Wildlife Commission of the Northern Territory & IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group (ISSG)). On retrouve autour du camp forestier des jachères constituées uniquement de *Rottboellia cochinchinensis* qui est une plante herbacée de la famille des Poacées et des jachères constitués d'une plante semi-ligneuse du nom de *Chromolaena odorata* appartenant à la famille des Astéracées.

La biomasse issue de « **l'usine de déroulage**¹⁴ » provient de la phase d'écorçage des **billes**¹⁵. Cette écorce pourrait en effet constituer une ressource de biomasse non négligeable avec l'avantage de ne pas engendrer des frais de mobilisation. De plus cette biomasse représente pour l'usine un déchet encombrant n'ayant aucune utilité.



2. Surface disponible en fonction du système

La **zone d'exploitation forestière** (ou coupe 2012-2013) prévue pour l'année 2013 s'étend sur une superficie de 3 106,5 ha.

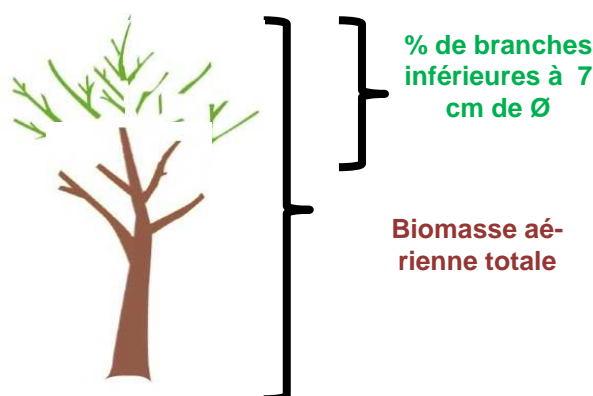
La **zone agricole** se trouve derrière le camp forestier et la superficie totale de toute cette zone est estimée à 615,3 ha. Après analyse du mode de culture et des calendriers culturels traditionnels congolais, il a été mis en évidence que les cycles de cultures avaient une durée de deux ans et les cycles de jachères avaient eux aussi une durée de deux ans. La surface totale occupée par la jachère doit donc être divisée par deux, au vu des cycles de cultures et des cycles de repos seul 50 % de la surface totale est logiquement en jachère.

La quantification de l'écorce potentiellement récupérable à partir de **l'usine de déroulage** ne dépend pas d'un système de production se référant à un territoire. La quantification de la biomasse récupérable dépend de l'approvisionnement en grumes et en billes du parc desservant l'usine. La quantification passe donc simplement par l'analyse dans le temps des volumes entrant dans le parc à bois.

3. Estimation des niveaux de production

a) *Système de production de biomasse « forestière »*

Pour estimer le niveau de production du système de production de biomasse « forestière » il nous faut estimer le pourcentage de bois inférieur à 7 cm de diamètre contenu dans la biomasse aérienne totale de l'arbre (BAT).

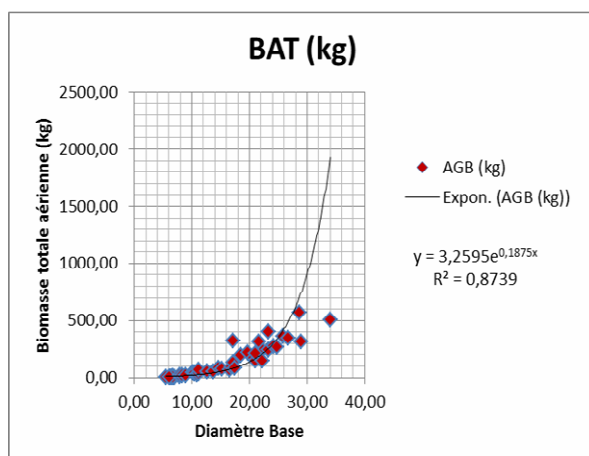


Il existe des équations allométriques permettant d'approcher la valeur de la biomasse aérienne totale de l'arbre (BAT) par des mesures indirecte (diamètre, hauteur, masse volumique). Pour ce travail, nous avons fait appel aux équations allométriques mises en place par Chave *et al.* en 2005. Le modèle de Chave est le suivant:

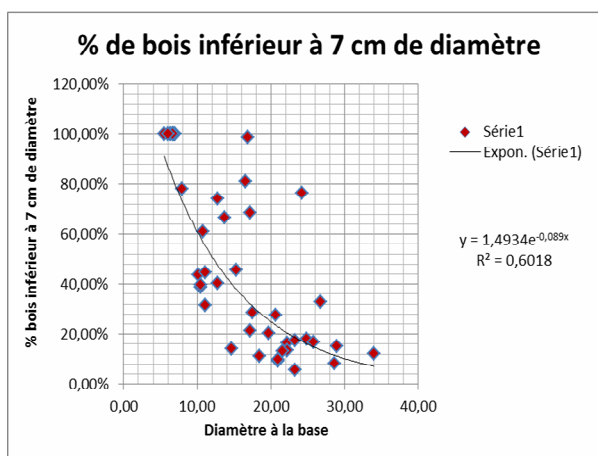
$$\ln(BAT) = \alpha + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \beta_3 \ln(\rho)$$

Les coefficients « α », « β_1 », « β_2 » et « β_3 » sont des paramètres variant avec le type de forêt auquel est appliquée l'équation (Chave *et al.*, 2005).

Ci-dessous, le graphique n°1 reprenant l'ensemble des 43 arbres dont la biomasse aérienne totale de l'arbre (BAT) a été estimée grâce à l'équation allométrique de Chave et al. Grâce à l'équation de la courbe de régression, il est possible d'estimer la biomasse aérienne totale sur la simple mesure du diamètre.

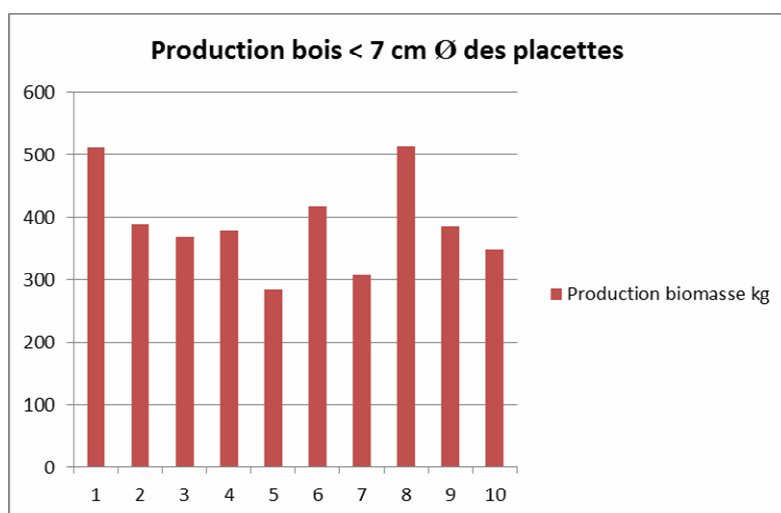


Graphique 1: résultat des mesures de la BAT.



Graphique 2: résultats des mesures du % de branches inf. à 7 cm de diam.

Pour permettre l'estimation de la quantité de biomasse que représentent les branches inférieures à 7 cm de diamètre, l'idée suivie est la suivante : si on calcule la quantité de branches inférieures à 7 cm de diamètre récoltée par rapport à la biomasse aérienne totale, le pourcentage qui en découle peut être appliqué à **chaque arbre**¹⁶ se trouvant dans les mêmes conditions que celles établies par les mesures (type de forêt, strate, diamètre, etc.). Pour ce faire, après l'abattage de l'arbre, les branches du houppier ont été marquées et sectionnées lorsque le diamètre était de 7 cm, elles ont finalement été pesées à l'aide d'un peson électronique. A partir du diamètre d'un arbre et grâce à l'équation de régression du graphique n°2, on peut donc estimer directement le pourcentage de branches inférieures à 7 cm de diamètre contenu dans la BAT.



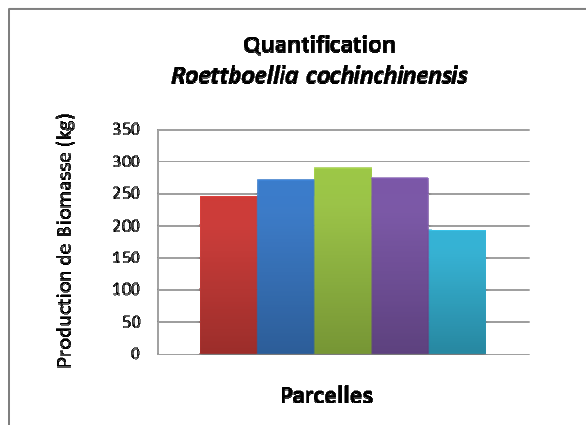
Graphique 3: Production de bois inf. à 7 cm de diam. par placettes

Pour déterminer la production de branches inférieures à 7 cm de diamètre par hectare, un total de 10 placettes de 10*10 m a été établi. Les données mesurées étant la circonférence à 130 cm et la circonférence à la base. Pour estimer la BAT de chaque parcelle de 10*10m, nous avons utilisé l'équation de la courbe de régression du graphique n°1. Après le calcul de la BAT de chaque parcelle, nous avons estimé la production de branches inférieures à 7 cm de diamètre. De cette façon,

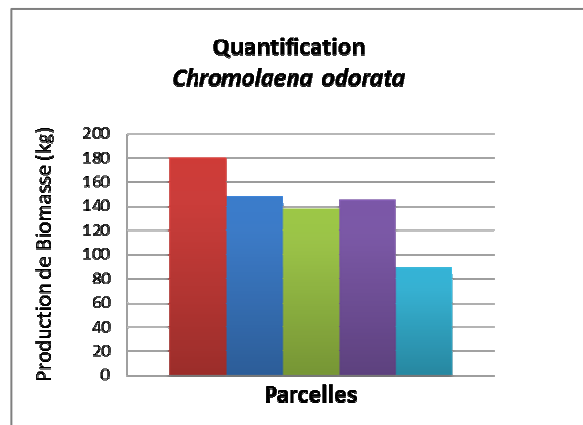
le niveau de production moyen d'une placette de 100 m² (graphique n°3) a pu être établi et rapporté à l'hectare. C'est ainsi que nous avons déterminé le niveau de production de la strate inférieure, une moyenne de **39 tonnes de biomasse par hectare de forêt**.

b) Système de production de biomasse « agricole »

Pour estimer le niveau de production du **système de production de biomasse « agricole »**, il a été décidé de créer 2 fois 5 parcelles de 100 m². L'ensemble des broussailles de *Chromolaena odorata* et de *Rottboellia cochinchinensis* se trouvant dans la placette a été pesé à l'aide d'un peson électronique.



Graphique 4 : Production des cinq placettes de *Rottboellia cochinchinensis*



Graphique 5 : Production des cinq placettes de *Chromolaena odorata*

En moyenne, la placette de 10*10 mètres de jachère à *Rottboellia cochinchinensis* (graphique n°4) fournit 255,4 kg de biomasse fraîche. Rapporté à l'hectare, on obtient une production de **25,54 tonnes de biomasse fraîche par hectare**.

En moyenne, une placette de 10*10 mètres de jachère à *Chromolaena odorata* (graphique n°5) produit 140,08 kg de biomasse. Rapporté à l'hectare nous obtenons une production moyenne de **14 tonnes de biomasse fraîche par hectare**.



Rottboellia cochinchinensis



Chromolaena odorata

c) Système de production de biomasse de « l'usine de déroulage »

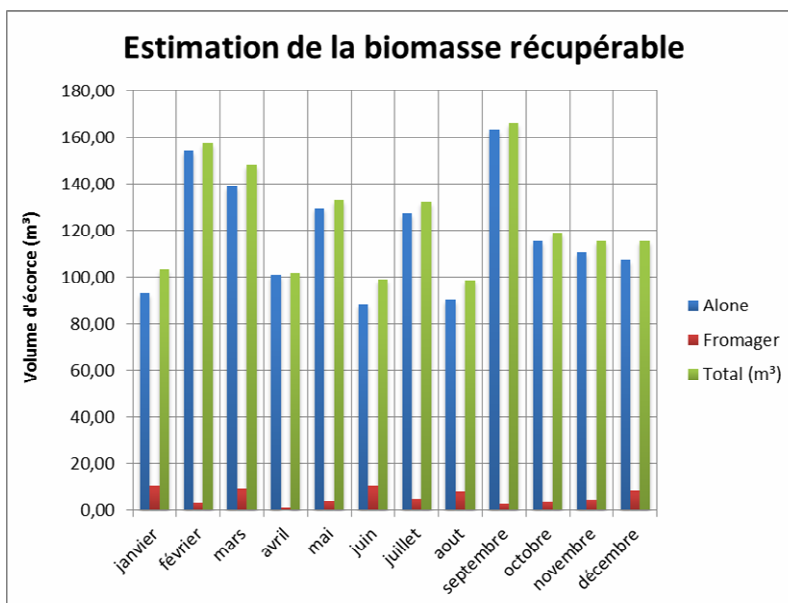
Pour quantifier le niveau de production de biomasse de « **l'usine de déroulage** » l'idée a été de définir un « **taux d'écorce** » à appliquer aux données relatives au cubage des billes entrant au déroulage. Parmi l'ensemble de billes écorcées, on retrouve principalement l'Alone (*Bombax brevicuspe*) et le Fromager (*Ceiba pentandra*), à eux deux, ils représentent la majorité des billes devant être écorcées, soit environ 95 %.

Le taux d'écorce n'a donc été calculé que pour le Fromager et pour l'Alone. Pour calculer ce taux, le diamètre total (écorce + aubier/duramen) a été mesuré à plusieurs endroits de la bille, afin d'obtenir

une valeur moyenne en cas de **bille méplate**¹⁷. Ensuite l'épaisseur de l'écorce a elle aussi été mesurée à plusieurs endroits. La surface totale (écorce + aubier/duramen) des billes a ensuite été calculée, et la surface de l'écorce a été rapportée à cette surface totale.

Dans le cas du Fromager (*Ceiba pentandra*) la moyenne de toutes les mesures renseigne un taux d'écorce d'une valeur de 8,14%. Pour l'Alone (*Bombax brevicuspe*), le taux d'écorce a une moyenne de 12,02% d'écorces.

Les volumes potentiellement mobilisables d'écorces varient de mois en mois (graphique n°6), mais au total, on peut raisonnablement estimer que la biomasse potentiellement mobilisable de l'usine de déroulage se situe entre 98,58 m³ et 165,96 m³ d'écorces. Pour l'écorce, la masse volumique calculée est de 300,48 kg/m³. La production totale est de 1490,18 m³, sur l'ensemble de l'année et si on se réfère à la compilation des données de productions de l'activité de 2011, la **quantité totale d'écorces potentiellement mobilisables est de 462 tonnes**.



Graphique 6 : détail de la quantité d'écorce mobilisable via l'usine de déroulage.

4. Biomasse totale disponible

Après avoir défini les trois systèmes de production (forêt, zone agricole et usine de déroulage), défini les surfaces sur lesquelles s'étendait chaque système et caractérisé les niveaux de production de chaque système pour le produit souhaité il est possible d'estimer la biomasse totale potentiellement mobilisable pour le projet (tableau 1).

Tableau 1 : Biomasse totale disponible

| Système de production | Surface totale | Niveau de production | Biomasse totale potentiellement mobilisable |
|-------------------------------------|----------------|----------------------|---|
| Système forestier | 3106,5 ha | 39,01 t/ha | ~ 121.184 t |
| Système agricole : | | | |
| 1. Jachère à <i>Rottboellia sp.</i> | 221,65 ha | 25,54 t/ha | ~ 5661 t |
| 2. Jachère à <i>Chromolaena sp.</i> | 86,018 ha | 14 t/ha | ~ 1204 t |
| Usine de déroulage | / | 38,51 t/mois | ~ 462 t |

5. Définition des critères de mobilisation

a) *Système de production de biomasse « forestière »*

Le choix a été fait d'orienter ce projet vers la récupération des branches de diamètre inférieure à 7 cm présentes dans la strate inférieure des massifs forestiers, avec comme premier objectif de limiter les

coûts liés à son exploitation. Ce choix implique de définir des méthodes de travail simples et peu demandeuses de matériel lourd. La méthode de travail retenue consiste donc à récupérer la biomasse de manière plus ou moins manuelle, via l'utilisation de la main d'œuvre locale.

Suivant cette méthode, le débardage des branches devra se faire à la main. Afin de tenter de diminuer la pénibilité de ce travail, il est exclu de créer des chantiers de récupération trop éloignés des routes servant à l'exploitation forestière. La récupération des branches dépend donc directement des pistes de débardages et des routes créées pour l'exploitation. Suivant le type de route ou de piste forestière, la largeur de travail de part et d'autre de la route variera de 10 à 20 mètres.



L'analyse du kilométrage de ces routes primaires et secondaires pour la zone d'exploitation de l'année 2011-2012 (coupe d'une superficie de 6994,1 ha) permettra, en fonction de la largeur de travail, de calculer une superficie exploitable (tableau 2). Le rapport entre la superficie exploitable et la superficie totale permettra de calculer la biomasse disponible sur la [zone d'exploitation 2012-2013](#)¹⁸ (tableau 3).

Tableau 2 : Analyse de la surface exploitable dans la coupe 2011-2012

| Type de route | Longueur totale (km) | Largeur de travail (m) | Superficie (ha) |
|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------|
| Routes principales | 9,711 | 40 | 30,844 |
| Routes secondaires | 14,334 | 20 | 28,668 |
| TOTAL | | | 59,512 |

Tableau 3 : Analyse du rapport surface exploitable/surface totale

| Type de route | Superficie exploitable (ha) | Superficie totale (ha) | Rapport |
|--------------------|-----------------------------|------------------------|----------------|
| Routes principales | 30,844 | 6994,1 | 0,00441 |
| Routes secondaires | 28,668 | 6994,1 | 0,00410 |
| TOTAL | | | 0,00851 |

Si on applique le rapport « superficie exploitable-superficie totale » à la zone d'exploitation 2012-2013 (d'une superficie de 3106,5 ha) on peut estimer à 26,44 ha la superficie exploitable. En suivant ce raisonnement, et si on considère les niveaux de production du système forestier précédemment évalué à 39,01 tonnes de biomasse mobilisable par hectare, on peut estimer pour la zone d'exploitation 2012-2013 une production de :

$$39,01 \frac{\text{tonnes}}{\text{ha}} * 26,44 \text{ ha} = 1031,42 \text{ tonnes}$$

En suivant les méthodes d'extraction décrites et en respectant les largeurs de travail de part et d'autres des pistes, il ne sera possible d'exploiter que 0,851% de la superficie totale. **Le pourcentage de biomasse inexploitable** à déduire du gisement total est donc de **99,149%**.

b) Système de production de biomasse « agricole »

La biomasse issue du système agricole est potentiellement récupérable dans sa totalité, mais cela implique des accords entre la société forestière et les agriculteurs. Dans un premier temps il est donc souhaitable de ne pas compter sur cette biomasse dans le cadre du projet de compostage ; l'aspect sai-

sonnier de la mobilisation couplé à une possible variabilité dans le « consentement à offrir » des agriculteurs rend l'approvisionnement trop **aléatoire**¹⁹ pour fonder un projet. Dans ces conditions, **nous avons renoncé à sa mobilisation.**

c) *Système de production de biomasse de « l'usine de déroulage »*

Récupérer les écorces de l'usine de déroulage comporte plusieurs avantages non négligeables sur le plan technique ; premièrement, nul besoin d'aller récupérer la biomasse en forêt, celle-ci provenant des billes exploitées à l'usine elles constituent donc un déchet pour cette dernière. Le débardage constitue le seul aspect technique ayant un impact direct sur la mobilisation des écorces de l'usine de déroulage.

Pour connaître l'impact du débardage sur la quantité d'écorce mobilisable, l'**ensemble des impacts**²⁰ sur les billes se trouvant dans le parc à bois a été mesuré. Le pourcentage d'impact a été déduit de la quantité totale d'écorce afin de définir la biomasse mobilisable pour le projet. L'impact moyen est de 17,27 %. Pour rappel, la biomasse totale potentiellement mobilisable était de 38,51 tonnes d'écorces par mois. Si on applique à cette estimation le taux d'impact du débardage sur la quantité d'écorces, on obtient :

$$\text{Biomasse mobilisable pour le projet} = 38,51 - (38,51 * 0,1727)$$

La quantité d'écorce qu'il est donc possible de récupérer pour le projet est de 31,86 tonnes par mois, soit 382,32 tonnes d'écorces par an. **Le pourcentage à déduire du gisement total est donc de 17,27%.**

6. Biomasse disponible pour le projet

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des estimations de cette étude ; la biomasse totale potentiellement mobilisable est le résultat de la quantification des niveaux de production de chaque système couplé à la mesure de la superficie. L'ensemble des pourcentages à déduire du gisement total sont les résultats de la définition des différents critères de mobilisation détaillée précédemment.

Tableau 4 : Biomasse disponible pour le projet

| Système de production | Biomasse totale potentiellement mobilisable | Biomasse à déduire du gisement total | Biomasse mobilisable pour le projet |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Système forestier | 121 184 t | 99,15% | ~ 1031 t |
| Système agricole : | | | |
| 1. Jachère à <i>Rottboellia sp.</i> | 5661 t | 100% | 0 t |
| 2. Jachère à <i>Chromolaena sp.</i> | 1204 t | 100% | 0 t |
| Usine de déroulage | 462 t/an | 17,27% | ~ 382 t |

Une fois la biomasse mobilisée, celle-ci sera compostée afin de servir d'engrais organique dans les champs se trouvant dans la zone de projet. Le compost doit être uniquement appliqué aux endroits spécifiques où le besoin se fait sentir (Madeleine Inckel, 2005). Dans le cas contraire, les doses à appliquer sont prohibitives. Avec un apport de 4 t/ha, il a été démontré que les rendements des cultures (test effectué sur le maïs grain) pouvaient augmenter de manière significative en région tropicale (Falinirina, 2010). On considère que la phase de compostage peut faire perdre environ 50% de son poids à la biomasse fraîche (échanges gazeux CO₂, N, pertes d'eau, etc.). Au final, si **la biomasse**

initialement compostée représentait une masse de 1413 tonnes, la quantité de compost récoltée pourrait donc approcher des 706,5 tonnes par an.

B. Analyse technico-économique

1. Méthode de compostage envisagée : « le compost de branchage »

Après la récolte de la biomasse, l'ensemble des branches ainsi que l'écorce doit être broyé afin d'augmenter la surface disponible au développement des micro-organismes. Ce broyat sera directement entreposé en tas. La hauteur et les dimensions de l'andain étant fonction de la porosité du tas et du broyat. A l'aide d'une bande transporteuse, le broyat sera disposé en andains. La longueur de ceux-ci n'ayant pas d'importance pour la réussite du compost. Dès que le tas est aux dimensions requises, il faut procéder à l'humidification de celui-ci. L'humidification du tas doit se faire pendant une période de 24 heures (diminuée des périodes de précipitations). La méthode la plus simple pour humidifier le tas est de se servir de matériel d'irrigation acheminant l'eau directement sur le tas et la répartissant à l'aide d'un asperseur.

Une fois le tas en place et l'humidification de celui-ci réalisée, le tas va initier la phase d'échauffement. La température va augmenter rapidement jusqu'à 60°C. Après quelques semaines, la périphérie du tas va commencer à se refroidir et laissera apparaître toute une faune d'invertébrés. Environ trois mois après la réalisation du tas, un premier retournement va être effectué. Le tas sera ensuite laissé au repos pendant trois nouveau mois avant d'être de nouveau retourné. Deux mois après ce dernier retournement, le tas devra être tamisé. La fraction la plus grossière sera de nouveau broyée et retournera dans un nouveau tas où elle fera office de starter.

2. Estimation des coûts de production

L'estimation de l'investissement (tableau 5) nécessaire pour la mise en place d'une zone de compostage est estimée à 46.926,82 euros, il s'agit d'un équipement basique permettant le compostage et la récolte des branches.

L'estimation de l'ensemble des dépenses²¹ (tableau 6) relatives à la mobilisation de la biomasse forestière est reprise dans le tableau suivant. Le total des dépenses est de 14882,98 euros ; Les dépenses annuelles nécessaires pour composter la totalité de la biomasse est de 12.397,28 euros.

Tableau 5 : Estimation de l'investissement

| Matériel | Coût |
|---------------------------|--------------------|
| Camion récolte | 14.500,00 € |
| Création dalle compostage | 426,82 € |
| Broyeur à branches | 5000,00 € |
| Pompe Irrigation | 2000,00 € |
| Tracteur-chargeur | 25.000,00 € |
| Total | 46.926,82 € |

Tableau 6 : Estimation des coûts de production

| Dépenses | Matériel | Coût |
|---|--------------|--------------------|
| Collecte de la biomasse forestière | | |
| Main d'œuvre | | 7.028,00 € |
| Essence | camion benne | 6.930,61 € |
| Entretien | camion benne | 725,00 € |
| Compostage | | |
| Main d'œuvre | | 3012,00 € |
| | Broyeur | 618,47 € |
| Essence | Pompe | 5175,45 € |
| | Chargeur | 1328,86 € |
| | Broyeur | 500,00 € |
| Entretien | Pompe | 200,00 € |
| | Chargeur | 1562,50 € |
| | Total | 27.262,14 € |

3. Estimation du prix de vente

La durée de vie financière du projet a été estimée comme étant égale à l'amortissement le plus important, soit dix ans (durée de vie du camion de récolte). Estimer la rentabilité d'un projet se fait principalement grâce au calcul de trois indicateurs de rentabilités, ces trois critères sont :

1. Le délai de récupération : Plus ce délai de récupération est important, plus les risques financiers peuvent être considérés comme élevés.
2. La valeur actuelle nette (VAN) : Cet indice doit être positif car il représente l'enrichissement supplémentaire d'un investissement par rapport au minimum exigé par les investisseurs ; dans ce projet nous considérons qu'un taux d'actualisation pour le calcul de la VAN de 8% est adéquat. La VAN se calcule de la façon suivant :

$$VAN = \frac{\sum(\text{Recettes} - \text{coûts fonctionnement} - \text{coût investissement})}{(1 + \text{tx actualisation})^{\text{année}}}$$

3. Le taux de rentabilité interne du projet : Il correspond au taux d'actualisation qui annule la VAN. Ce taux de rentabilité interne du projet doit être supérieur au taux d'intérêt réel affiché par les banques, sinon cela signifie que le projet rapporte moins à l'investisseur qu'un placement bancaire. Pour l'ensemble de la période 1978-2007, le taux d'intérêt réel de la République du Congo est en moyenne de 10% (Guay, 2011).

Dans le cadre de ce projet le délai de récupération est évalué à sept ans. Le projet dans sa configuration théorique à un taux de rentabilité interne supérieur au taux réel moyen du Congo. La VAN à 8% montre que le projet permet de générer un profit. Théoriquement donc, le projet de compostage s'avère être rentable pour l'investisseur. Pour atteindre ces niveaux de rentabilité satisfaisants, les recettes annuelles doivent être de 34.500 euros. Ces recettes doivent se répartir sur la totalité du compost produit, soit 706,5 tonnes de compost. Le **prix à la tonne est donc de 48,81 euros**.

C. Conclusions et perspectives

Premièrement, il a été tenté de mettre en évidence les problèmes qu'engendre la pratique de l'abattis-brûlis ainsi que la diminution de la teneur en matière organique des sols tropicaux. Par une synthèse bibliographique, il a été démontré qu'un projet visant à augmenter la teneur en matière organique des sols agricoles de par son statut de « clé de voute de la fertilité » ne pouvait qu'être bénéfique pour cette agriculture.

En ce qui concerne la faisabilité du projet, le territoire devrait permettre de répondre à une demande importante en compost au moins égale à la taille de la zone agricole entourant le camp forestier, ce type de transfert de fertilité est donc tout à fait envisageable, pour peu que les méthodes de récolte soient celle-décrite dans ce document. En ce qui concerne l'analyse technico-financière, les trois paramètres de rentabilités calculés montrent que l'investissement peut être rentable pour la société forestière.

En conclusion, le projet de fabrication et de vente de compost par la société forestière est une activité qui peut être envisagée. L'intérêt de la matière organique, la possibilité de s'approvisionner en biomasse sur le territoire, l'investissement favorable à la société forestière tout en gardant un prix abordable pour l'agriculteur sont autant de points positifs pour la poursuite du projet.

Les transferts de fertilité sont donc réalisables et peuvent donc constituer une partie de la solution au problème de baisse de fertilité des sols agricoles. Cependant, chaque projet de transfert de fertilité doit s'étudier individuellement et ainsi répondre de la manière la plus adaptée possible aux problématiques spécifiques et inhérentes aux différentes zones agricoles.

VI. Bibliographie

- Chave et al. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, pp. 87-99.
- CIRAD-GRET Ministère des affaires étrangères. (Juin 2009). *Mémento de l'agronome*. Paris: Éditions Quae.
- Colin Wilson, Parks & Wildlife Commission of the Northern Territory & IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group (ISSG) . (s.d.). *Global invasive species database*. Consulté le 3 août 2012, sur <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=47&fr=1&sts=&lang=FR>
- Falinirina, M. V. (2010). *Valorisation en agriculture des apports organiques contenus dans les déchets urbains : qualité des matières organiques et service écosystémique*. Antananarivo: Ecole supérieure des sciences agronomiques.
- Guay, J. H. (2011, juillet). *Perspective monde*. Consulté en août 2012, sur Université de Sherbrooke: <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?langue=fr&codePays=COG&codeTheme=2&codeTheme2=2&codeStat=FR.INR.RINR&codeStat2=FR.INR.RINR>
- L'Hôte, Y., Dubreuil, P., & Lérique, J. (1995, mai). Cartes des types de climats "en Afrique Noire à l'ouest du Congo". Rappels, et extension aux régimes hydrologiques. *L'hydrologie tropicale: géoscience et outils pour le développement*, pp. 55-65.
- Madeleine Inckel, P. d. (2005). *Agrodok 8: "La fabrication et l'utilisation du compost"*. Wageningen: Fondation Agromisa.
- Maldague, M. (2004). *Bases biophysiques de l'environnement tropical*. Université de Kinshasa: Édition revue et mise à jour, par l'auteur lui-même.
- Maldague, M. (2004). *Mécanisme de la fertilité des sols tropicaux et rapports avec les pratiques agricoles*. Université de Kinshasa: Édition revue et mise à jour, par l'auteur lui-même.
- Michel, H. (2009). *Méthode simple de calcul des coûts prévisionnels d'utilisation de matériels agricoles motorisés*. Montpellier: CIRAD.
- République Française Ministère de la Coopération. (1978). *Mémento du Forestier*. Paris: Édition du ministère de la Coopération.
- Van Wambeke, A. (1995). *Sols des Tropiques: "Propriétés et Appréciation*. Huy: CTA et Huy Trop ASBL.

¹ « Somme des cations échangeables qu'un sol, un constituant du sol ou tout autre matériau, peut adsorber à un pH spécifique, exprimée généralement en centimoles de charge par kilogramme d'échangeur ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) » (Van Wambeke, 1995).

² Ces épisodes de forte humidité provoquent le lessivage des sols et une dissolution des minéraux.

³ La latérite est un mélange d'argile riche en fer et pauvre en humus, associé à du quartz et à d'autres composants. Elle se présente généralement sous forme de taches rouges sombres qui prennent fréquemment des aspects lamellaires, polygonaux ou réticulés. La plinthite se transforme de façon irréversible en une cuirasse ferrugineuse ou en agrégats irréguliers quand elle est soumise à des alternances répétées d'humectations et de dessiccations, surtout lorsqu'elle est en même temps soumise à la chaleur du soleil (Van Wambeke, 1995).

⁴ Aléas climatiques, trouées forestières, pression anthropique de faible impact (chasse, pêche, cueillette, bois de chauffe), etc.

⁵ Dû à un taux de minéralisation élevé, qui ne permet pas de constituer un réservoir important de M.O.

⁶ Le brûlis peut donc être considéré comme un avantage si on considère l'apport direct d'éléments minéraux, ou comme un inconvénient si on considère la diminution du taux de matière organique dans le sol (CIRAD-GRET Ministère des affaires étrangères, Juin 2009).

⁷ Maintenir un taux de MO élevé dans le sol permet entre autre d'améliorer la structure et la porosité du sol, d'augmenter la CEC et donc la quantité d'éléments minéraux disponible pour les plantes, et enfin de provoquer (via les complexes organo-métalliques) une mise à disposition des oligo-éléments tout en diminuant le risque de précipitation des métaux (diminuant le risque de formation de latérite).

⁸ La matière organique permet donc de limiter le lessivage des bases, notamment grâce à la haute valeur de la capacité d'échange cationique de la MO. Celle-ci peut atteindre entre 100 et 300 milliéquivalents pour 100 g de MO (CIRAD-GRET Ministère des affaires étrangères, Juin 2009), et elle varie en fonction du pH. La MO est un acteur indirect de l'alimentation des plantes, via la minéralisation des éléments nutritifs qui la constitue, mais aussi via un rôle de stockage qui permet d'éviter la lixiviation due à la très faible capacité d'absorption des colloïdes minéraux.

⁹ Principe par lequel les argiles vont pouvoir se lier à d'autres composants du sol comme les composés organiques et les oxydes de fer. La nature des liaisons permettant la réunion de la fraction minérale et organique du sol est due à plusieurs types de forces : les forces électrostatiques, par la création de pont cationique via les ions de calcium ou d'aluminium; des liaisons par ponts hydrogène et d'autres liaisons résultant des forces de van der Waals. Les complexes organo-métalliques peuvent aussi jouer un rôle dans la liaison des argiles aux molécules organiques. Tous ces types de liaisons sont simultanés et sont fonction de la nature des composés organiques et minéraux présents. La formation d'un complexe argilo-humique est certainement le premier facteur nécessaire à de bonnes propriétés physiques du sol (agrégation, structure, stabilité structurale, porosité...).

¹⁰ Les complexes organo-métalliques apparaissent lors d'une liaison entre une molécule organique (humifié ou plus simple) et un cation métallique (fer, aluminium ou les oligo-éléments). Ce phénomène résulte donc de l'association organo-métallique et permet l'obtention d'une molécule plus ou moins stable appelé « chélate ». La formation de complexes organo-métalliques a plusieurs conséquences; parmi celles-ci la solubilisation des ions métalliques, la mise à disposition des oligo-éléments pour les végétaux.

¹¹ La terre noire (*terra preta* en portugais) est un type de sol sombre d'origine humaine et d'une fertilité exceptionnelle due à des concentrations particulièrement élevées en charbon de bois, matière organique et nutriments tels que l'azote, phosphore, potassium, et calcium.

¹² La technique d'utilisation des BRF consiste à appliquer un paillage de branches (inférieure à 7 cm de diamètre) broyées, ce paillage sert à dynamiser le sol par un processus de restauration de la fertilité naturelle. Le principe est de permettre une humification de la MO « in-situ » redynamisant du même fait toute la microfaune et la biologie du sol en général.

¹³ Car au-delà de ce diamètre la structure interne de la lignine se modifie rendant le compostage plus difficile et plus long.

¹⁴ La fabrication de contreplaqué consiste à découper de minces feuilles de bois obtenues par déroulage et à les coller entres elles de manière à positionner perpendiculairement le fil de chaque feuilles de bois (République Française Ministère de la Coopération, 1978). L'opération de déroulage suit celle d'étuvage par vapeur d'eau permettant une coupe plus facile en feuilles minces. Le déroulage consiste à placer les billes écorcées et étuvés sur une dérouleuse permettant l'obtention de placage d'une épaisseur allant de 1 à 3 millimètres.

¹⁵ Partie de la grume (elle-même correspondant au tronc une fois l'arbre abattu) découpé en fonction des recou-pes et des besoins de l'usine.

¹⁶ Pour simplifier la collecte des données sur le terrain, les différences morphologiques que peuvent présenté les houppiers d'une espèce à l'autre n'ont pas été prise en compte.

¹⁷ Bille caractérisée par une section ovoïde.

¹⁸ En effet, cette zone d'exploitation ne dispose pas encore de piste et de routes de débardage, son exploitation n'ayant pas encore commencé.

¹⁹ De plus, ce consentement à offrir n'a pas été estimé lors de la période de travail sur le terrain.

²⁰ Mesuré sur un total de 10 billes.

²¹ Les coûts d'utilisation de machines agricoles sont définis grâce à une méthode simplifiée mise en place par le CIRAD (Michel, 2009).