



**BIOÉNERGIE ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE
ÉVALUATION RAPIDE (BEFS RA)**

Manuel d'Utilisation

GAZÉIFICATION



Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO.

© FAO, 2014

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à www.fao.org/contact-us/licence-request ou adressée par courriel à copyright@fao.org.

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés par courriel adressé à publications-sales@fao.org.

Évaluation Rapide BEFS

Module Options d'Utilisation Finale de l'Énergie

Sous-Module Électrification Rurale

Section 1 : Gazéification

Manuel d'Utilisation

Remerciements

L'Évaluation Rapide BEFS (BEFS RA) est le résultat d'un effort d'équipe auquel ont contribué les auteurs suivants (classés par ordre alphabétique)¹: Giacomo Branca (Université de la Tuscia, Viterbo), Luca Cacchiarelli (Université de la Tuscia, Viterbo), Carlos A. Cardona (Université Nationale de la Colombie à Manizales), Erika Felix, Arturo Gianvenuti, Ana Kojakovic, Irini Maltsoğlu, Jutamane Martchamadol, Luis Rincon, Andrea Rossi, Adriano Seghetti, Florian Steierer, Heiner Thofern, Andreas Thulstrup, Michela Tolli, Monica Valencia (Université Nationale de la Colombie à Manizales) et Stefano Valle (Université de la Tuscia, Viterbo).

Des contributions et des apports ont également été reçus de Renato Cumani, Amir Kassam, Harinder Makkar, Walter Kollert, Seth Meyer, Francesco Tubiello et son équipe, Alessio d'Amato (Université de Rome, Tor Vergata) et Luca Tasciotti.

Nous tenons à remercier le Groupe de Travail sur la Bioénergie et la Sécurité Alimentaire du Malawi², ainsi que le National Biofuels Board³ et son Groupe de Travail Technique des Philippines pour leur implication dans les essais pilotes de BEFS RA et leur feedback utile. Nous tenons également à exprimer notre gratitude à Rex B. Demafelis et son équipe de l'Université des Philippines de Los Baños pour leur précieux soutien lors de l'essai pilote.

L'Évaluation Rapide BEFS a bénéficié des commentaires fournis lors d'une réunion d'examen par les pairs qui s'est tenue au siège de la FAO en Février 2014 par Jonathan Agwe (International Fund for Agricultural Development); Adam Brown (International Energy Agency); Michael Brüntrup (German Institute for Development Policy); Tomislav Ivancic (Commission Européenne); Gerry Ostheimer (UN Sustainable Energy for All); Klas Sander (World Bank); James Thurlow (International Food Policy Research Institute); Arnaldo Vieira de Carvalho (Inter-American Development Bank); Jeremy Woods (Imperial College, University of London) et Felice Zaccheo (Commission Européenne). Des commentaires utiles ont également été fournis par Duška Šaša (Energy Institute Hrvoje Požar, Zagreb).

En outre, nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à Monique Motty et Ivonne Cerón Salazar pour leur aide dans la finalisation des outils et des documents.

Le travail a été réalisé dans le cadre du projet de l'Évaluation Rapide BEFS (GCP/GLO/357/GER) financé par le Ministère Fédéral Allemand de l'Alimentation et l'Agriculture (BMEL).

¹ Sauf indication contraire, tous les auteurs étaient affiliés à la FAO au moment de leur contribution.

² Le Groupe de Travail BEFS au Malawi comprend les membres suivants: Ministry of Energy, Ministry of Lands, Housing, and Urban Development, Ministry of Finance, Ministry of Agriculture and Food Security, Ministry of Environment and Climate Change and Department of Forestry, Ministry of Industry and Trade, Ministry of Economic Planning and Development, Ministry of Labour and Vocational Training, Ministry of Transport and Public Infrastructure, Ministry of Information and Civic Education, Ministry of Local Government and Rural Development.

³ Le National Biofuels Board est présidé par le Secretary of Department of Energy et comprend les membres suivants: Department of Trade and Industry, Department of Science and Technology, Department of Agriculture, Department of Finance, Department of Labor and Employment, Philippine Coconut Authority, Sugar Regulatory Administration.

Volumes du Manuel d'Utilisation de BEFS RA

- I. Introduction à l'Approche et aux Manuels
- II. Module Situation du Pays
- III. Module Ressources Naturelles
 - 1. Cultures
 - Section 1 : Production de Cultures
 - Section 2 : Budget de Cultures
 - 2. Résidus Agricoles
 - Résidus de Cultures et Résidus d'Élevage
 - 3. Combustibles Ligneux et Résidus de Bois
 - Section 1 : Exploitation Forestière et Résidus de Transformation du Bois
 - Section 2 : Budget de Plantation de Combustibles Ligneux
- IV. Module Options d'Utilisation Finale d'Énergie
 - 1. Produits Intermédiaires ou Finaux
 - Section 1 : Briquettes
 - Section 2 : Granulés de Bois
 - Section 3 : Charbon de Bois
 - 2. Chauffage et Cuisson
 - Biogaz Communautaire
 - 3. Électrification Rurale
 - Section 1 : Gazéification**
 - Section 2 : Huile Végétale Brute
 - Section 3 : Combustion
 - 4. Chaleur et Électricité
 - Section 1 : Cogénération
 - Section 2 : Biogaz Industriel
 - 5. Transport
 - Éthanol et Biodiesel

Table des Matières

1	Vue d'Ensemble du Module Option de l'Utilisation Finale de l'Énergie.....	4
2	La <i>Composante Gazéification</i>	6
3	Termes et Définitions dans la <i>Composante Gazéification</i>	9
4	Champ d'Application et Objectif de la <i>Composante Gazéification</i>	10
5	Utilisation de la <i>Composante Gazéification</i>	11
5.1	Étape 1 : La demande en énergie	13
5.2	Étape 2: Définition de la matière première.....	13
5.3	Étape 3: Définir le prix de l'électricité	18
5.4	Étape 4: Coût de production et paramètres financiers.....	20
5.5	Étape 5: Calcul du coût de production d'électricité	22
6	Hypothèses et Limites de la <i>Composante Gazéification</i>	24
7	Les Résultats de la <i>Composante Gazéification</i>	24
7.1	Vue d'ensemble du calcul des coûts de production (facultatif).....	24
7.2	Les résultats sommaires de la matière première	27
7.3	Le résumé des résultats comparatifs.....	29
8	Annexe.....	31
8.1	Méthodologie et résultats.....	31
8.1.1	Le calcul des coûts des intrants requis	31
8.1.2	Calcul des coûts du travail obligatoire.....	33
8.1.3	Le calcul des coûts de transports requis.....	34
8.1.4	Le calcul des coûts de stockage	34
8.1.5	Calcul de coût fixe.....	34
8.1.6	Calcul des autres coûts	35
8.1.7	Le coût total des coûts de production et l'unité de calcul de l'électricité.....	36
8.1.8	Calcul du chiffre d'affaires du projet	37
8.2	Les données requises pour utiliser l'outil	37
9	Références	40

Listes des Figures

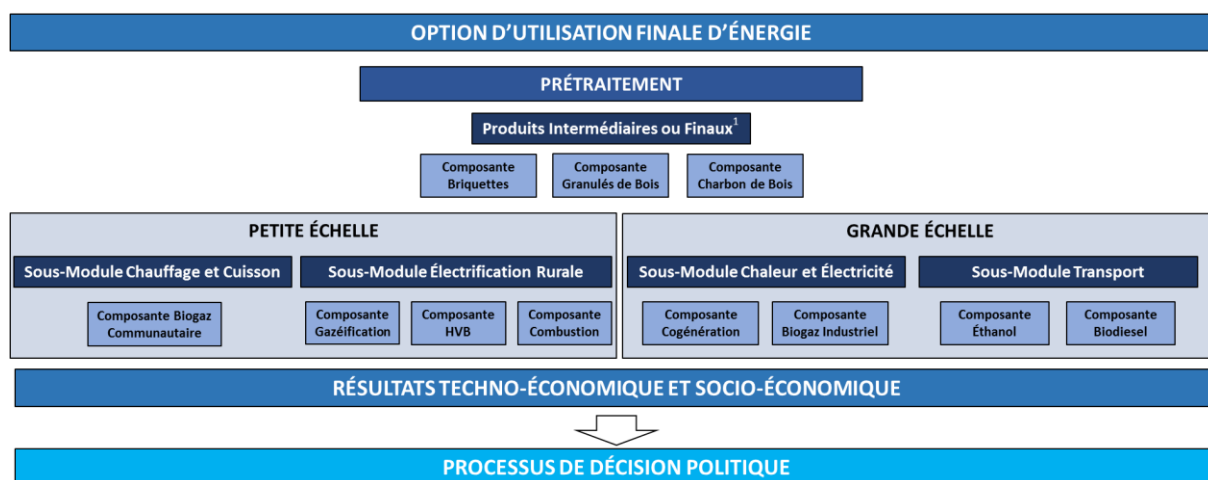
Figure 1: La Structure du Module Utilisation Finale de l'Énergie	4
Figure 2: Système de Gazéification de Biomasse pour la Production d'Électricité et/ou Chauffage en Milieu Rural	6
Figure 3: Structure des Feuilles Résultats de Gazéification.....	8
Figure 4: Outil d'Évaluation Rapide pour l'Electricité et/ou Chauffage	11
Figure 5: Le Déroulement de l'Analyse de la <i>Composante Gazéification</i> et les Relations avec d'Autres.....	12
Figure 6: La Demande en Énergie.....	13
Figure 7: Sélection des Matières Premières	14
Figure 8: Calcul du Prix de Matières Premières sur la Base de la Méthode de Collecte et sa Source	15
Figure 9: Coût de Stockage des Matières Premières.....	17
Figure 10: Calculateur de Stockage des Matières Premières	18
Figure 11: Prix de l'Électricité -Méthode 1	19
Figure 12: Prix de l'Électricité - Méthode 2	20
Figure 13: Intrants Généraux.....	20
Figure 14: Calcul des Coûts de Production	22
Figure 15: Les Coûts de Traitement pour la Production d'Électricité.....	22
Figure 16: Détail des Coûts de Production de l'Électricité par Capacité de Production d'Électricité	26
Figure 17: Les Résultats au Coût de Production et d'Investissement	27
Figure 18: Les Résultats d'Exploitation.....	28
Figure 19: Résultats de l'Analyse Financière	29
Figure 20: Mise En Page des Résultats Comparatifs.....	30
Figure 21 : Système de Gazéification de 100% de Gaz De Synthèse pour la Production d'Électricité	33

Liste de Tableaux

Tableau 1 : Matière Première Spécifique Qui Peut Être Utilisée Dans Le Système De Gazéification	16
Tableau 2 : Estimer le Coût du Stockage	17
Tableau 3 : Équations des Coûts des Intrants	31
Tableau 4 : Travail et Équations de Coûts Divers	33
Tableau 5 : Équations de Coûts de Transport des Matières Premières	34
Tableau 6 : Équations de Coûts de Stockage.....	34
Tableau 7 : Équations des Coûts Fixes.....	34
Tableau 8 : Équations des Autres Frais.....	36
Tableau 9 : Équations des Totaux des Coûts de Production	36
Tableau 10 : Équations des Revenus Potentiels	37
Tableau 11 : Les Données Requises pour Exécuter l'Outil	37

1 Vue d'Ensemble du Module Option de l'Utilisation Finale de l'Énergie

Comme expliqué dans l'introduction générale du manuel de formation BEFS RA, le module *Options d'Utilisation Finale de l'Énergie* est utilisé pour évaluer la viabilité techno-économique et socio-économique de différentes filières de production de bioénergie. Le module est divisé en cinq sections qui sont : Produits Intermédiaires ou Finaux, Chauffage et Cuisson, Électrification Rurale, Chaleur et Électricité et Transport. Chacun des sous-modules comprend un choix des composantes d'analyse pour évaluer la production de biocarburants spécifiques basés sur les technologies de traitement particulier, comme illustré sur la Figure 1. Ce module se base sur l'information générée dans le module *Ressources Naturelles* par rapport au type et à la quantité de matière première disponible. Pour une description plus détaillée du module il faut se référer à l'introduction générale du manuel de formation.



¹Ces produits peuvent être utilisés soit en tant que produits finaux pour le chauffage et la cuisson soit en tant que produits intermédiaires pour l'électrification rurale.

Figure 1: La Structure du Module Utilisation Finale de l'Énergie

Une description générale de chacun des sous-modules et de leurs composantes d'analyse respectives est présentée ci-dessous. Une discussion plus détaillée sur chacun des volets de l'analyse sera présentée dans le manuel utilisateur.

Le sous-module **Produits Intermédiaires ou Finaux** est utilisé pour évaluer la viabilité de la production de briquettes, granulés de bois et charbon de bois. La composante **Briquettes/Granulés de Bois** est utilisée pour évaluer le développement potentiel de la production de briquettes afin de fournir de l'énergie destinée au chauffage et à la cuisson dans les ménages ruraux et urbains. L'objectif de l'analyse est de fournir des informations sur le coût de production, les besoins en biomasse, la viabilité financière et les paramètres sociaux pour aider les utilisateurs dans leur décision de promouvoir la production de briquettes dans le pays. La composante **Charbon de Bois** est utilisée pour comparer les technologies de production de charbon de bois existantes avec les technologies améliorées et plus efficaces. Le but de l'analyse est d'évaluer le coût initial d'investissement des technologies améliorées, la viabilité financière du point de vue des producteurs de charbon de bois et les avantages sociaux et environnementaux que les technologies améliorées peuvent avoir par rapport aux technologies de production de charbon de bois existantes. Les résultats obtenus par l'analyse renseignent l'utilisateur sur les obstacles potentiels relatifs à l'adoption par les producteurs de technologies de charbon de bois améliorées.

Le sous-module **Chauffage et Cuisson** est utilisé pour évaluer la viabilité de la production de biogaz au niveau communautaire. La composante **Biogaz Communautaire** est utilisée pour évaluer le développement potentiel de la production de biogaz à partir du bétail au niveau des ménages et des communautés et compare trois différents types de technologie. La composante fournit des informations sur: 1) la quantité de biogaz qui peut être produite sur la base de la disponibilité du fumier, 2) la taille du biodigester nécessaire pour exploiter l'énergie, 3) le coût d'installation de trois types de technologies de biodigester. Ce volet fournit également des paramètres socio-économiques et financiers pour aider l'utilisateur à comprendre les possibilités et les conditions nécessaires au déploiement de la technologie biogaz dans leur pays.

Le sous-module **Électrification Rurale** est utilisé pour évaluer la viabilité de l'approvisionnement en électricité à partir de ressources de biomasse locales dans les zones reculées qui n'ont pas accès au réseau électrique. Le sous-module est composé de trois voies technologiques décentralisées pour l'électrification, à savoir : la gazéification, l'utilisation d'huile végétale brute (HVB) et la combustion. Les résultats de ce sous-module génèrent des estimations du coût de la production et distribution d'électricité, calcule la viabilité financière de l'électrification et informe sur les résultats sociaux et économiques associés à chaque voie alternative de technologie. La composante **Gazéification** analyse la combustion partielle de la biomasse pour produire un mélange de gaz qui est ensuite brûlé dans des moteurs à gaz pour produire de l'électricité. Le volet **Huile Végétale Brute (HVB)** s'appuie sur la composante des cultures agricoles dans le module Ressources Naturelles. Il évalue le potentiel de substitution du diesel par l'HVB dans les générateurs pour produire de l'électricité. La composante **Combustion** évalue la combustion de la biomasse pour produire du carburant qui fait tourner une turbine à vapeur afin de produire de l'électricité.

Le sous-module **Chaleur et Électricité** est utilisé pour évaluer la viabilité de la production d'électricité et de chaleur à partir de sources locales de biomasse. Le sous-module est composé de deux voies technologiques décentralisées pour l'électrification et la chaleur, à savoir : la cogénération et le biogaz industriel. Les résultats de ce sous-module génèrent des estimations du coût de la production et distribution d'électricité et de chaleur, calcule la viabilité financière de l'électrification/chaleur et informe sur les résultats sociaux et économiques associés à chaque voie alternative de technologie. La composante **Cogénération** examine le potentiel de la production simultanée de chaleur et d'électricité à partir d'une source de biomasse, ce qui permet à l'utilisateur d'analyser une usine de production intégrée ou d'analyser le fonctionnement autonome d'un pur réseau électrique. La composante **Biogaz Industriel** évalue le potentiel de développer une industrie de biogaz pour l'électricité, la chaleur, la cogénération ou le biogaz amélioré. Ceci est fait en utilisant des eaux usées, les matières solides de haute ou faible humidité ou une combinaison des deux. Toutes les filières technologiques sont basées sur des technologies simples et facilement accessibles qui peuvent être facilement adaptables aux zones rurales éloignées.

Le sous-module **Transport** est utilisé pour évaluer la viabilité de la production de biocarburants liquides pour le transport, à savoir l'éthanol et le biodiesel. L'analyse s'appuie sur les résultats générés par les composants des ressources naturelles en termes de disponibilité des matières premières et sur le budget de la culture. Les outils couvrent l'éthanol et le biodiesel. Dans les sections de l'éthanol, les utilisateurs peuvent évaluer le potentiel de développement de l'industrie de l'éthanol dans le pays. De même, dans la section de biodiesel, peut être évalué le potentiel de développement de l'industrie du biodiesel. Les analyses donnent des résultats sur les estimations de coûts pour la production de biocarburant choisi en fonction de l'origine des matières premières, à savoir les petits exploitants, la combinaison petits exploitants/concessions ou commerciales et selon quatre capacités de production prédéfinies, à savoir 5,

25, 50 et 100 millions de litres/an⁴. Les résultats comprennent également des informations sur la faisabilité économique et les paramètres socio-économiques. Dans cette composante, l'utilisateur a la possibilité d'inclure dans l'évaluation une analyse des émissions de GES qui couvre l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement des biocarburants sélectionnés.

Une autre option pour les utilisateurs consiste à utiliser la **Calculatrice de Prétraitement** avant d'utiliser les outils d'Utilisation Finale d'Énergie⁵. Cela permet à l'utilisateur de calculer les coûts supplémentaires de prétraitement de la biomasse sélectionnée afin d'obtenir les conditions spécifiques requises pour la conversion de la biomasse finale pour l'utilisation finale d'énergie.

2 La Composante Gazéification

La *Composante Gazéification* est conçue pour aider l'utilisateur à évaluer le potentiel à développer la gazéification de la biomasse pour fournir de l'électricité aux zones rurales qui n'ont pas accès à l'électricité courante et où l'extension du réseau national n'est pas possible. Les limites de l'analyse du module sont représentées sur la Figure 2. L'outil a été développé sur base d'une recherche bibliographique approfondie. Les hypothèses et les détails des calculs utilisés pour développer l'outil sont présentés en Annexe.

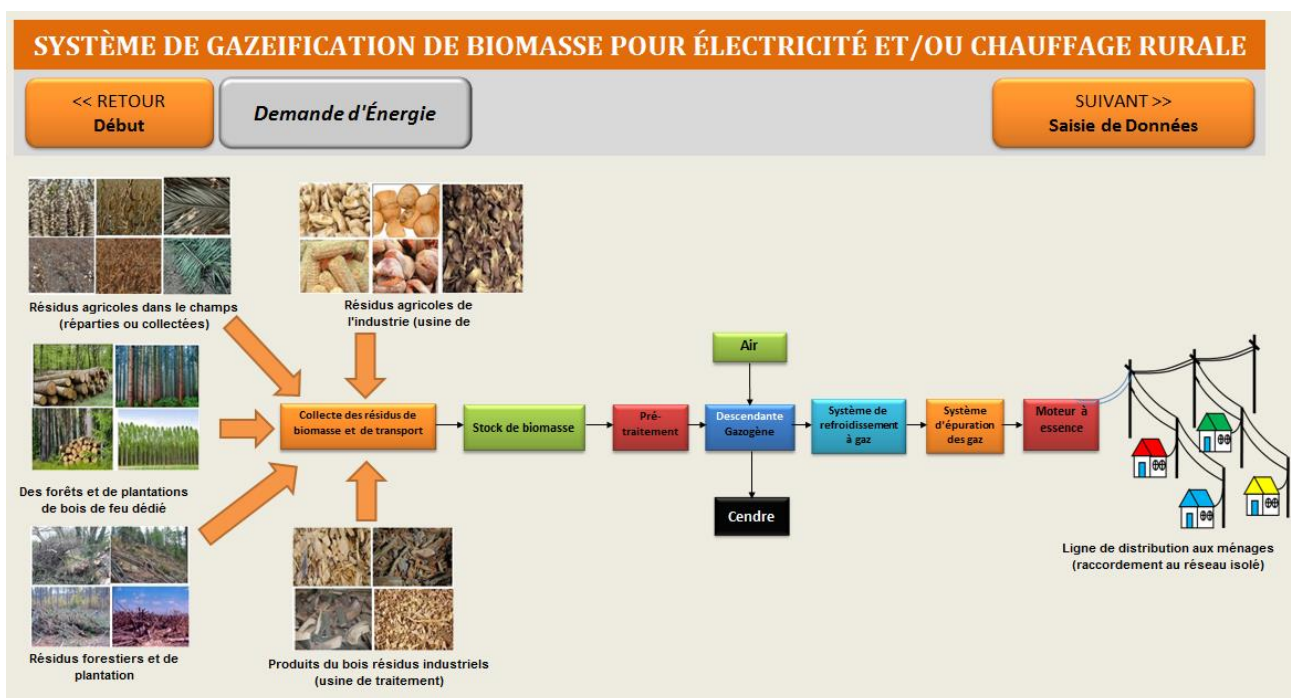


Figure 2: Système de Gazéification de Biomasse pour la Production d'Électricité et/ou Chauffage en Milieu Rural

Suite à l'analyse, l'utilisateur aura une indication sur l'exigence de : 1) la consommation de la biomasse et de la zone appropriée pour mettre en place les différentes échelles d'usine de gazéification de biomasse ; 2) le nombre potentiel d'unités de gazéification de la biomasse qui peuvent être développées dans le pays ; 3) le coût des investissements par kWh pour chaque échelle ; 4) le nombre de ménages qui pourraient être

⁴ La sélection des capacités prédéfinies des usines est basée sur une analyse bibliographique; voir le manuel sur le Transport pour plus de détails.

⁵ La Calculatrice de Prétraitement peut être utilisée avant d'utiliser les outils d'Utilisation Finale d'Énergie. Les exceptions sont les *Outils Biogaz Communautaire et Transport* car ces outils comprennent déjà le prétraitement.

électrifiées ; 4) la création d'emplois et la viabilité financière potentielle associée à chaque niveau de la production comme le montre la Figure 3. L'utilisateur pourra également faire des comparaisons entre différents types de biomasse (des matières premières) et les capacités à identifier les sources de biomasse les plus appropriées en fonction d'un certain nombre de facteurs, dont la disponibilité physique et économique ainsi que les résultats sociaux.

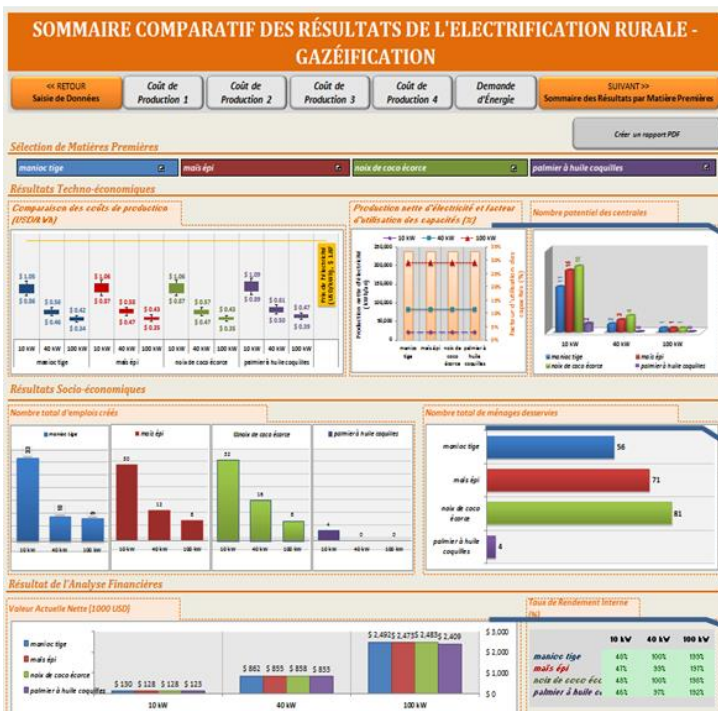


Résultats Générales par Matières Premières

Résultats des Coûts de Production et d'Investissement:
Coût de production de l'électricité, Part de la production et Coût total de l'investissement

Résultats d'Exploitation:
Consommation de biomasse, Zone de la biomasse, Nombre potentiel d'usine de gazéification, Nombre de ménages qui peut être approvisionné et Création totale d'emplois

Analyse Financière – Avant Taxes:
Valeur Actuelle Nette (VAN) et Taux de Rendement Interne (TRI)



Résultats Comparatifs des Capacités

Résultats Techno-Économiques:
Coût de production d'électricité, Production nette d'électricité, Facteur d'utilisation de la capacité et Nombre de centrales de gazéification

Résultats Socio-Économiques:
Nombre total d'emplois créés, Nombre total de ménages desservis

Analyse Financière – Avant Taxes:
Valeur Actuelle Nette (VAN) et Taux de Rendement Interne (TRI)

Figure 3: Structure des Feuilles Résultats de Gazéification

3 Termes et Définitions dans la Composante Gazéification

Cette section contient les définitions des termes spécifiques utilisés dans la *Composante Gazéification*. Il est important de comprendre ces définitions et de les prendre en compte tout au long de l'analyse pour être en mesure d'interpréter correctement les résultats.

- **La gazéification** se réfère à un procédé dans lequel les matières combustibles telles que la biomasse sont partiellement oxydées ou partiellement brûlées avec une modification de la structure chimique à 500-900 °C en présence d'un agent de gazéification (par exemple l'air, l'oxygène, la vapeur d'eau, CO₂, ou des mélanges de ces composantes) (Göransson, Söderlind, He, & Zhang, 2011). Le produit est un gaz combustible de synthèse, ou gaz de synthèse. Le gaz de synthèse peut être utilisé pour générer de la chaleur et du courant.
- **L'analyse de gazéification de la biomasse** comprend les étapes suivantes: la collecte des résidus de la biomasse, le transport et le stockage dans l'usine de gazéification. Avant d'alimenter les résidus de la biomasse dans le gazéificateur, ces résidus subissent des processus de prétraitement. Après les opérations de prétraitement, le résidu de la biomasse est prêt à être converti en gaz de synthèse en l'alimentant dans le gazéificateur. Le gaz de synthèse passe à travers le système de refroidissement et de nettoyage et est ensuite introduit dans un moteur à gaz pour la production d'électricité. L'électricité sort du moteur à gaz pour être distribuée aux ménages dans une zone particulière.
- **Les matières premières** sont les matières de biomasse qui sont utilisées dans le processus de gazéification pour produire du gaz de synthèse.
- **Réacteur en lit fixe à contre-courant** est un lit solide fixe où les réactions de gazéification ont lieu entre la matière première et le passage de l'air dans la même direction. Le gaz de synthèse du gazéificateur quitte après avoir traversé la zone chaude, ce qui permet le craquage partiel des goudrons. La composition du gaz de synthèse est généralement 40-50% de N₂, 15-20% de H₂, 10-15% de CO, 10-15% CO₂ et 3-5% de CH₄, avec un pouvoir calorifique inférieur à 4-6 MJ/Nm³.
- **Le prétraitement de la biomasse:** Les résidus de biomasse ont un grand potentiel dans la plupart des pays en développement, car ils sont en mesure de remplacer les sources d'énergie telles que le bois. Cependant, seule une petite proportion des résidus de la biomasse est utilisée comme combustibles en raison de leur forte teneur en eau, leur haute densité de polymorphisme et leur faible taux d'énergie. Ces caractéristiques augmentent les coûts de transport, de manutention et de stockage, ce qui rend l'utilisation de la biomasse comme combustible incommode (Patel, Gami, & Bhimani, 2011). Il existe plusieurs variétés de biomasse (résidus agricoles) ayant différentes valeurs de chauffage, de tailles, de teneur en humidité et de composition chimique. Par conséquent, le prétraitement de la biomasse est nécessaire pour que les matières premières soient adaptées à chaque type de gazogène afin d'obtenir un rendement de conversion et une valeur calorifique élevée du gaz de synthèse. De plus, la bonne taille et teneur en humidité de la matière première sont nécessaires pour les conditions de travail des systèmes d'alimentation afin de transférer la matière première de la zone de stockage au gazéificateur (Cummer & Brown, 2002). Le processus de prétraitement comprend le séchage pour éliminer l'excès d'humidité, la réduction de la taille des résidus, le processus de densification (par exemple, granulés et briquettes) pour augmenter la densité de la taille et de l'énergie des grains fins des matières premières, et le processus de torréfaction pour améliorer les caractéristiques et l'efficacité du stockage de la biomasse.

- **Refroidissement de gaz et système de nettoyage:** Le gaz de synthèse sortant du gazogène est chaud (250-500°C). Les principales composantes du gaz de synthèse produit dans un gazéificateur sont le CO et le H₂. Il contient des contaminants, des particules et des substances volatiles, qui doivent être refroidis et nettoyés avant d'alimenter les générateurs (Jain, 2008). Le système de refroidissement des gaz et du nettoyage sont les suivantes: (i) le filtre à cyclone qui sépare les cendres, (ii) le gaz de synthèse à refroidissement par eau et l'unité de lavage contenant ~ 20 m³ d'eau et (iii) deux unités de filtrage parallèles pour éliminer le goudron, les particules et l'humidité. Chaque unité de filtre est constituée d'un gros filtre et deux filtres fins. Deux filtres parallèles permettent des opérations d'installation constants pendant le nettoyage d'une unité de filtration (Buchholz, Silva, & Furtado, n.d.).
- **dispositifs de production d'électricité à l'aide de gaz de synthèse:** Les dispositifs possibles qui peuvent être utilisés pour convertir le gaz de synthèse en électricité et l'application de chaleur sont la turbine à vapeur, la turbine à gaz, la turbine au gaz externe, la micro-turbine, la pile à combustible, et le moteur à gaz (Arena, Di Gregorio, & Santonastasi, 2010a). Dans la *Composante Gazéification*, le dispositif qui est considéré est le moteur à essence. Les moteurs à gaz ou moteurs à pistons IC sont une des technologies répandues et bien connues. Une variété de produits de machines fixes sont disponibles pour une gamme d'applications de production d'énergie du marché et des cycles de service, y compris le courant de réserve et d'urgence, un service de pointe, le courant de base et intermédiaire, et la cogénération. Les moteurs à pistons IC sont disponibles pour les applications de production d'énergie dans des tailles allant de quelques kilowatts à plus de 5 MW. Il y a deux types de moteurs à réciprocité IC: le moteur à allumage commandé (SI) et le moteur à allumage par compression (CI). Les moteurs à allumage pour la production d'électricité utilisent le gaz naturel comme combustible privilégié, même s'ils peuvent être configurés pour fonctionner au propane, à l'essence, au biogaz, ou gaz d'enfouissement. Les moteurs à allumage (souvent appelés moteurs diesel) fonctionnent au carburant diesel ou à l'huile lourde, ou ils peuvent être mis en place pour fonctionner dans une configuration bicombustible qui brûle principalement du gaz naturel ou du biogaz avec une petite quantité de carburant diesel (EPA, 2007).

4 Champ d'Application et Objectif de la Composante Gazéification

L'objectif de la *Composante Gazéification* est d'évaluer la faisabilité à développer un système de gazéification par biomasse pour fournir de l'électricité dans les zones rurales où l'extension du réseau n'est pas possible. Il fournit à l'utilisateur une base technique pour effectuer une analyse des systèmes de gazéification de la biomasse pour la production d'électricité à 10 kW, 40 kW et 100 kW provenant d'un assortiment de sources de biomasse. Les résultats de l'analyse peuvent être utilisés pour identifier la viabilité de la production d'électricité par gazéification en termes de disponibilité des matières premières, la viabilité financière des différentes échelles de production, la combinaison de la capacité de production optimale et des matières premières et les avantages socio-économiques qui peuvent être atteints pour chaque système de production. Les informations générées par l'analyse peuvent également être utilisées comme point de départ pour discuter des stratégies possibles pour promouvoir le développement de l'électrification par systèmes de gazéification de la biomasse dans les zones rurales.

La section suivante décrit le déroulement de l'analyse et les options de cette composante. La méthodologie de base pour l'analyse financière de la gazéification, de la collecte et du stockage de la biomasse est décrite en détail dans l'Annexe.



Figure 4: Outil d'Évaluation Rapide pour l'Électrification Rurale

5 Utilisation de la Composante Gazéification

Le déroulement de l'analyse au sein de la *Composante Gazéification* et sa relation avec les autres composantes est représenté dans la Figure 5. L'utilisateur a le choix de sélectionner les composantes d'analyse dans un ordre différent ou même omettre certains éléments. Il est toutefois fortement recommandé que l'utilisateur suive l'ordre et le déroulement de l'analyse comme décrit ci-dessous, étant donné que la *Composante Gazéification* repose sur l'information générée dans le module *Ressources Naturelles* et certaines informations peuvent renvoyer à d'autres modules pour contextualiser les résultats de l'analyse. Les résultats de cette composante sont essentiels à la compréhension de l'analyse. Lors de l'interprétation des résultats, l'utilisateur doit prendre en compte tous les facteurs fiables, notamment ceux qui font références aux aspects liés à la sécurité alimentaire, au commerce agricole et à l'utilisation durable des ressources naturelles.

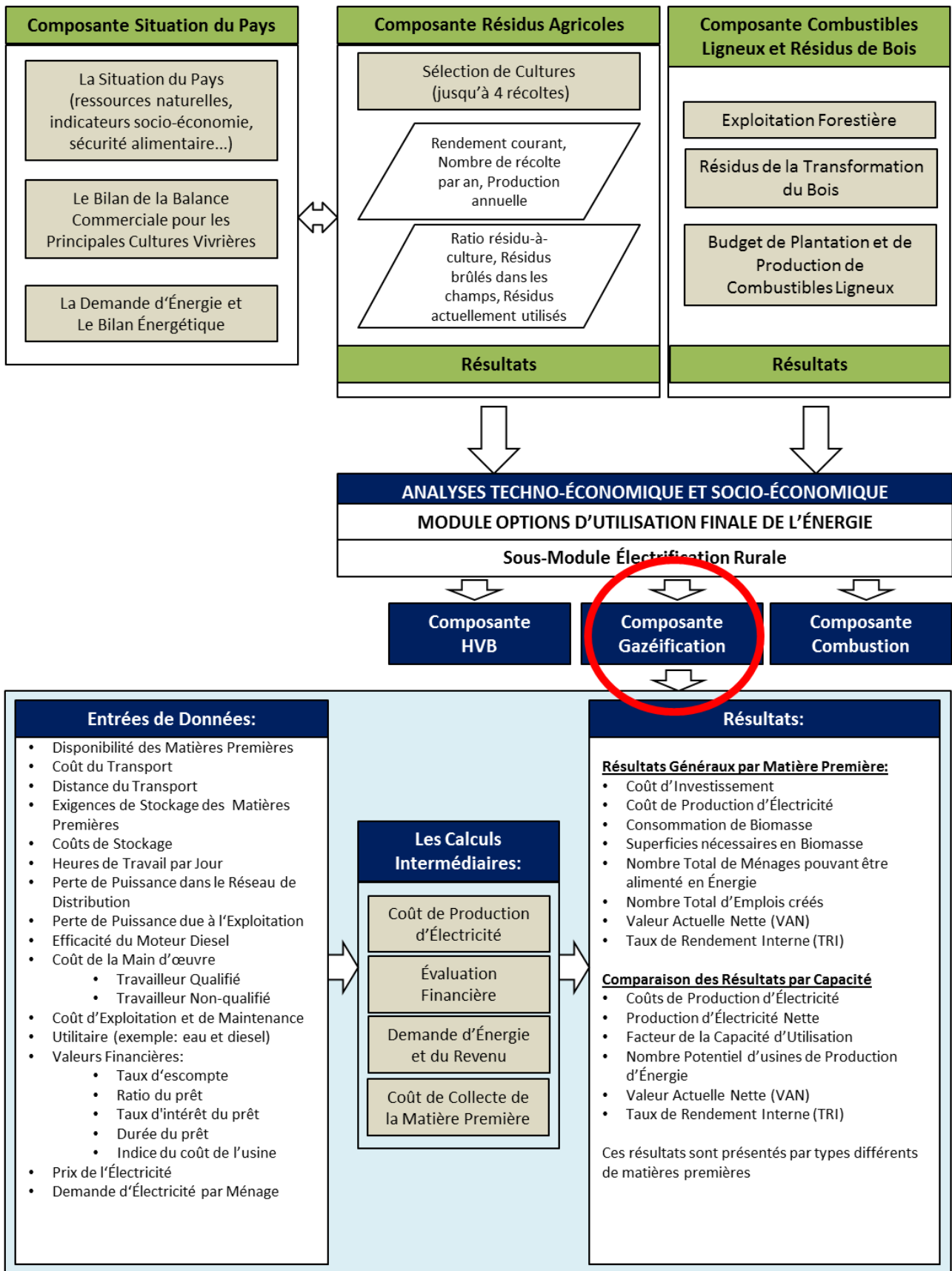


Figure 5: Le Déroulement de l'Analyse de la Composante Gazéification et les Relations avec d'Autres Modules et Composantes de BEFS RA

L'utilisateur navigue à travers les options et est invité à saisir les données nécessaires pour obtenir les résultats. Lorsque les données requises sont limitées ou non disponibles, l'utilisateur peut utiliser les valeurs par défaut fournies par l'outil. Les touches de navigation sont placées sur le haut et le bas de chaque feuille, indiquant l'étape suivante avec le signe "SUIVANT >>" et permettant à l'utilisateur de revenir à l'étape précédente avec la touche "<< RETOUR".

Les sections suivantes décrivent chaque étape de l'analyse, en utilisant un exemple de la **Composante Résidus Agricoles** pour nourrir le système de gazéification dans une zone rurale éloignée sans accès à l'électricité en cours. Tous les paramètres des intrants sont basés sur une situation générique.

Au début de l'analyse, l'utilisateur doit choisir sa préférence linguistique afin de visualiser l'outil dans cette langue même (Figure 4, étiquette 1). Les choix sont : Anglais (EN), Français (FR), Espagnol (ES). Ensuite, l'utilisateur dispose de trois options, avec les boutons de navigation suivantes: "Description du Processus de Gazéification", "Saisie de Données" et "Demande d'Énergie", comme le montre la Figure 4.

5.1 Étape 1 : La demande en énergie

L'utilisateur doit saisir la consommation d'électricité par ménage (kWh/mois) comme défini dans le module *Situation du Pays* (Figure 6).

The screenshot shows a software interface for energy demand calculation. At the top, there is a title bar: "DEMANDE D'ÉNERGIE POUR ÉLECTRICITÉ ET/OU CHAUFFAGE - GAZÉIFICATION". Below this, there are three buttons: "<< RETOUR Début" on the left, "Description du Processus de Gazéification" in the center, and "SUIVANT >> Saisie de Données" on the right. Underneath, the section "Demande d'Électricité par Ménage" is displayed. It includes a label "Consommation d'électricité par ménage (kWh/mois)" followed by a text input field containing the number "300". To the right of the input field, there is a note: "Valeur calculée dans le Module Situation du Pays".

Figure 6: La Demande en Énergie

5.2 Étape 2: Définition de la matière première

Avant de procéder à l'analyse, l'utilisateur peut entrer les valeurs par défaut en cliquant sur "Utiliser les valeurs par défaut" comme le montre la Figure, 7 étiquette A.

Étape 2.A Le choix de la matière première

L'utilisateur doit:

1. Sélectionner une culture(s) et un résidu associé à la culture dans le menu déroulant. Sont inclus dans la liste : les 7 principales cultures vivrières/culture de rente, deux types de résidus de bois et des briquettes (Figure 7, étiquette 1). Jusqu'à quatre résidus de cultures peuvent être analysés en même temps.

SAISIE DE L'ÉLECTRICITÉ ET/OU DU CHAUFFAGE RURALE - GAZÉIFICATION

<< RETOUR
Début

Entrer les Valeurs par
Défaut A

Effacer les Données

Description du Processus
de Gazéification

Demande d'Énergie

Utilisez les cellules blanches pour entrer les données

Les cellules grises sont utilisées pour les calculs

Disponibilité et Coût des Matières Premières

	Matière première 1	Matière première 2	Matière première 3	Matière première 4
	manioc	maïs	noix de coco	palmer à huile
Potentiel de matières premières (t/an)	3,500	3,000	1,000	
Rendement de matières premières (t/ha)	90.00	100.00	110.00	
Teneur en humidité	15%	7%	8%	
Dimension moyenne (mm)	59	56	61	
Prix des matières premières (USD/t)				
<input type="radio"/> Utilisez la calculatrice de définition de prix <input checked="" type="radio"/> Prix du marché (transport exclu)	Entrer données ci-dessous!	Entrer données ci-dessous!	Entrer données ci-dessous!	Entrer données ci-dessous!
Coût de stockage des matières premières (USD/t)	\$ 3.0	\$ 3.0	\$ 3.0	\$ 3.0

Calculateur de Prix 1

Calculateur de Prix 2

Calculateur de Prix 3

Calculateur de Prix 4

Coût de Production 1

Coût de Production 2

Coût de Production 3

Coût de Production 4

Figure 7: Sélection des Matières Premières

1. Entrer les données sur les matières premières disponibles (t/an) ainsi que le rendement (t/ha) des résidus de cultures sélectionnées (Figure 7, boîte rouge). *Ces informations sont générées dans le module Ressources Naturelles.*
2. Le taux d'humidité (%) ou moyenne des contenus d'humidité des résidus de cultures sélectionnées et la taille (mm) ou la taille moyenne de la matière première en millimètres sont automatiquement générés à partir de la base de données dans l'outil.

Pour cet exemple, les éléments suivants ont été sélectionnés: Matière première 1 "Tige de manioc", Matière première 2 "Épis de maïs", Matière première "Noix de coco" and Matière première 4 "Palmer à huile" (Figure 7).

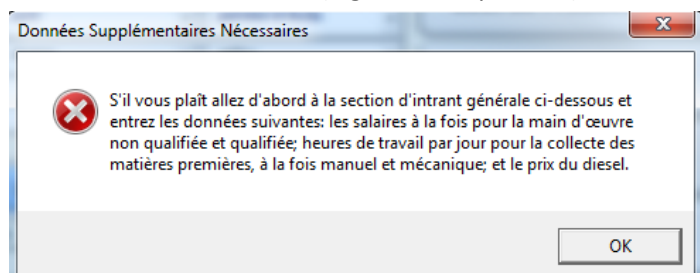
Étape 2.B Prix des matières premières (USD/t)

L'utilisateur a deux options pour déterminer le prix de la matière première:

- A. S'il existe un prix courant pour cette matière première dans le pays, l'utilisateur clique sur la touche "Prix du Marché (transport exclu)" (Figure 7, étiquette 2) et insère directement le prix de la matière première sélectionnée (en USD/t) dans les cases correspondantes.
- B. S'il n'existe pas de prix courants pour cette matière première, l'utilisateur peut estimer ce coût en cliquant sur la touche "Utiliser la Calculatrice de Définition du Prix" (Figure 7, étiquette 3).

L'utilisateur recevra un "Avertissement" avant de continuer à utiliser la calculatrice, et il/elle devra insérer ce qui suit :

1. Le salaire en USD/heure/employé de la main-d'œuvre à la fois qualifiée et non-qualifiée



dans "coût de la main-d'œuvre".

2. Les heures de travail et le prix du diesel dans les lignes correspondantes de la "collecte de matières premières".

La feuille de calcul "Calculateur de Prix" (Figure 8) aide l'utilisateur à estimer le prix de la matière première potentielle sur base de l'état physique de la matière première et la méthode de collecte.

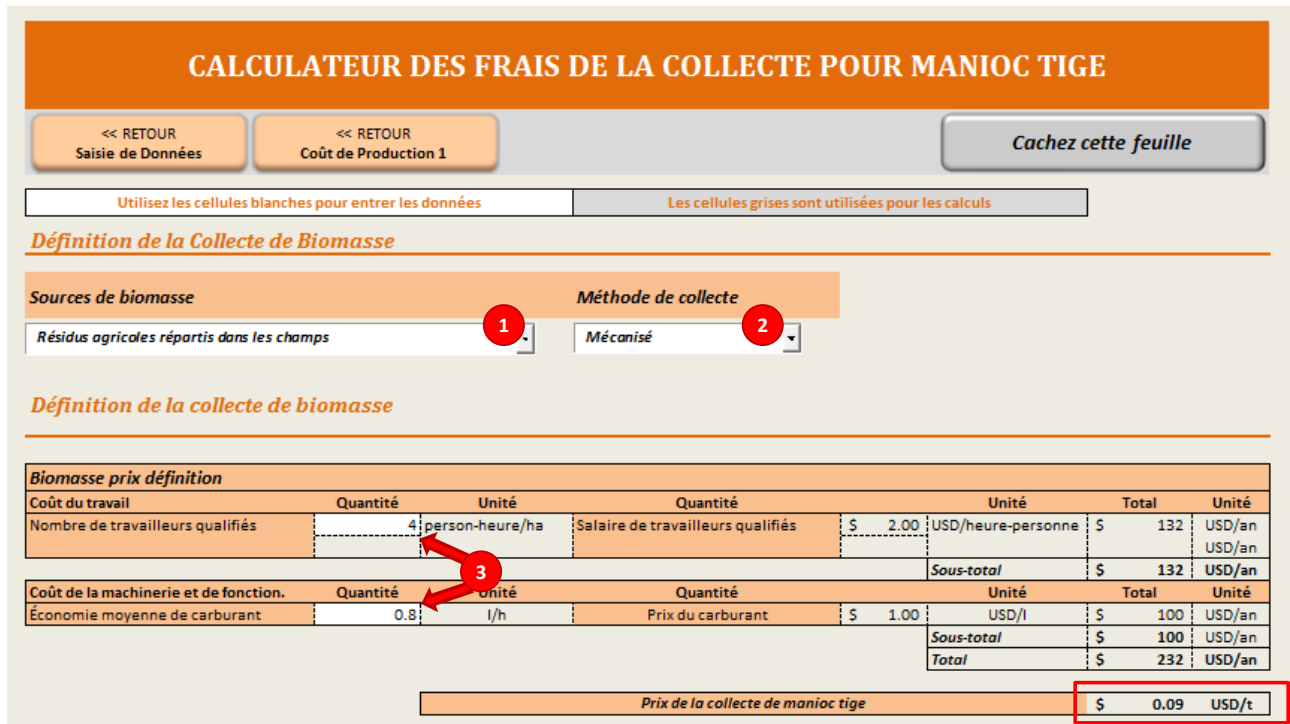


Figure 8: Calcul du Prix de Matières Premières sur la Base de la Méthode de Collecte et sa Source

Pour utiliser la calculatrice, l'utilisateur devra:

1. Identifier l'état physique de la matière première à partir de l'une des options suivantes (Figure 8, étiquette 1):
 - Résidus agricoles répartis sur les champs
 - Résidus agricoles recueillies dans les champs
 - Résidus agricoles provenant de la transformation de produits alimentaires
 - Foresterie
 - Résidus forestiers et de plantation
 - Les résidus de l'industrie du bois

À titre de référence, le Tableau 1 résume l'état physique des différentes sources de biomasse qui peuvent être utilisées pour la gazéification.

2. Sélectionner la méthode de collecte de la biomasse (Figure 8, étiquette 2) parmi les options suivantes:
 - manuelle
 - semi-mécanisée
 - mécanisée

Remarque: Le type de main d'œuvre et de diesel dépendra de la méthode de collecte: manuel, semi-mécanisée et mécanisée.

3. Entrer les exigences de travail de la main-d'œuvre (heures-personnes/hectare) et les besoins en carburant (litres/heure) associés à la méthode de collecte de la biomasse sélectionnée (Figure 8, étiquette 3). Pour retourner à la section précédente l'utilisateur doit cliquer sur le bouton "<<Retour Saisie de Données".

Note: La méthode de collecte peut être identifiée selon les pratiques similaires actuellement en vigueur dans le pays.

Le calculateur génère automatiquement un prix de la matière première (Figure 8), qui est lié à la feuille "Saisie de Données" pour des calcul additionnels.

4. L'utilisateur devra effectuer des opérations similaires pour chaque matière première sélectionnée.

Tableau 1 : Matière Première Spécifique Qui Peut Être Utilisée Dans Le Système De Gazéification

Source	Matière première spécifique qui peut être utilisée
Résidus venant des terres agricoles	tige de manioc, fronde de noix de coco, tige de coton, et la paille/tige de sorgho
Résidus agricoles venant de la transformation industrielle	Coquille de noix de coco, coquille d'arachide, épi de maïs, coquille de palmier à huile, et briquettes
Sylviculture	N/A
Résidus forestiers et de plantation	les souches, les racines, etc.
Les résidus de l'industrie du bois	les copeaux de bois et d'écorces, etc.
Les plantations dédiées à l'énergie	<i>Acacia spp.</i> , <i>Cunninghamia lanceolata</i> , <i>Eucalyptus spp.</i> , <i>Pinus spp.</i> , <i>Populus spp.</i> (peupliers) et <i>Salix spp.</i> (saules)

Dans cet exemple, la source de biomasse sélectionnée est la "Tige de manioc" provenant de "résidus agricoles répartis dans le champ" et la méthode de collecte choisie est la méthode "mécanisée". Le nombre de travailleurs qualifiés (opérateurs de machines) est 4 personnes- heures et la consommation de la machine en diesel est de 0.8 litres par heure. En sachant qu'un travailleur manuel fonctionne 8 heures par jour, qu'un engin fonctionne 16 heures et que prix du diesel est de 1 USD par litre, un prix approximatif de la source de biomasse la "tige de manioc" peut- être estimée à 0.08 USD/t (Figure 8, boîte rouge box).

Étape 2.C: Prix de stockage des produits agricoles (USD/t)

Étape 2.C.1 L'utilisateur peut entrer les prix actuels de stockage des produits agricoles dans le pays comme une approximation. Le prix doit être entré dans la cellule respective pour chaque matière première (USD/tonne). Si cette information n'est pas disponible, l'utilisateur passe à l'étape suivante.

Étape 2.C.2 L'utilisateur peut déterminer une valeur approximative et aura besoin de faire ce qui suit:

1. Identifier, à partir des options présentées dans le Tableau 2, un type de stockage des matières premières possiblement associée aux conditions du pays.

2. Pour l'option de stockage sélectionnée, voir le coût de construction global prévu dans le Tableau 2.
3. Saisir la valeur approximative (USD/tonne) dans la cellule respective pour chaque matière première.

Tableau 2 : Estimer le Coût du Stockage

Estimer le Coût du Stockage	Unité	Min	Moyenne	Max
Structure fermée avec plancher de roche concassée	USD/tonne	10	12.5	15
Structure ouverte avec plancher de roche concassée	USD/tonne	6	7	8
Bâche réutilisable sur pierre concassée	USD/tonne	n/a	3	n/a
À l'extérieur sans protection, sur la pierre concassée	USD/tonne	n/a	1	n/a
À l'extérieur sans protection par terre	USD/tonne	n/a	0	n/a

Source: (EPA, 2007)

Pour cet exemple, toutes les matières premières sont stockées sur la roche concassée et couvertes par une bâche réutilisable. Le coût du stockage est de 3 USD/tonne. (Utilisateur saisit le coût dans les cellules correspondantes comme le montre la Figure 9, étiquette 1).

SAISIE DE L'ÉLECTRICITÉ ET/OU DU CHAUFFAGE RURALE - GAZÉIFICATION

<< RETOUR Début
Entrer les Valeurs par Défaut
Effacer les Données
Description du Processus de Gazéification
Demande d'Énergie

Utilisez les cellules blanches pour entrer les données
Les cellules grises sont utilisées pour les calculs

Disponibilité et Coût des Matières Premières

	Matière première 1	Matière première 2	Matière première 3	Matière première 4	
	manioc	maïs	noix de coco	palmier à huile	Coût de Production 1
	tige	épi	écorce	coquilles	Coût de Production 2
Potential de matières premières (t/an)	2,500	3,500	3,000	1,000	
Rendement de matières premières (t/ha)	80.00	90.00	100.00	110.00	
Teneur en humidité	12%	15%	7%	8%	
Dimension moyenne (mm)	77	59	56	61	
Prix des matières premières (USD/t)	Calculateur de Prix 1	Calculateur de Prix 2	Calculateur de Prix 3	Calculateur de Prix 4	Coût de Production 3
Utilisez la calculatrice de définition de prix	\$ 0.09	\$ -	\$ -	\$ -	Coût de Production 4
Prix du marché (transport exclu)					
Coût de stockage des matières premières (USD/t)	\$ 3.0	\$ 3.0	\$ 3.0	\$ 3.0	
	Calculateur de Stockage 1	Calculateur de Stockage 2	Calculateur de Stockage 3	Calculateur de Stockage 4	

Figure 9: Coût de Stockage des Matières Premières

Étape 2.C.3 Afin de calculer les besoins en capacité de stockage, l'utilisateur doit cliquer sur le "Calculateur de Stockage" (Figure 9, étiquette 2). Cela dirige l'utilisateur vers la calculatrice de Stockage de la Biomasse (Figure 10). Sur cette feuille de calcul, l'utilisateur doit:

1. Sélectionner le mois de la moisson (Figure 10, étiquette 2).
2. Saisir le taux de stock de sécurité de la biomasse (%) qui est le pourcentage de biomasse nécessaire pour assurer l'approvisionnement continu en matières premières pour faire face à l'incertitude de la production telle que la disponibilité saisonnière, les inondations, la sécheresse et d'autres facteurs. Ce taux % est utilisé pour estimer la capacité de stockage (Figure 10, étiquette 1).

3. Cliquer sur "Calculer" (Figure 10, étiquette 3) pour calculer automatiquement la quantité de la capacité de stockage maximale (en tonnes) et de stockage de sécurité minimale (tonnes/mois) requis pour chacune des capacités prédéfinies (Figure 10, étiquette 4).
4. Cliquer sur "OK" pour revenir à la feuille Besoins de Saisie de Données (Figure 10, étiquette 5).
5. Répéter la même étape pour toutes les matières premières.

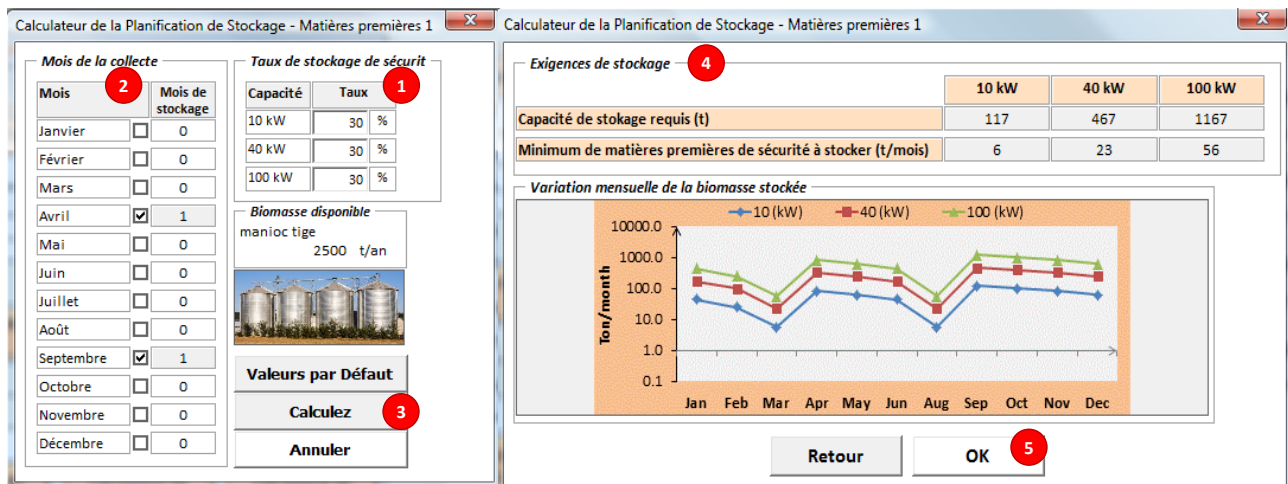


Figure 10: Calculateur de Stockage des Matières Premières

Pour l'exemple de la matière première 1, la récolte se fait en Avril et Septembre. Par conséquent, la capacité de stockage requise est de 117 tonnes pour une capacité de production de 10 kW. La matière première minimale de sécurité à stocker est de 6 tonnes par mois. Voir la Figure 10 pour d'autres capacités prédéfinies.

5.3 Étape 3: Définir le prix de l'électricité

Le prix de l'électricité est utilisé pour analyser le chiffre d'affaires total de la production d'électricité provenant de l'installation du système de gazéification. L'utilisateur sélectionne un procédé pour définir le prix de l'électricité à partir des options suivantes:

- Méthode 1:** Utilisation de la calculatrice pour définir le prix de l'électricité sur la base d'un système de générateur diesel. Pour exécuter cette option, l'utilisateur doit:
 1. Sélectionner "Méthode 1" pour définir le prix de l'électricité (Figure 11, étiquette 1).
 2. Cliquer sur "Calculateur de Prix de l'Électricité" (Figure 11, étiquette 2).
 3. Dans "Calculateur de Prix de l'Électricité" saisir les informations suivantes (Figure 11, boîte rouge). Cependant, si aucune donnée spécifique n'est disponible, l'outil fournira des valeurs par défaut (Figure 11, étiquette 3).
 - Technologie actuelle d'électricité:
 - Capacité du générateur diesel (kW)
 - Heures de fonctionnement par jour
 - Jour de fonctionnement par an
 - L'efficacité typique (%)
 - Paramètres de coûts:

- Coûts du diesel (USD/litre)
 - Coût de transport du diesel (USD/t/km)
 - Distance de transport (km)
 - Coûts d'exploitation et d'entretien (USD/kWh)
 - Coût de l'équipement (USD)
4. Une fois toutes les données saisies, cliquez sur "Calculer" (Figure 11, étiquette 4).
 5. L'outil fournira le coût comparatif de production d'électricité (Figure 11, étiquette 5) Ce dernier est lié à la feuille de calcul "Saisie de Données" et sera utilisé dans des calculs ultérieurs.

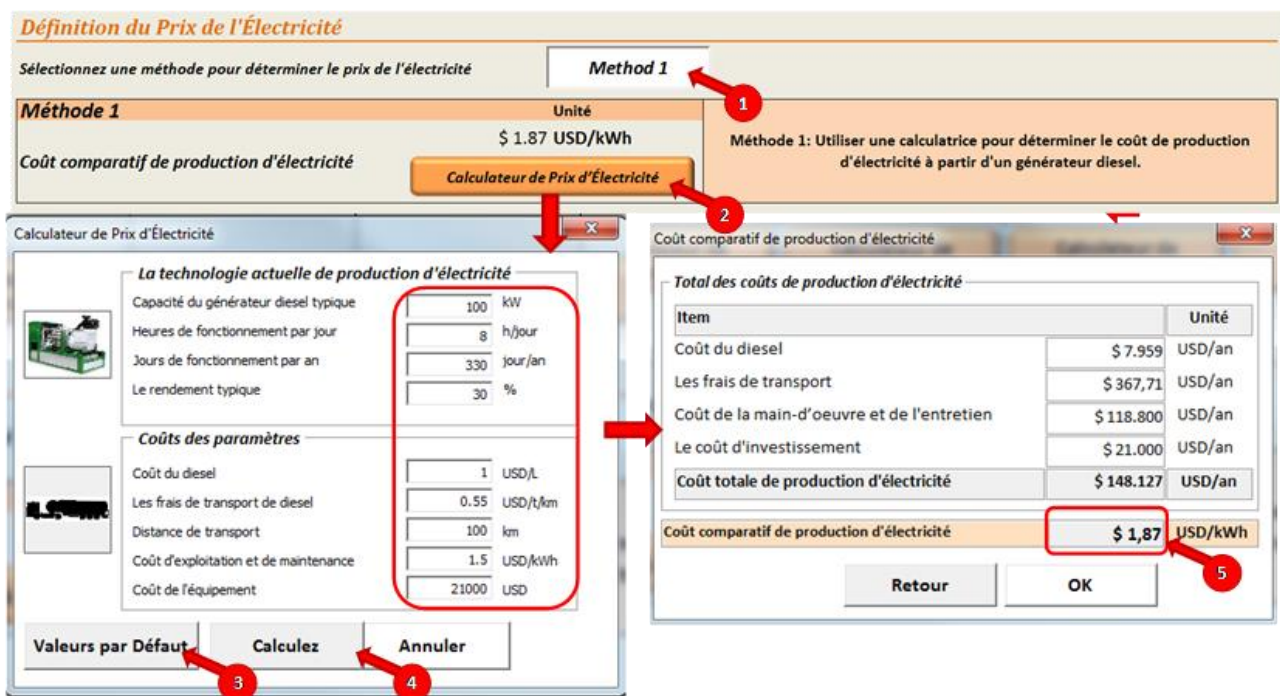


Figure 11: Prix de l'Électricité -Méthode 1

B. Méthode 2: Utiliser un prix de l'électricité identifié par l'utilisateur. L'utilisateur identifie un prix de l'électricité en USD/kWh. Ce prix peut être le prix actuel du réseau national ou le prix de l'électricité qui est produit à partir des options énergétiques décentralisées par exemple l'énergie solaire, les petites centrales hydroélectriques, etc. Pour utiliser cette analyse, l'utilisateur doit:

1. Sélectionner "Méthode 2" pour définir le prix de l'électricité (Figure 12, étiquette 1).
2. Entrez le prix de l'électricité payé par le client (Figure 12, étiquette 2).

Note: Ce prix pourrait inclure les subventions. Il est conseillé de prendre cela en considération et d'évaluer attentivement la probabilité que ce prix reflète le prix payé par les consommateurs ruraux.

Définition du Prix de l'Électricité

Sélectionnez une méthode pour déterminer le prix de l'électricité **Method 2**

Méthode 2	Unité	
Prix payé par le client	\$	0.13 USD/kWh

Méthode 2: Use an electricity price defined by the user. In the assessment, it is important to consider that this price might include subsidies.

Figure 12: Prix de l'Électricité - Méthode 2

Pour cet exemple, l'utilisateur peut utiliser le prix minimum de l'électricité payé par les clients qui est de 1.87 USD/kWh (résultat de la Méthode 1, comme indiqué dans la Figure 11) ou 0.13 USD/kWh (la Méthode 2 pour définir le prix payé par client comme le montre la Figure 12) pour des analyses ultérieures.

5.4 Étape 4: Coût de production et paramètres financiers

Les intrants généraux requis pour exécuter les opérations sont présentés sur la Figure 13. L'utilisateur devra fournir des données sur:

Coût de Production et Paramètres Financiers

Main d'oeuvre		Unité	Unité	
Ouvrier non qualifié	\$ 1.25	USD/personne-h	Ouvrier qualifié	\$ 2.00
Utilitaires		Unité	Unité	
Eau	\$ 0.47	USD/m ³	Diesel	\$ 1.00
==>Requis pour démarrer le moteur				
Collecte des matières premières		Unité	Unité	
Heures de travail par jour (manuel)	8	h/jour	Heures de travail par jour (mécanisé)	16
Frais de transport		Unité		
Matières premières (le point de collecte à la centrale)	\$ 0.09	USD/t/km		
Autres coûts		Unité	Unité	
Frais généraux et administratifs (%)	10%	Coût de maintenance (%)	25%	
Frais généraux de l'usine (%)	20%	Coût divers (%)	20%	
Paramètres financiers		Unité	Mise à jour des coûts d'investissement	
Taux d'escompte	10%		Indice du coût de la plante pendant 5/2014	157.30
Ratio du prêt	50%		http://base.intratec.us/home/ic-index	
Taux d'intérêt du prêt	12%			
Durée du prêt	5	année		

SUIVANT >> Sommaire des Résultats Comparatifs

SUIVANT >> Sommaire des Résultats par Matière Premières

Figure 13: Intrants Généraux

- Coût du travail (USD/heure-personne)** : le taux horaire pour les travailleurs qualifiés et non-qualifiés (USD/personne/heure). Ces paramètres sont nécessaires pour calculer le prix des matières premières (comme expliqué à l'étape 2.B) et le coût du travail du processus de gazéification.
- Coût des services publics** : le prix de l'eau (USD/m³) et du diesel (USD/litre) pour le démarrage.
- Collecte des matières premières** : ces paramètres sont nécessaires pour calculer le prix des matières premières, comme expliqué dans Étape 2.B. L'utilisateur entre les heures de travail requis pour le travail manuel et les heures de travail requises pour faire fonctionner la machine.
- Le coût de transport des matières premières (USD/t/km)** : le coût de transport de la matière première à partir de la collecte de points à l'usine de gazéification, l'utilisateur devra:

Note: Cela peut être basée sur les produits agricoles non transformés.

- Identifier les méthodes actuelles de transport pour acheminer les produits agricoles dans le pays.
- Définir les prix de transport actuels liés à la méthode de transport identifiés ci-dessus en USD/tonne/km.

Conseils: Si le mode de transport est par personne ou à vélo, l'utilisateur devrait estimer le coût en utilisant le coût du travail par heure, temps de travail, la quantité de matériaux qui peuvent être transportés et les kilomètres approximatifs qui peuvent être parcourus en vertu de la méthode choisie par l'équation suivante:

Les frais de transport (USD/tonne/km)

= Salaires horaires (USD/heure/personne) x temps de travail (heures)

Distance de transport (km) x transport matières premières (tonne/personne)

Alternativement, l'utilisateur peut inclure ce coût dans le coût de collecte de la matière première en ajoutant ceci au nombre de travailleurs à l'**Étape 2.B** (prix estimé de la matière première), puis entrer un coût nul pour le transport de la matière première à partir du point de la collecte à l'usine.

5. Autres coûts (%) : L'utilisateur saisit le pourcentage :

- Frais généraux et administratifs,
- Frais généraux de l'usine,
- Coût de maintenance et
- Coût divers.

Ces paramètres sont utilisés pour estimer le coût de production de l'électricité.

6. Paramètres financiers : L'utilisateur identifie les valeurs des paramètres financiers suivants:

- Taux d'escompte,
- Ratio du prêt,
- Taux d'intérêt du prêt,
- Durée de prêt (années) et
- L'index du coût d'usine

Les données de l'index du coût de l'usine pour le coût de l'équipement sont obtenues à partir de la documentation technique et basées sur les conditions techniques et économiques du passé. Par conséquent, l'indice Intratec Chemical Plant Construction (IC), un indice utilisé comme approximation pour mettre à jour les variations en capital des coûts d'une usine de produits chimiques qui tient compte de l'inflation/déflation des prix et des conditions économiques, est appliqué à l'outil BEFS RA. Cet indice est librement mis à jour et disponible sur (<http://base.intratec.us/home/ic-index>).

Pour cet exemple, les valeurs indiquées sur la Figure 13 ont été utilisées pour effectuer l'analyse.

5.5 Étape 5: Calcul du coût de production d'électricité

Après avoir saisi toutes les données nécessaires dans les Étapes 1 à 3, l'utilisateur clique sur le bouton "Coût de Production#" (Figure 14, étiquette 1).

Note: Cette section illustre également les budgets pour calculer les coûts de traitement. Ces calculs sont effectués automatiquement à l'aide des informations saisies par l'utilisateur dans les étapes précédentes. Ici, l'utilisateur peut les examiner (voir section 7.1 pour plus de détails).

SAISIE DE L'ÉLECTRICITÉ ET/OU DU CHAUFFAGE RURALE - GAZÉIFICATION

<< RETOUR Début
Entrer les Valeurs par Défaut
Effacer les Données
Description du Processus de Gazéification
Demande d'Énergie

Utilisez les cellules blanches pour entrer les données
Les cellules grises sont utilisées pour les calculs

Disponibilité et Coût des Matières Premières

	Matière première 1	Matière première 2	Matière première 3	Matière première 4
	manioc	maïs	noix de coco	palmier à huile
	tige	épi	écorce	coquilles
Matières premières				
Potentiel de matières premières (t/an)	2,500	3,500	3,000	1,000
Rendement de matières premières (t/ha)	80.00	90.00	100.00	110.00
Teneur en humidité	12%	15%	7%	8%
Dimension moyenne (mm)	77	59	56	61
Prix des matières premières (USD/t)	Calculateur de Prix 1	Calculateur de Prix 2	Calculateur de Prix 3	Calculateur de Prix 4
Utilisez la calculatrice de définition de prix	\$ 0.09	\$ -	\$ -	\$ -
Prix du marché (transport exclu)				
Coût de stockage des matières premières (USD/t)	\$ 3.0	\$ 3.0	\$ 3.0	\$ 3.0
	Calculateur de Stockage 1	Calculateur de Stockage 2	Calculateur de Stockage 3	Calculateur de Stockage 4

Coût de Production 1

Coût de Production 2

Coût de Production 3

Coût de Production 4

Figure 14: Calcul des Coûts de Production

Cela va amener l'utilisateur à la section du traitement de budget pour la matière première sélectionnée (Figure 15).

LES COÛTS DE TRAITEMENT POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE MANIOC TIGE

<< RETOUR Saisie de Données
Description du Processus de Gazéification
Demande d'Énergie
SUIVANT >> Sommaire des Résultats Comparatifs
SUIVANT >> Sommaire des Résultats par Matière Premières

Utilisez les cellules blanches pour entrer les données
Les cellules grises sont utilisées pour les calculs

Résumé des Matières Premières et du Stockage

Matières premières disponibles (t/an)	2500
Rendement de matières premières (t/ha)	80
Teneur en humidité (%)	12%
Dimension moyenne (mm)	77
Coût de stockage des matières premières (USD/t)	3

Calculateur de Prix 1
Calculateur de Stockage 1

Résumé des Paramètres Opérationnels

Type de gazogène	Descendante
Type de moteur à gaz	100% Syngas
Facteur d'utilisation des capacités	33%
Conversion d'énergie (kWh / kg charge)	0.91
CO (%Vol)	20%
CO ₂ (%Vol)	15%
H ₂ (%Vol)	18%
CH ₄ (%Vol)	7%
Perte de courant due aux opérations (%)	15%
Heures de fonctionnement par jour	8
Perte de courant dans le réseau de distrib. (%)	6%
Gas efficacité du moteur (%)	17%

Paramètres Financiers

Variation annuelle des prix (%)	0%
Taux d'intérêt du prêt (%)	12%
Ratio du prêt (%)	50%
Durée du prêt (années)	5
Taux d'escompte (%)	10%
Indice du coût de l'usine pendant 3/2015	157
Prix de l'électricité (USD/kWh) - calculée	\$ 1.87
Durée de vie du projet	20

Distance de Transport des Matières Premières		Quantité à Transporter		Distance de Transport des Matières Premières		Quantité à Transporter	
Dist. à la production à petite échelle (km)	1	Petite échelle (t/an)	222	Dist. à la production à grande échelle (km)	10	grande échelle (t/an)	2,222
Dist. à la production à moyenne échelle de support (km)	5	Moyenne échelle (t/an)	889	Frais de transport (USD/t/km)			\$ 0.09

Figure 15: Les Coûts de Traitement pour la Production d'Électricité

Dans cette feuille de calcul, l'utilisateur devra saisir des données supplémentaires dans les cellules blanches:

1. Pertes de courant due aux opérations (%): les pertes dues à un fonctionnement inapproprié de la gazéification du système-moteur. Ces pertes sont estimées à 15%. Cependant, l'utilisateur peut saisir directement son propre paramètre (Figure 15, étiquette 1).

Note: Il pourrait être dû au manque de contrôle et de surveillance des unités de mesure de pression de gaz, de la composition du gaz, des fuites d'air, ou à des températures qui réduisent la capacité de puissance de l'installation.

2. Heures de fonctionnement par jour: L'utilisateur saisit les heures d'opération par jour pour faire fonctionner le système de gazéification⁶. Les heures de fonctionnement quotidiennes sont utilisées pour calculer le total des heures annuelles d'exploitation et le facteur de capacité, en supposant que le système de gazéification fonctionne 365 jours par an (Figure 15, étiquette 1).

Conseils: Les horaires de fonctionnement doivent être liés à la demande d'électricité dans la zone rurale examinée. Par exemple, Les horaires de fonctionnement sont de six heures par jour dans la soirée pour répondre à la demande de l'éclairage dans les zones rurales A.

Conseils: La perte de puissance dans la distribution du réseau électrique pourrait être utilisée comme approximation.

3. Pertes de puissance dans le réseau de distribution (%):

L'utilisateur identifie la perte de courant (%) dans le réseau de distribution. Si cette information n'est pas facilement disponible, la base de données suivante peut être utilisée:

<http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>

(The World Bank, n.d.) (Figure 15, étiquette 1).

4. Gaz efficacité du moteur (%): Le type le rendement du moteur à gaz à l'aide de gaz de synthèse comme carburant est 13-28% (Arena, Di Gregorio, & Santonastasi, 2010). La valeur supposée est de 17% (Figure 15, étiquette 1).

Conseils: Les usines à petite échelle utilisent moins de biomasse par rapport aux moyennes et grandes usines. Par conséquent, la distance de transport pourrait être plus courte. Si la disponibilité de la biomasse dans ce zone est élevé et suffisante pour approvisionner toutes les échelles des usines de production, alors, les utilisateurs peuvent saisir la même distance de transport de matières premières pour toutes les échelles.

5. La distance de transport de la matière première à l'usine de gazéification: L'utilisateur identifie une distance estimée, en kilomètres, qui sera nécessaire pour le transport de la matière première. La distance de transport dépend de la disponibilité de la biomasse dans une zone particulière et la quantité de biomasse nécessaire pour chaque capacité de production (Figure 15, étiquettes 2 et 3).

Une fois toutes les informations saisies, l'utilisateur doit cliquer sur "<<RETOUR Saisie de Données" pour revenir sur la feuille de données intitulée "Saisie de Données". L'utilisateur peut procéder de la même manière pour toutes les matières premières.

⁶ Nouni, Mullick, & Kandpal, 2007

Pour cet exemple, le coût de "Production 1" et les valeurs de la "Tige de Manioc" ont été utilisés pour effectuer l'analyse:

Les pertes de puissance dues à l'exploitation (%):	15%
Les heures d'opération par jour:	8
Les pertes de puissance dans le réseau de distribution (%):	6%
L'efficacité du moteur à gaz (%):	17%

La distance de transport de la matière première à l'usine de gazéification:

Distance pour une usine à petite échelle:	1 km
Distance pour une usine à moyenne échelle:	5 km
Distance pour une usine à grande échelle:	10 km

Les quantités de transport qui sont générés automatiquement:

Usine à petite échelle:	222 tonnes par an
Usine à moyenne échelle:	889 tonnes par an
Usine à grande échelle:	2222 tonnes par an

Ces paramètres sont utilisés pour une analyse ultérieure.

6 Hypothèses et Limites de la Composante Gazéification

Avant de commencer l'analyse, l'utilisateur doit se familiariser avec les hypothèses et les limites de l'outil. Par conséquent, il devrait prendre ces limites en considération lors de l'analyse et surtout l'interprétation des résultats.

Les limites de la *Composante Gazéification* sont:

1. Trois capacités de gazéification sont considérées: 10kW, 40kW et 100kW.
2. Le type de gazogène utilisé est une gazéification descendante qui utilise l'air comme un agent de gazéification.
3. Il n'y a pas de catalyseur chimique dans le système de gazéification de biomasse.
4. Le moteur à essence utilise 100% de gaz de synthèse.
5. Une taille appropriée de matière première est de 20 à 80 mm et la teneur en humidité est inférieure à 15%.
6. La durée de vie est de 20 ans pour l'analyse financière.

Les détails sur les hypothèses clés et équations des calculs sont présentes en Annexe.

7 Les Résultats de la Composante Gazéification

7.1 Vue d'ensemble du calcul des coûts de production (facultatif)

Après avoir inséré toutes les données nécessaires (Étapes 1 à 5), l'utilisateur a le choix de revoir en détail les coûts de production comme montré dans la Figure 17. Cette feuille contient cinq principales sections, comme expliqué ci-dessous.

- **PARTIE 1** (Figure 17, étiquette 1) montre la répartition des coûts de production ainsi que les catégories suivantes : les intrants, la main-d'œuvre, le transport des matières premières, le stockage, l'investissement, les frais généraux de l'usine, les coûts généraux et administratifs, les

intérêts d'emprunt et l'impôt sur le revenu. Les coûts totaux de production (USD/an) de trois capacités de production d'énergie (tels que 10kW, 40kW et 100kW) sont présentés pour l'analyse comparative.

- **PARTIE 2** (Figure 17, étiquette 2) montre la production totale d'énergie, l'auto-utilisation de l'électricité et la perte de puissance dans le réseau de distribution dans l'unité de kWh/an. Ces valeurs sont utilisées pour le calcul du chiffre d'affaires de gazéification de la biomasse pour le système de production d'énergie. Les résultats sont présentés pour les trois capacités de production d'énergie.
- **PARTIE 3** (Figure 17, étiquette 3) montre le coût de l'électricité de l'unité (USD/kWh) pour les trois capacités de production d'électricité.
- **PARTIE 4** (Figure 17, étiquette 4) résume les détails du prêt, par exemple montant du prêt, les intérêts d'emprunt, le paiement annuel du prêt etc., pour l'analyse financière.
- **PARTIE 5** (Figure 17, étiquette 5) le bouton "analyse financière" va ouvrir la feuille de calcul avec le détail sur l'analyse financière pour chaque système de production d'énergie.

Détails des Coûts de Production

		Capacités (kW de production d'électricité)						
		10		40		100		
		Heures de fonctionnement par an 2,920		Heures de fonctionnement par an 2,920		Heures de fonctionnement par an 2,920		
		Analyse Financière de 10 kW		Analyse Financière de 40 kW		Analyse Financière de 100 kW		
Intrant	Unité	Prix unitaire (USD/Unité)	Quantité (Unité/an)	Total (USD/an)	Quantité (Unité/an)	Total (USD/an)	Quantité (Unité/an)	Total (USD/an)
Matières premières	t	\$ 0.1	222	\$ 21	889	\$ 82	2,222	\$ 206
Eau	m ³	\$ 0.5	3	\$ 1	11	\$ 5	27	\$ 13
Diesel pour démarrer	litre	\$ 1.0	55	\$ 55	219	\$ 219	548	\$ 548
Sous-total				\$ 77		\$ 306		\$ 766
Travail et le coût divers	Unité	Prix unitaire (USD/personne-heure)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)
Ouvrier non qualifié	# employé	\$ 1.3	1	\$ 3,650	3	\$ 10,950	6	\$ 21,900
Ouvrier qualifié	# employé	\$ 2.0	1	\$ 5,840	1	\$ 5,840	2	\$ 11,680
Coût divers			20%	\$ 1,898	20%	\$ 3,358	20%	\$ 6,716
Sous-total				\$ 11,388		\$ 20,148		\$ 40,296
Transport des matières premières	Unité	Prix unitaire (USD/t/km)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)
Matières premières (ferme à l'usine)	km	\$ 0.1	1	\$ 20	5	\$ 400	10	\$ 1,999
Sous-total				\$ 20		\$ 400		\$ 1,999
Stockage	Unité	Prix unitaire (USD/t)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)	Quantité (Unité)	Total (USD/an)
Matières premières	t	\$ 3.00	117	\$ 351	467	\$ 1,401	1,167	\$ 3,501
Sous-total				\$ 351		\$ 1,401		\$ 3,501
Investissement	Unité	Années	Total (USD)	Amortissement (USD/an)	Total (USD)	Amortissement (USD/an)	Total (USD)	Amortissement (USD/an)
Équipements	USD	20	\$ 58,937	\$ 2,947	\$ 183,260	\$ 9,163	\$ 208,186	\$ 10,409
Bâtiment	USD	20	\$ 3,044	\$ 152	\$ 9,349	\$ 467	\$ 23,640	\$ 1,182
Installation	USD	20	\$ 1,739	\$ 87	\$ 2,174	\$ 109	\$ 50,432	\$ 2,522
Réseau de distribution	USD	20	\$ 787	\$ 39	\$ 3,148	\$ 157	\$ 7,869	\$ 393
Investissement totaux			\$ 64,507		\$ 197,931		\$ 290,126	
			Total des amortissements	\$ 3,225	Total des amortissements	\$ 9,897	Total des amortissements	\$ 14,506
Coût de maintenance		25%		\$ 806		\$ 2,474		\$ 3,627
Sous-total				\$ 4,031.67		\$ 12,370.68		\$ 18,132.89
Autres coûts	Unité	Taux (%)	Total (USD/an)	Total (USD/an)	Total (USD/an)	Total (USD/an)	Total (USD/an)	
Frais généraux de l'usine	USD	20%	\$ 2,059	\$ 3,853	\$ 7,441			
Coût généraux et administratifs	USD	10%	\$ 1,433	\$ 2,678	\$ 5,213			
Intérêts du prêt (USD)	USD	12%	\$ 540	\$ 1,656	\$ 2,427			
Impôt sur le revenu	USD	0%	\$ -	\$ -	\$ -			
Sous-total			\$ 4,032	\$ 8,187	\$ 15,082			
			Total (USD/an)	Part (%)	Total (USD/an)	Part (%)	Total (USD/an)	Part (%)
Total des coûts d'opérations			\$ 11,836	59%	\$ 22,255	52%	\$ 46,562	58%
Total des coûts fixes			\$ 4,032	20%	\$ 12,371	29%	\$ 18,133	23%
Total des autres charges			\$ 4,032	20%	\$ 8,187	19%	\$ 15,082	19%
Total des coûts de production			\$ 19,899		\$ 42,813		\$ 79,777	

Production d'Électricité

	Unité	Quantité (Unité)	Quantité (Unité)	Quantité (Unité)
Production d'électricité	kWh/an	24,820	99,280	248,200
Électricité - utilisation autonome	kWh/an	-2,492	-9,928	-24,820
Perte de courant dans le réseau de distribution	kWh/an	-1,499	-5,957	-14,892
Sous-total		20,849	83,395	208,488

Coût Total de Production+Distribution

		Capacités (kW de production d'électricité)						
		10		40		100		
		Coût unitaire de l'électricité (USD/kWh)		Coût unitaire de l'électricité (USD/kWh)		Coût unitaire de l'électricité (USD/kWh)		
			\$ 0.95		\$ 0.51		\$ 0.38	
Intérêt moyen du prêt	Unité	Ratio du prêt (%)	Investissement total (USD)	Montant du prêt (USD)	Investissement total (USD)	Montant du prêt (USD)	Investissement total (USD)	Montant du prêt (USD)
Montant du prêt	USD	50%	\$ 64,507	\$ 32,253	\$ 197,931	\$ 98,965	\$ 290,126	\$ 145,063
Taux d'intérêt du prêt	%			12%		12%		12%
Paiement de prêt	USD/mois			\$ -717		\$ -2,201		\$ -3,227
Paiement annuel du prêt	USD/an			\$ -8,610		\$ -26,417		\$ -38,722
Durée du prêt	Années			5		5		5
Paiement total du prêt	USD			\$ -43,048		\$ -132,086		\$ -193,611
Intérêts du prêt (USD)	USD			\$ -10,794		\$ -33,120		\$ -48,548
Intérêt moyen du prêt	USD/			\$ -540		\$ -1,656		\$ -2,427

Figure 16: Détail des Coûts de Production de l'Électricité par Capacité de Production d'Électricité

Pour cet exemple, le coût total de production d'électricité de 10 kW à partir de la tige de manioc est de 19,899 USD/an et le coût unitaire de l'électricité est de 0.95 USD/kWh. La production totale d'énergie est 20,849 kWh/an (Figure 16).

7.2 Les résultats sommaires de la matière première

L'information présentée dans cette section vise à aider l'utilisateur dans le processus de prise de décision pour appuyer le développement de gazéification de la biomasse pour la production d'électricité dans leur pays. Les résultats visent à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les coûts d'investissement et de production par kWh pour les différentes capacités de production et les matières premières choisies ?
- Quelles superficies et quantités de biomasse sont requises pour assurer l'approvisionnement de biomasse nécessaire au développement des systèmes de combustion ?
- Dépendamment de la disponibilité en matière première, combien de centrales de gazéification peuvent être construites ?
- Quel est le nombre de ménages pouvant avoir accès à l'électricité par gazéification de la biomasse?
- Combien d'emplois peuvent être créés grâce au système de gazéification de la biomasse?
- Quel type de matière première devrait être encouragé pour le système de gazéification?
- Quel est l'analyse financière du système de gazéification?

Les résultats pour la *Composante Briquettes* sont divisés selon trois grandes catégories: les Coûts de Production et d'Investissements; les Résultats d'Exploitation ; et d'Analyse Financière.

1. L'utilisateur sélectionne d'abord la matière (Figure 17, étiquette 1) qui doit être examinée à partir du menu déroulant. Les résultats de cette matière première spécifique seront générés.
2. Les résultats du coût de production et les investissements sont présentés comme suit :
 - Le coût de production et de distribution d'électricité (USD par kWh) (Figure 17, étiquette 2). L'utilisateur peut comparer le coût de production au prix de l'électricité (selon la méthode sélectionnée dans l'Étape 3).
 - Part des coûts de production (%) (Figure 17, étiquette 3).
 - Le coût total de l'investissement (USD) du système de gazéification par la capacité de production d'électricité (Figure 17, étiquette 4).

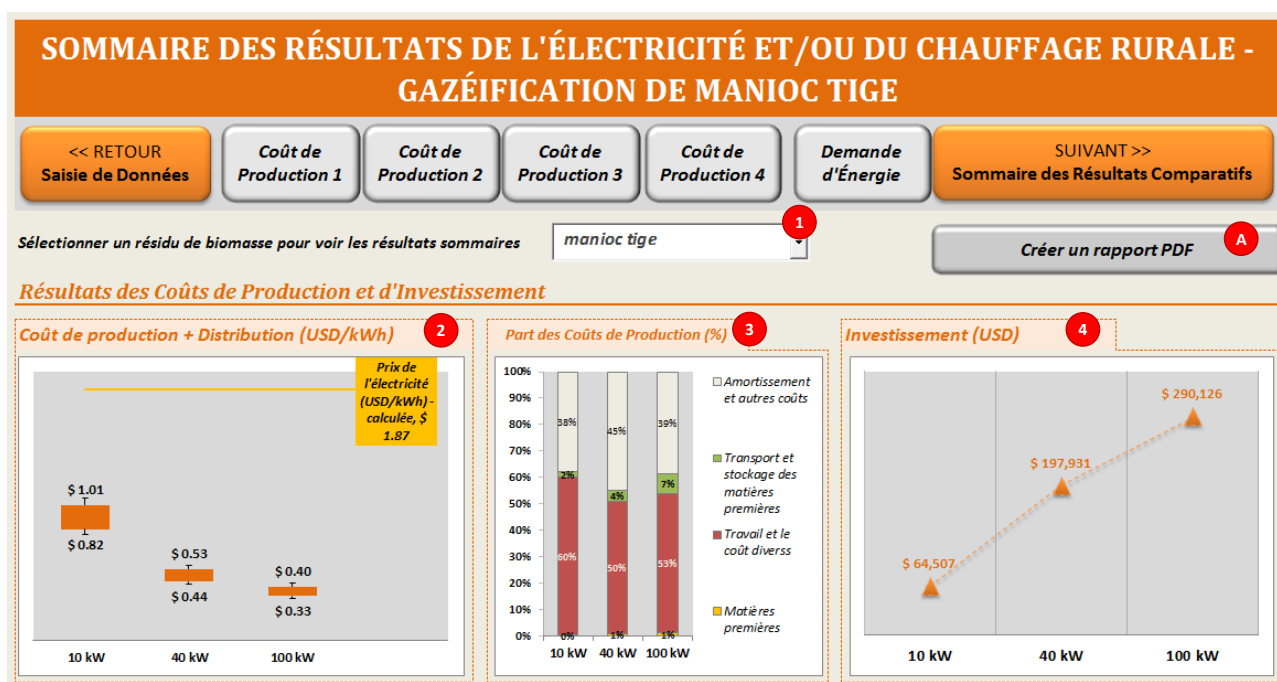


Figure 17: Les Résultats au Coût de Production et d'Investissement

Pour l'exemple de la tige de manioc, le coût de production inclus les coûts de distribution de 10 kW qui sont entre 0.82 à 1.01 USD/kWh. Ces coûts unitaires sont plus faibles que le prix de l'électricité de 1.87 USD/kWh (Méthode 1 à l'Étape 2 a été sélectionné). Par conséquent, cette usine représente un investissement potentiel et attrayant. Le coût d'investissement total de 10 kW est 64,507 USD. Pour d'autres capacités prédéfinies, se référer à la Figure 17.

3. Les résultats techniques et opérationnels sont présentés comme suit :

- La biomasse nécessaire pour faire fonctionner le système sélectionné (tonnes par an) (Figure 18, étiquette 1).
- Les exigences de l'aire du terrain pour produire suffisamment de biomasse pour utiliser le gazéificateur (ha) (Figure 18, étiquette 2).
- Le nombre d'usine de gazéification selon la disponibilité de la biomasse (Figure 18, étiquette 3).
- Le nombre de ménages approvisionnés par le système (Figure 18, étiquette 4).
- La création d'emplois totale par la mise en œuvre des systèmes prédéfinis de gazéification (Figure 18, étiquette 5).

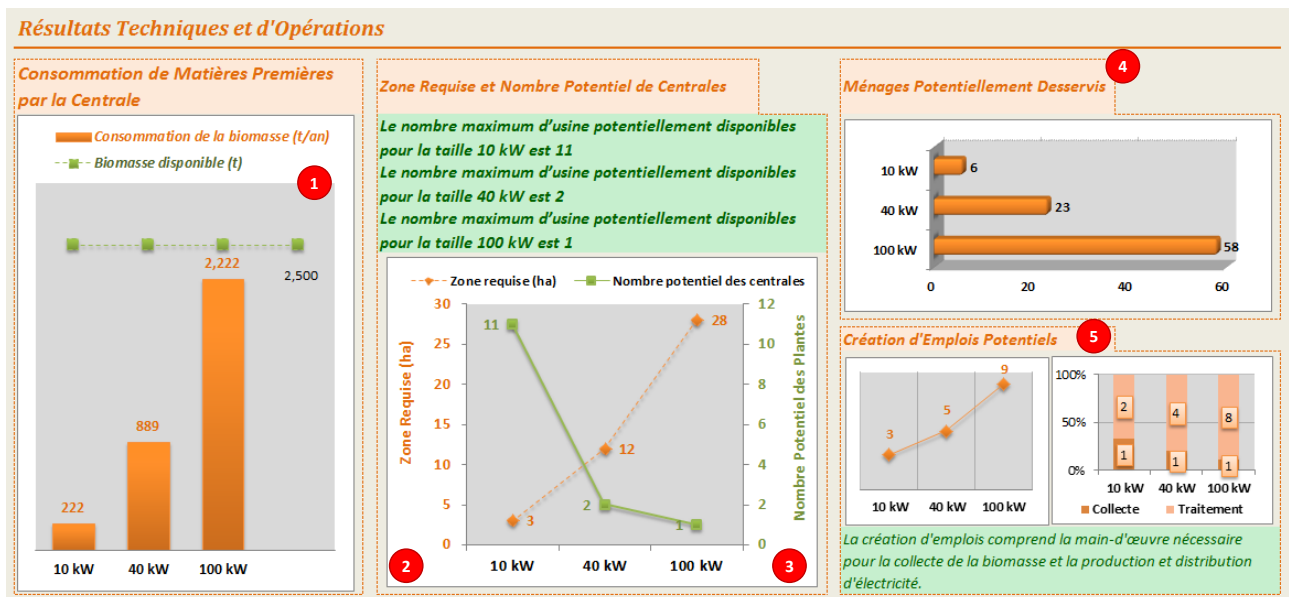


Figure 18: Les Résultats d'Exploitation

Pour l'exemple de la tige de manioc, la matière première disponible est de 2,500 tonnes par an, ce qui est suffisant pour alimenter toutes les capacités de production.

Selon la disponibilité des matières premières, il y aura 11 usines potentielles de capacité de 10 kW qui nécessiteront 3 hectares de matière première.

Il y a 25 ménages qui pourraient recevoir de l'électricité de la centrale de 10 kW.

La création potentielle d'emplois d'une usine de gazéification d'une capacité de 10 kW est de 3 emplois pour la collecte des matières premières et la transformation des usines.

Pour d'autres capacités prédéfinies se référer à la Figure 18.

4. Les résultats d'analyse financière (avant impôt) sont :
- Valeur Actuelle Nette (VAN) (Figure 19, étiquette 1)
 - Taux de Rendement Interne (TRI) (Figure 19, étiquette 2)

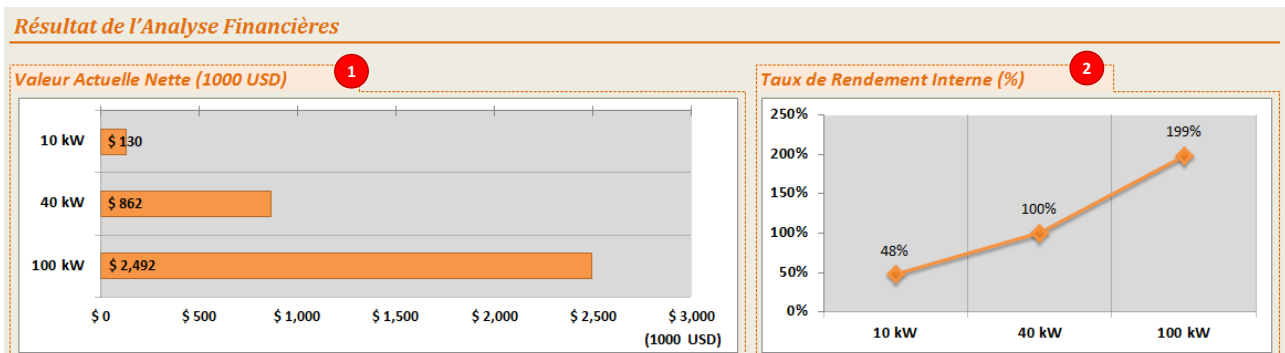


Figure 19: Résultats de l'Analyse Financière

Pour l'exemple de la tige de manioc, la valeur actualisée nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI) de toutes les capacités de l'usine sont positifs comme le montre la Figure 19.

Il peut être conclu que la tige de manioc est une option pour la production d'énergie pour toutes les capacités de l'usine.

L'utilisateur peut sauvegarder et imprimer les résultats en format PDF en utilisant "Créer un rapport PDF" et en suivant les instructions (Figure 17, étiquette A).

7.3 Le résumé des résultats comparatifs

L'information présentée dans cette section permet à l'utilisateur dans le processus de prise de décision d'évaluer le développement de la gazéification de la biomasse pour la production d'électricité dans les zones rurales à partir de quatre types de matières premières.

1. L'utilisateur commence par sélectionner la ressource de matières premières qu'il désire revoir en cliquant dessus. Les résultats concernant cette matière première lui seront fournis.
2. Les résultats de la comparaison sont présentés sur:
 - Comparaison des coûts de production par type de matière première (USD/kWh) (Figure 20, étiquette 1)
 - La production d'électricité nette et l'utilisation de la capacité par type de matière première (Figure 20, étiquette 2)
 - Nombre potentiel d'usine de gazéification par type de matière première (Figure 20, étiquette 3)
 - Comparaison VAN (avant impôt) à travers les options de matières premières (Figure 20, étiquette 4)
 - Comparaison TRI (avant impôt) à travers les options de matières premières (Figure 20, étiquette 5)

L'utilisateur peut sauvegarder et imprimer les résultats en format PDF en utilisant "Créer un rapport PDF" et en suivant les instructions (Figure 20, étiquette A).

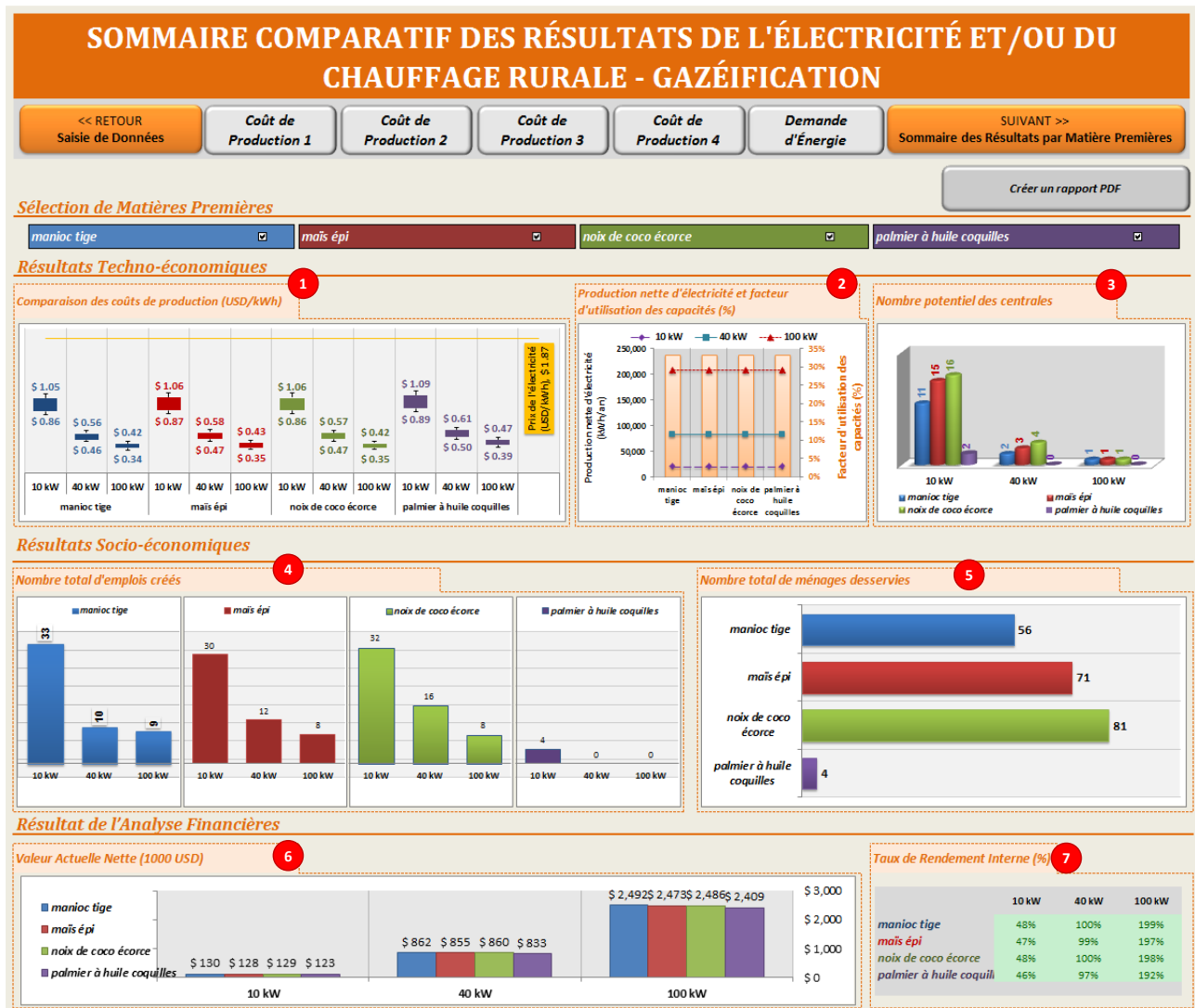


Figure 20: Mise En Page des Résultats Comparatifs

Pour l'exemple de la coquille de palmier à huile, le coût de production de l'électricité est plus élevé par rapport à d'autres matières premières pour toutes les capacités de l'usine. La tige de manioc, l'épi de maïs et la noix de coco ont le plus faible coût de production. Par contre, toutes les matières premières offrent une VAN et IRR positive comme le montre la Figure 20.

On peut conclure que:

1. La tige de manioc, l'épi de maïs et la noix de coco sont réalisables et disponibles pour la production d'énergie à toutes les capacités.
2. La coquille de palmier à huile est possible et disponible pour la production d'électricité à 10 kW ou 40 kW, mais pas suffisant pour la capacité de 100 kW.

8 Annexe

8.1 Méthodologie et résultats

Cette section décrit les méthodes intégrées dans la *Composante Gazéification*. Elle comprend également une description des équations qui appuient l'analyse. Les équations ne sont pas visibles pour l'utilisateur, mais leur structure et leur contenu peuvent être important pour ceux qui vont les mettre à jour et/ou travailler sur l'amélioration de l'outil.

8.1.1 Le calcul des coûts des intrants requis

Les intrants requis sont constitués du coût des matières premières (biomasse), du coût de l'eau et du coût de la consommation de carburant diesel pour le démarrage. Les équations utilisées pour effectuer les calculs des coûts pour ces éléments sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Équations des Coûts des Intrants

Article	Équation et Hypothèse	Remarque
Quantité de matière première	$QF = PG / [\text{rendement du moteur à gaz} \times PC \times (\text{pertes 1-puissance en raison de l'opération})]$ <p>où: QF est la quantité de matière première (tonne/an) PG est la production d'électricité (kWh/an) PC est le potentiel de conversion de puissance (en kWh/kg de matières premières)</p>	PC est modifié en fonction de la nature de la matière première Une perte de puissance due à l'exploitation est prise en compte à 15%.
La consommation d'eau	$WC = PG / WS$ <p>où: WC est la consommation d'eau (m³ par an) PG est la production d'électricité (kWh par an) WS est consommation spécifique d'eau (kWh par m³)</p>	La valeur par défaut de WS est 10,872.73 kWh/m ³ (Arena et al., 2010a)
La consommation de diesel pour le démarrage (système de gaz de synthèse à 100%)	$DC = 10\% \times PC \times OP/DS$ <p>où: DC est la consommation de diesel (litres/an) PC est la capacité de production d'électricité (kW) OP période d'opération (heures/année) DS est la consommation de diesel spécifique (kWh/litre)</p>	PC sont 10kW, 40kW et 100kW La valeur par défaut de l'OP est de 365 heures/an (1 heure/jour) La valeur par défaut de DS est 3,33.
Total des coûts des intrants	$TIC = (QF \times Cf) + (WC \times Cw) + (DC \times Cd)$ <p>où: TIC est le total des coûts des intrants (USD /an) QF est la quantité de matière première (tonne/ an) WC est la consommation d'eau (m³/an) DC est la consommation de diesel (litres /an) Cf est le coût unitaire de la matière première (USD /tonne) Cw est le coût unitaire de l'eau (USD par m³) Cd est le coût unitaire de diesel (USD par litre)</p>	Coût de l'oxygène comme agent de gazéification et la vapeur ne sont pas pris en compte dans cet outil.
La production d'électricité (PG) (kWh par an)	$\text{Capacité de puissance (kW)} \times \text{heures de fonctionnement/an}$ <p>Lorsque, Heures de fonctionnement par an = heures de fonctionnement par jour x 365 jours par an</p>	Heures de fonctionnement par an entrées par l'utilisateur.

Pour calculer la consommation de la biomasse comme matière première

La quantité de matières premières est calculée sur base de la production d'énergie en kWh/ an et la conversion de puissance de la biomasse à l'électricité à travers le système de gazéification.

$$\begin{aligned} \text{L'efficacité du moteur à gaz (\%)} &= \frac{\text{Extrant de puissance}}{\text{Intrant de puissance}} \\ &= \\ &= \frac{\text{capacité de puissance (kW)} \times \text{heures d'opération} \left(\frac{\text{h}}{\text{année}}\right)}{\text{Potentiel de conversion de puissance} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg biomasse}}\right) \times \text{consommation de biomasse} \left(\frac{\text{kg}}{\text{année}}\right)} \end{aligned}$$

où:

Potentiel de conversion de puissance =

$$\text{Pouvoir calorifique du gaz de synthèse} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3_{\text{syngas}}}\right) \times \text{gaz de synthèse à rendement en biomasse} \left(\frac{\text{m}^3_{\text{syngas}}}{\text{kg}_{\text{biomasse}}}\right) \times \frac{1\text{kWh}}{3.6 \text{ MJ}}$$

Par conséquent, la consommation de la biomasse (kg / an) est calculé par

$$= \frac{\text{La capacité de puissance (kW)} \times \text{heures d'opération} \left(\frac{\text{h}}{\text{année}}\right)}{\text{Potentiel de conversion de puissance} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg biomasse}}\right) \times \text{l'efficacité des moteurs à gaz (\%)}}$$

Toutefois, les "pertes de puissance dues au fonctionnement" doivent être prises en considération pour calculer la consommation de la biomasse (kg/an) basée sur la production d'énergie réelle. Ces pertes sont dues à une utilisation incorrecte du moteur du système de gazéification. Il s'agit notamment de l'absence de contrôle et de suivi des unités de mesure de pression à gaz, de la composition du gaz, des fuites d'air, ou à des températures etc. Par conséquent, ces causes conduisent à abaisser la puissance de la capacité de l'installation. Ces pertes sont estimées à 15%.

Donc, la consommation de la biomasse (kg/an) est calculé par

$$\begin{aligned} &= \\ &= \frac{\text{La capacité de puissance (kW)} \times \text{heures d'opération} \left(\frac{\text{h}}{\text{année}}\right)}{\text{Potentiel de conversion de puissance} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg biomasse}}\right) \times \text{l'efficacité des moteurs à gaz (\%)} \times (1 - \text{Les pertes de puissance dues à l'exploitation})} \\ &= \\ &= \frac{\text{La capacité de puissance (kW)} \times \text{heures d'opération} \left(\frac{\text{h}}{\text{année}}\right)}{\text{Potentiel de conversion de puissance} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg biomasse}}\right) \times \text{l'efficacité des moteurs à gaz (\%)} \times (85\%)} \end{aligned}$$

Pour calculer la consommation de diesel au démarrage

Figure 21 illustre un système de gazéification qui utilise 100% du gaz de synthèse pour la production d'électricité.

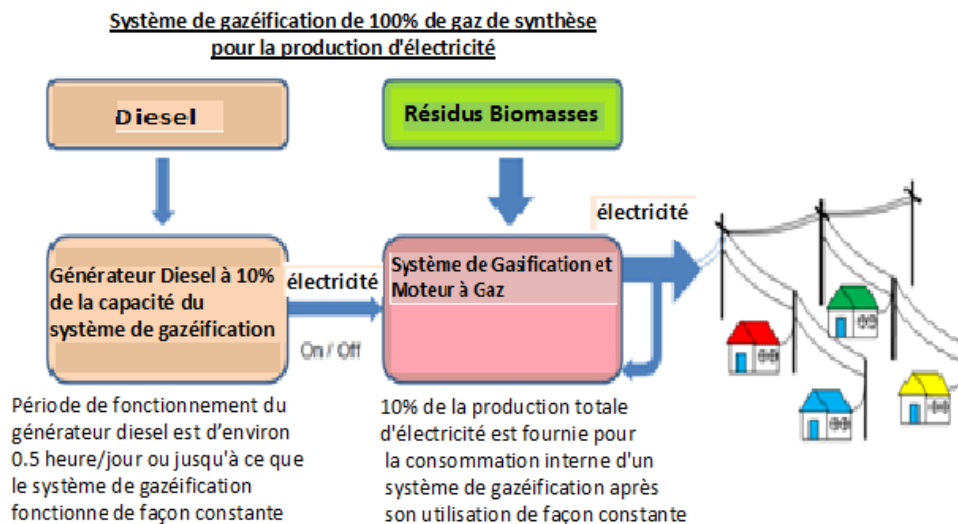


Figure 21 : Système de Gazéification de 100% de Gaz De Synthèse pour la Production d'Électricité

On suppose que la production d'électricité et l'offre aux ménages par ce système de gazéification est produit en utilisant 100% de gaz de synthèse. Le générateur diesel à 10% de la capacité totale de production d'énergie d'un système de gazéification est utilisé pour fournir la demande d'électricité interne pendant le démarrage du système de gazéification. Une fois que le système de gazéification fonctionne à l'état stable, la consommation d'électricité est alors décalée vers le mode de moteur à gaz et le moteur diesel est arrêté. L'heure de fonctionnement du moteur diesel devrait être seulement une demi-heure par jour pour répondre à toutes les exigences de puissance de démarrage du système de gazéification.

8.1.2 Calcul des coûts du travail obligatoire

Cette étape présente les équations et les hypothèses des calculs de la main-d'œuvre et les coûts divers en fonction de la capacité de production d'électricité, comme indiqué dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Travail et Équations de Coûts Divers

Article	Équation et Hypothèse	Remarque
Nombre de travailleurs non-qualifiés	1 personne pour la capacité de 10 kW 3 personnes pour la capacité de 40kW 6 personnes pour la capacité de 100 kW	(Nouni et al., 2007) (Dasappa, Subbukrishna, Suresh, Paul, & Prabhu, 2011)
Nombre de main-d'œuvre qualifiée	1 personne pour la capacité de 10 kW 1 personne pour la capacité de 40 kW 2 personnes pour la capacité de 100 kW	(Dasappa et al., 2011)
Coût du travail non-qualifié total (USD par an)	Le coût unitaire de la main-d'œuvre non qualifiée x nombre de travailleurs non qualifiés x heures de fonctionnement par an	Le coût unitaire de la main-d'œuvre non-qualifiée (USD / personne / heure) Intrant entré par l'utilisateur dans "saisies de données" Les heures d'opération par an sont les mêmes que celles utilisées dans le Tableau 3.
Coût de main-d'œuvre qualifiée totale (USD par an)	Le coût unitaire de main-d'œuvre qualifiée x nombre de qualifiés travail x heures de fonctionnement par an	Le coût unitaire de main-d'œuvre qualifiée (USD / personne / heure) Intrant entré par l'utilisateur dans "saisies de données" Les heures d'opération par an sont les mêmes que celles utilisées dans le Tableau 3.
Coût Divers (USD par an)	Pourcentage du coût divers (%) x (coût total de la main-d'œuvre non-qualifiée + coût total de main-d'œuvre qualifiée)	Pourcentage de l'apport de divers coûts par utilisateur. La valeur par défaut est de 10%

Le coût total du travail (USD par an)	Coût total de la main d'œuvre non-qualifiée + Coût total de la main d'œuvre qualifiée + coût divers
---------------------------------------	---

Notez que les frais divers comprennent les prestations de travail, de santé et d'assurance-vie, les fournitures d'exploitation et / ou les frais de laboratoire (le cas échéant).

8.1.3 Le calcul des coûts de transports requis

Cette étape présente les équations de calcul des coûts de transport, comme indiqué dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Équations de Coûts de Transport des Matières Premières

Article	Équation et Hypothèse	Remarque
Transport de matières premières (du champ à l'usine) (USD par an)	coût unitaire de transport X la distance de transport x QF Où: QF est quantité de matière première (tonne par an)	Coût de transport unitaire (USD/tonne/km) et la distance de transport (km) entré par l'utilisateur QF est calculé dans le tableau 3

8.1.4 Le calcul des coûts de stockage

Le Tableau 6 présente les équations de calcul pour estimer le coût de stockage.

Tableau 6 : Équations de Coûts de Stockage

Article	Équation et Hypothèse	Remarque
Capacité de stockage (tonne/an)	estimation de la capacité de stockage dans la feuille de calcul en appuyant sur le "calculateur de stockage"	
Les frais de stockage (USD par an)	Capacité de stockage x coût unitaire de stockage	Coût unitaire de stockage (USD/tonne) est entré par l'utilisateur sur la base des orientations fournies dans le manuel.

8.1.5 Calcul de coût fixe

Le coût fixe est constitué des coûts associés avec les équipements, la construction, l'installation et la distribution. Le Tableau 7 présente les équations et les hypothèses utilisées pour calculer le coût fixe et le coût d'amortissement.

Tableau 7 : Équations des Coûts Fixes

Articles	Équation et Hypothèse	Remarque
Le Coût des Équipements (CE) (USD)	La base de données de détail des coûts des équipements (CE) (USD) est fournie et ajustée en tenant compte de l'équipement de remplacement qui a une durée de vie inférieure à la durée de vie du projet. Le coût se compose du processus de prétraitement, du système de gazéification de la biomasse, du système de nettoyage des gaz, du système de moteurs à gaz. CE à la période actuelle = CE (année de référence) x [indice du coût de l'usine (période en cours) / Indice du coût de l'usine (année de base)]	(Nouni et al., 2007)(Buchholz et al., n.d.) Indice du coût de l'usine (période en cours) entré par l'utilisateur

Coût de Construction (BC) (USD)	La base de données du coût de construction d'un système de gazéification, du moteur à gaz, d'une piscine d'eau et de travaux de génie civil est fournie. BC à la période actuelle = BC (année de référence) x [indice du coût de l'usine (période en cours) / Indice du coût de l'usine (année de base)]	(Nouni et al., 2007)(Buchholz et al., n.d.) Indice du coût de l'usine (période en cours) entré par l'utilisateur
Coût d'installation (IC) (USD)	La base de données du coût sur l'étude de faisabilité, le développement et l'ingénierie, l'installation, le montage, la mise en service, formation, port, douane, assurance, dégagement, etc. est fournie. IC à la période actuelle = IC (année de référence) x [indice du coût de l'usine (période en cours) / Indice du coût de l'usine (année de base)]	(Nouni et al., 2007)(Buchholz et al., n.d.) Indice du coût de l'usine (période en cours) entré par l'utilisateur
Coût du réseau de distribution (USD)	$(27,1 \times \text{capacités de la puissance (kW)}) + (7,5 \times 10 \times \text{Nombre de ménages d'accéder électricité})$ où: Raccordement et mise à la terre: 27.1 USD / kW. Câble électrique primaire: 7,5 USD / m moyenne de la longueur du câble électrique: 10 m / ménage	(Bouffaron, Castagno, & Herold, 2012)(Wiskerke, Dornburg, Rubanza, Malimbwi, & Faaij, 2010)
L'investissement total (USD)	Coût de revient du coût de l'équipement + construction + Installation + coût du réseau de distribution	
L'amortissement du matériel (USD par an)	Coût de l'équipement, divisé par la durée de vie du projet	Méthode de calcul de l'amortissement linéaire
L'amortissement du bâtiment (USD par an)	Coût de construction divisé par la durée de vie du projet	Méthode de calcul de l'amortissement linéaire
L'amortissement de l'installation (USD par an)	Coût d'installation divisé par la durée de vie du projet	Méthode de calcul de l'amortissement linéaire
L'amortissement du réseau de distribution (USD par an)	Coût du réseau de distribution divisé par la durée de vie du projet	Méthode de calcul de l'amortissement linéaire
Total des amortissements (USD par an)	Amortissement de l'Équipement + Amortissement du bâtiment	Méthode de calcul de l'amortissement linéaire
Le coût d'entretien (USD par an)	Pourcentage du coût d'entretien (%) x Total des amortissements	Pourcentage de l'apport de coûts d'entretien par l'utilisateur
Total du coût fixe (USD par an)	Amortissements du réseau de distribution + amortissement de l'Installation	

Notez: L'indice du coût de l'usine est utilisé pour mettre à jour les coûts des équipements, la construction et de l'installation à la période actuelle. Pour plus d'informations visitez: http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_plant_cost_indexes. L'hypothèse de cet outil est que l'indice du coût de l'usine peut être appliqué à tout type et taille d'usine. Il fournit une approximation acceptable de mise à jour des coûts d'investissement.

8.1.6 Calcul des autres coûts

Les frais généraux de l'usine sont définis comme des frais de production des services, des installations et des salaires. Les coûts généraux et administratifs comprennent les loyers, les assurances, les salaires des gestionnaires, d'administrateurs et de la direction. Le Tableau 8 montre les formules permettant de calculer les coûts associés avec les frais généraux de l'usine, le coût général et administratif, le paiement moyen des intérêts des prêts et impôt sur les sociétés.

Tableau 8 : Équations des Autres Frais

Article	Équation et Hypothèse	Remarque
Frais généraux d'usine (USD par an)	Pourcentage des frais généraux de l'usine (%) x (coût du travail total + coût d'entretien)	Pourcentage de l'apport de frais généraux de l'usine saisi par l'utilisateur. La valeur par défaut est de 30%.
Coût généraux et administratifs (USD par an)	Pourcentage des frais généraux et administratifs (%) x (coût totale des intrants+ coût du travail + coût totale d'entretien + frais généraux d'usine)	Pourcentage des coûts généraux et administratifs saisi par l'utilisateur. La valeur par défaut est de 5%.
Moyenne des paiements des intérêts du prêt (USD par an)	<p>Montant du prêt = taux de prêt (%) x coût total de l'investissement</p> <p>Paiement du prêt (USD / mois) = PMT ([intérêt du prêt /12], [Durée du prêt 12x], le montant du prêt)</p> <p>Paiement annuel du prêt = paiement du prêt (USD / mois) x 12 mois</p> <p>Paiement total du prêt = paiement du prêt annuel x termes du prêt</p> <p>Paiement des intérêts du prêt = paiement total du prêt - Montant du prêt</p> <p>Paiement moyen des intérêts du prêt = paiement des intérêts du prêt divisé par la durée de vie du projet</p>	PMT est une fonction financière dans Microsoft Excel pour le calcul du paiement d'un prêt basé sur des versements fixes et un taux d'intérêt constant.

8.1.7 Le coût total des coûts de production et l'unité de calcul de l'électricité

Le Tableau 9 présente les équations de calcul des coûts totaux d'exploitation, les coûts fixes totaux, et le total des autres coûts. Les résultats définitifs de ces coûts sont utilisés pour calculer le coût total de production d'électricité et le coût unitaire de production par kWh.

Tableau 9 : Équations des Totaux des Coûts de Production

Articles	Équation et Hypothèse	Remarque
Total des coûts d'exploitation (USD par an)	coût annuel des intrants + coût du travail annuel +frais annuel de transport + coût annuel de stockage	
Total des frais fixes (USD par an)	l'amortissement des coûts fixes + coût d'entretien annuel	
Total des autres coûts (USD par an)	frais généraux plante annuelle + frais généraux et d'administration annuel + le paiement du prêt annuel + impôt sur le revenu annuel	
Total du coût de production (USD par an)	Total des coûts d'exploitation + Total des coûts fixes + total Autres coûts	
Le coût de production du kWh	Coût de production total divisé par la production d'électricité	L'équation de production d'électricité (kWh par an) est présentée dans le Tableau 3

8.1.8 Calcul du chiffre d'affaires du projet

Le Tableau 10 présente les équations pour calculer les revenus potentiels du système de gazéification.

Tableau 10 : Équations des Revenus Potentiels

Articles	Équation et Hypothèse	Remarque
Revenus potentiels (USD par an)	[production d'énergie – utilisation propre d'électricité - perte de puissance dans le réseau de distribution] x prix de l'électricité Lorsque, La perte de puissance dans le réseau de distribution (%) x production d'électricité	Production de courant est la même que dans le tableau 3. Auto-utilisation d'électricité (kWh par an) consomme 10% de la production d'électricité. La répartition de la perte de puissance est entrée par l'utilisateur dans l'étape 4.
Prix de l'électricité (USD / kWh)	L'utilisateur sélectionne l'option: la méthode 1 ou 2 pour définir le prix de l'électricité payé par le client	Les données sont saisies par l'utilisateur

8.2 Les données requises pour utiliser l'outil

Le Tableau 11 comprend les exigences de données pour l'utilisation de la *Composante Gazéification*.

Tableau 11 : Les Données Requises pour Exécuter l'Outil

Données	Définition et Sources
Biomasse et son résidu	L'utilisateur sélectionner la biomasse / cultures et son résidu pour l'analyse
Prix des matières premières	Si le prix de la matière première n'est pas disponible, l'utilisateur a besoin d'information sur les salaires horaires pour les travailleurs qualifiés et non-qualifiés (USD/employé/heure) et la consommation de carburant des machines généralement utilisées dans des opérations agricoles ou forestiers ou calculer une approximation de cette valeur.
Prix de l'eau	L'utilisateur saisit le prix actuel de l'eau (USD/m ³)
Prix de Diesel	L'utilisateur entre le prix actuel du diesel (USD/litre)
Coût de stockage de matières premières (USD la tonne).	L'utilisateur identifie le coût de stockage de la matière première. L'utilisateur peut saisir les prix courants sur le stockage des produits agricoles dans le pays.
La sécurité du taux de stockage des matières premières taux (%)	L'utilisateur a défini cette valeur en la saisissant dans chaque calculateur de stockage de biomasse. Cette valeur définit le pourcentage de la biomasse qui devrait être réservé à exploiter la

	centrale pendant les périodes de pénurie.
L'utilisateur sélectionne l'option pour identifier le prix de l'électricité payé par le client (USD / kWh).	Le prix de l'électricité peut être le prix pour le réseau national ou le prix de l'électricité qui est produite par d'autres sources d'énergie, comme le générateur diesel, l'énergie solaire, l'hydroélectricité, le gaz naturel, etc. Pour estimer le prix de l'électricité en utilisant un générateur diesel, l'utilisateur entre la capacité du générateur diesel (kW), les heures de fonctionnement par jour, les jours de fonctionnement par an, les coûts de transport ainsi que la distance parcourue pour le transport, y compris la main-d'œuvre et les coûts d'entretien dans le "Calculateur de prix de l'électricité".
Coût du travail	Travailleurs qualifiés et non-qualifiés en USD/employé/heure.
Les heures de travail pour la collecte des matières premières	Les heures de travail pour la collecte de matières premières pour la méthode manuelle et mécanisée.
Le coût du transport de la matière première (du point de la collecte (champ) à l'usine /) en USD par tonne et par km.	Le coût du transport de la matière première à partir du point de collecte (ou champ) à l'usine de gazéification, l'utilisateur entre le coût du transport en USD/tonne/km. Si le transport se fait à pied ou à vélo, l'utilisateur peut inclure ce coût dans le coût de la collecte de la matière première. Alternativement, l'utilisateur estime le coût en utilisant le coût du travail par heure, le temps de travail, la quantité de matériau qui peut être transportée et les kilomètres approximatifs qui peuvent être parcourus en vertu de la méthode choisie
La distance pour le transport de la matière première à l'usine de gazéification en kilomètres par la capacité de production d'électricité	La distance de transport est déterminée sur la base de la disponibilité de la biomasse dans une zone particulière par rapport à la quantité nécessaire pour faire fonctionner chacun de la capacité de production d'énergie.
Les heures d'ouverture par jour pour le système de gazéification.	L'utilisateur doit fournir une estimation du nombre d'heures par jour durant lequel le système est supposé fonctionner. La plupart de la littérature indique que les systèmes de gazéification sont utilisés que pour quelques heures pendant la journée. Dans les cas où les systèmes de gazéification fournissent seulement de l'électricité domestique ils sont en fonction que pendant quatre heures et généralement la nuit. L'utilisateur peut avoir envie de déterminer cette valeur en fonction des demandes d'énergie potentielles.
La perte de puissance dans le réseau de distribution (%).	Cette information peut être la perte actuelle de courant dans le réseau électrique national. Un lien est prévu pour accéder à une base de données mondiale de la Banque mondiale qui compile les pertes de distributions nationales. S'il vous plaît visitez: http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS
La perte de puissance due à l'exploitation (%).	L'utilisateur estime les pertes dues à l'opération. Ces pertes sont dues à une utilisation incorrecte du système de gazéification-moteur. Il s'agit notamment de l'absence de contrôle et de suivi des unités de mesure de pression de gaz, la composition du gaz, les fuites d'air, ou à des températures etc.
L'efficacité du moteur à gaz (%)	Ce paramètre est fourni par le fabricant du moteur à gaz.

Paramètres des coûts	Pourcentage du coût de l'installation, le coût généraux et administratifs, les coûts d'entretien et les coûts divers.
paramètres financiers	Taux d'inflation (%) Taux d'actualisation (%) Ratio de l'emprunt (%) Taux d'intérêt du prêt (%) Durée du prêt (années), Indice du coût de l'usine http://base.intratec.us/home/ic-index
La demande d'électricité par ménage.	L'utilisateur saisit des données du module «Situation du Pays». La consommation d'électricité sera estimée en fonction du type d'appareils généralement utilisés dans un ménage rural, la quantité de ces appareils par ménage rural et la moyenne des heures de fonctionnement des appareils. Notez que cette valeur sera utilisée comme une approximation pour déterminer le nombre de foyers potentiels qui peuvent être électrifiés. Une analyse plus détaillée et localisée en fonction des profils de la demande d'énergie et le cadre de temps devra être réalisée pour la planification et la mise en œuvre d'un système de gazéification adéquat.

9 Références

- Arena, U., Di Gregorio, F., & Santonastasi, M. (2010a). A techno-economic comparison between two design configurations for a small scale, biomass-to-energy gasification based system. *Chemical Engineering Journal*, *162*(2), 580–590. doi:10.1016/j.cej.2010.05.067
- Arena, U., Di Gregorio, F., & Santonastasi, M. (2010b). A techno-economic comparison between two design configurations for a small scale, biomass-to-energy gasification based system. *Chemical Engineering Journal*, *162*(2), 580–590. doi:10.1016/j.cej.2010.05.067
- Bouffaron, P., Castagno, F., & Herold, S. (2012). Straight vegetable oil from *Jatropha curcas* L. for rural electrification in Mali – A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy*, *37*, 298–308. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411005964>
- Buchholz, T., Silva, I. Da, & Furtado, J. (n.d.). Electricity from wood-fired gasification in Uganda – a 250 and 10kW case study. Retrieved from <http://www.strathmore.edu/pdf/duel0&250-kW-gasifier-Buchholz-DaSilva-Furtado.pdf>
- Cummer, K. R., & Brown, R. C. (2002). Ancillary equipment for biomass gasification, *23*, 113–128.
- Dasappa, S., Subbukrishna, D. N., Suresh, K. C., Paul, P. J., & Prabhu, G. S. (2011). Operational experience on a grid connected 100kWe biomass gasification power plant in Karnataka, India. *Energy for Sustainable Development*, *15*(3), 231–239. doi:10.1016/j.esd.2011.03.004
- EPA. (2007). Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies. *U. S. Environmental Protection Agency*, (September). Retrieved from www.epa.gov/chp/documents/biomass_chp_catalog.pdf
- Göransson, K., Söderlind, U., He, J., & Zhang, W. (2011). Review of syngas production via biomass DFBGs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 482–492. doi:10.1016/j.rser.2010.09.032
- Jain, B. (2008). PROJECT DESIGN DOCUMENT (PDD): GCL biomass gasification based power generation. *CDM-Executive Board, UNFCCC*, (March).
- Nouni, M. R., Mullick, S. C., & Kandpal, T. C. (2007). Biomass gasifier projects for decentralized power supply in India: A financial evaluation. *Energy Policy*, *35*(2), 1373–1385. doi:10.1016/j.enpol.2006.03.016
- Patel, B., Gami, B., & Bhimani, H. (2011). Improved fuel characteristics of cotton stalk, prosopis and sugarcane bagasse through torrefaction. *Energy for Sustainable Development*, *15*(4), 372–375. doi:10.1016/j.esd.2011.05.002
- The World Bank. (n.d.). Electric power transmission and distribution losses (% of output). Retrieved from <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>
- Wiskerke, W. T., Dornburg, V., Rubanza, C. D. K., Malimbwi, R. E., & Faaij, a. P. C. (2010). Cost/benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(1), 148–165. doi:10.1016/j.rser.2009.06.001