



W O I M A

CORPORATION

ÉTUDE DE CAS



VALORISATION ÉNERGÉTIQUE
DE DECHETS DECENTRALISÉE
NAIROBI KENYA

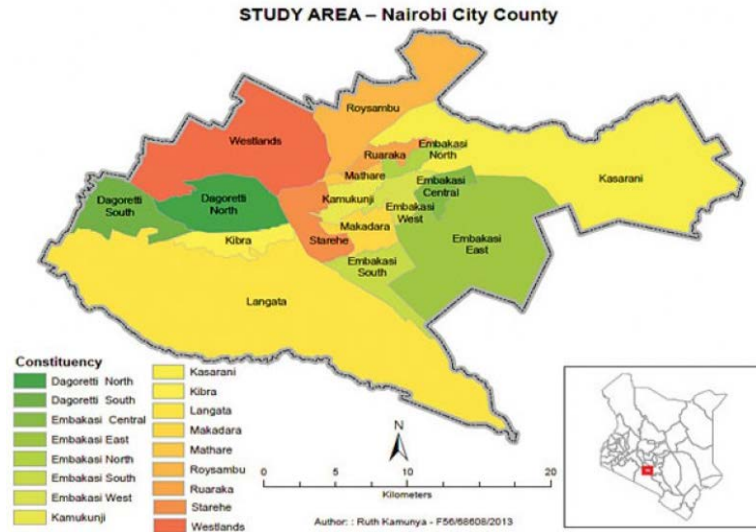




Contexte

La ville de Nairobi est la capitale de la République du Kenya et le plus grand centre administratif, commercial et industriel du pays. Nairobi a connu une croissance démographique rapide due en grande partie à l'exode rurale et au taux de croissance naturel. On estime la population actuelle à 3,5 millions d'habitants, et elle devrait passer à 6,0 millions d'ici 2030. Le taux actuel de production de déchets est de 2 500 tonnes par jour, qui passeront à 4 000 tonnes d'ici 2030. Les principaux moteurs de l'augmentation des gisements de déchets sont les suivants :

- croissance démographique
- amélioration du niveau de vie
- urbanisation rapide
- absence de mise en œuvre du concept des 3R (réduire, réutiliser, recycler)



Nairobi est divisée en 17 sous-régions de taille différente, chacune générant à peu près la même quantité de déchets (130 à 170 tonnes par jour). Environ la moitié de la production actuelle de déchets solides n'est pas collectée, ou déversée illégalement dans le périmètre de la ville. Les déchets résiduels sont eux déversés à la décharge de Dandora, qui avec une superficie de 42 ha, est presque saturée.

Dandora est un site d'enfouissement insalubre ouvert situé juste à côté de la rivière Nairobi, ce qui nuit considérablement aux conditions d'hygiène, d'environnement et d'esthétique des habitants de la ville de Nairobi. Il est prévu de fermer le site et d'ouvrir un nouveau site d'enfouissement salubre en banlieue de la ville au cours des prochaines années.

La vision stratégique du programme Kenya Vision 2030 ambitionne de promouvoir au Kenya un environnement propre, sécurisé et durable d'ici 2030. Pour ce faire, il est primordial de réduire la pollution et d'améliorer la gestion des déchets.

L'objectif de cette étude de cas est de démontrer comment une solution de gestion décentralisée des déchets et de production d'électricité pourrait permettre à la ville Nairobi d'atteindre son objectif stratégique à un coût minimal. Cela éviterait de recourir à un nouveau site d'enfouissement et générerait des avantages secondaires importants pour la santé publique, l'environnement et les changements climatiques.

Sous-comté	Quantité de déchets génère par jour (kg)
Kamukunji	169 000
Embakasi South	160 000
Kasarani	159 000
Ruarake	155 000
Mathare	154 000
Roysambu	153 000
Embakasi Central	148 000
Langata	148 000
Dagoretti North	146 000
Embakasi North	145 000
Dagoretti South	144 000
Embakasi West	144 000
Kibra	142 000
Westlands	141 000
Starehe	132 000
Embakasi East	131 000
Makadara	128 000

Methodologie

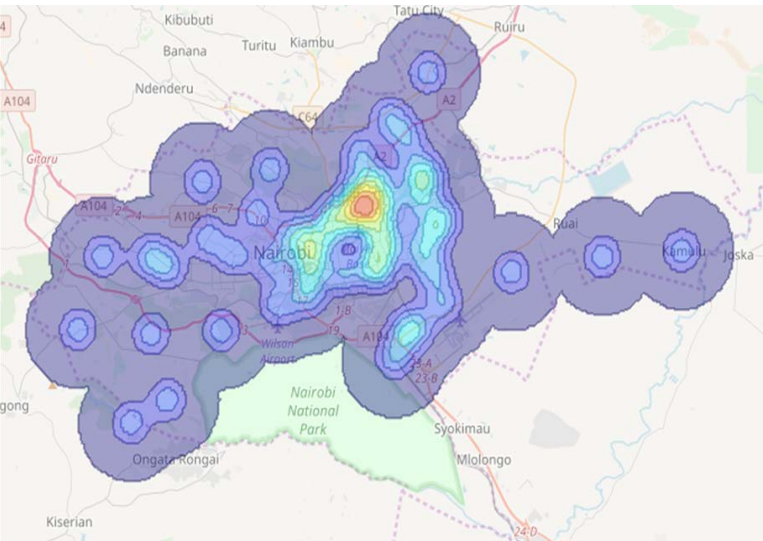
L'étude compare deux scénarios de valorisation énergétique des déchets dans la ville de Nairobi :

1. Une installation centralisée de valorisation des déchets
2. Un Modèle décentralisé, où de petites installations de valorisation énergétique des déchets sont construites dans six localités proches des gisements de déchets solides

Les questions de l'étude sont :

1. Quelles sont les économies de transport de déchets ?
2. Quelles sont les économies de transport d'énergie ?
3. Quelles sont les économies d'émissions de carbone ?

Deux dates (2018 et 2030) sont sélectionnées pour souligner l'importance de la croissance démographique et de la demande en énergie. On suppose que tous les déchets solides peuvent être collectés et livrés aux installations.



L'étude prend en compte les impacts CAPEX et OPEX dans chaque scénario.

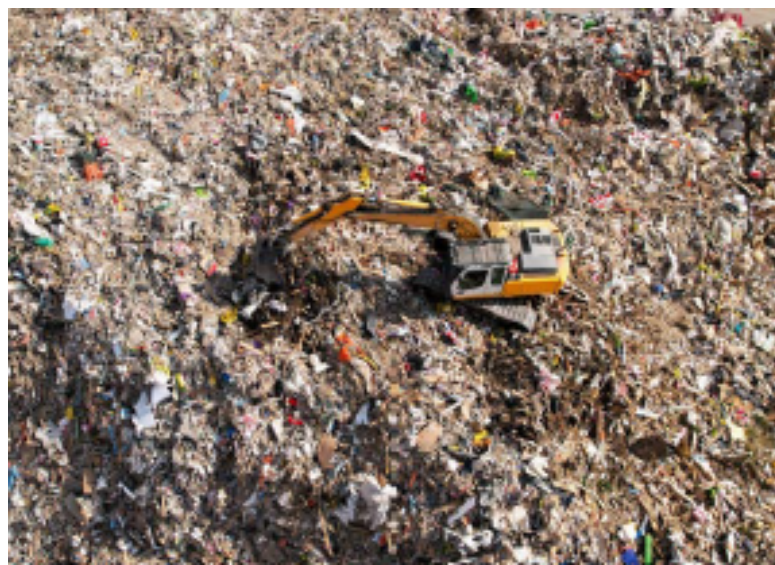
Dans chaque sous-région, trois points de collecte sont logiquement choisis près des routes principales, comme indiqué dans la carte thermique ci-dessus. On suppose que chaque point de collecte reçoit une quantité égale de déchets dans la sous-région.

L'installation centralisée de valorisation des déchets est située sur le site de décharge actuel de Dandora. Sur les six installations décentralisées de valorisation énergétique des déchets, une est située à Dandora et les cinq autres sont installées autour de la ville en fonction de la disponibilité des terrains, des itinéraires du réseau de transport d'énergie et de la structure de production des déchets.

Les économies de transport sont calculées en utilisant Open Door Logistics, (Logistique à Porte Ouverte), un programme de calcul et de planification de l'acheminement des déchets analysant :

- les coûts de carburant
- les coûts de main-d'œuvre
- frais de service et de maintenance
- frais administratifs
- dépréciation des véhicules de transport

Les économies de transmission d'électricité sont calculées en utilisant le coût estimé des nouvelles lignes de transmission, et des sous-stations pour les deux modèles. La capacité de production nette est estimée à 40 MW_e en 2018 et à 65 MW_e en 2030.



Les émissions de carbone résultant du transport des déchets sont calculées à l'aide des distances annuelles de collecte et de transport des déchets, de la consommation estimée de carburant des véhicules, et du facteur d'émission spécifique au carburant. Les économies d'émissions de carbone résultent aussi du temps de construction plus court des petites installations décentralisées.

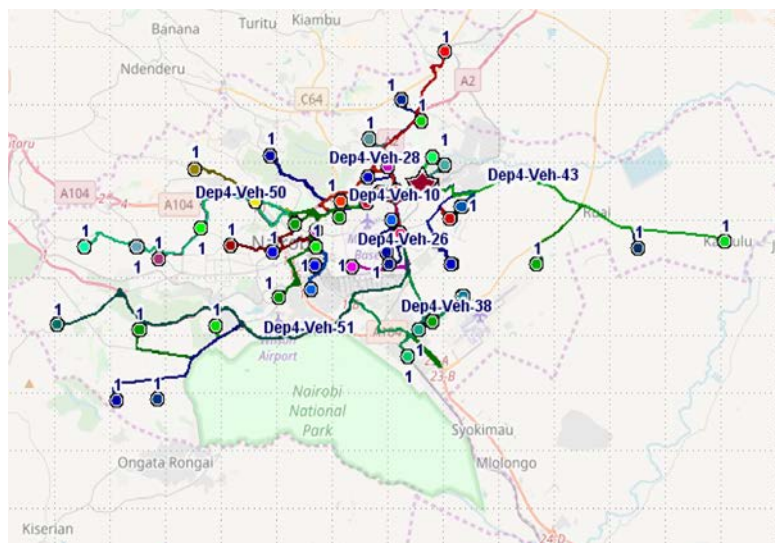
La simulation Monte Carlo est utilisée pour atténuer les risques liés à l'incertitude d'événements futurs, comme le prix du pétrole et le coût de la main-d'œuvre, dans les résultats de l'année 2030. Cela permet d'obtenir de différents résultats en fonction de données historiques distinctes.

Résultats - Transport

Dans la solution centralisée (photo de droite), la distance totale parcourue pour le transport des déchets solides vers Dandora (étoile violette) est de 2 845 000 km par an en 2018. Cela représente des coûts totaux de 6 350 000 \$ par an. Cela représente 443 500 heures de travail, 838 000 litres de carburant diesel et 2 485 000 \$ en frais administratifs, d'entretien et d'amortissement cumulé des véhicules.

En 2030, les chiffres respectifs sont

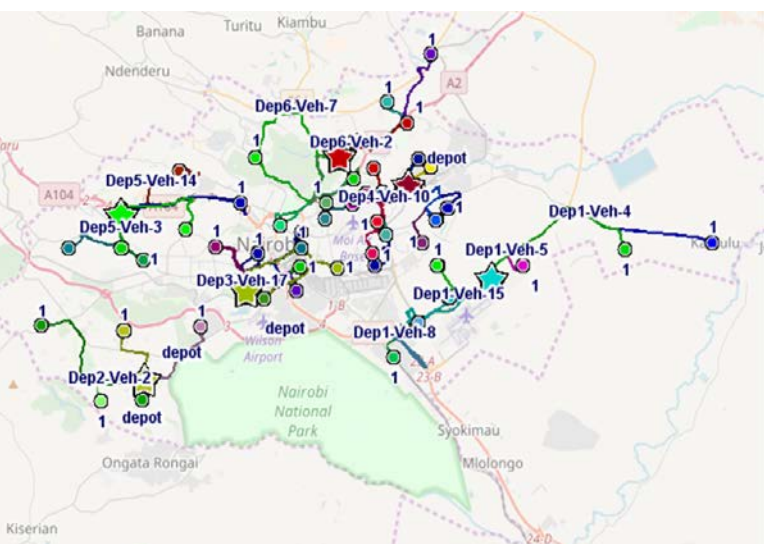
- transport 4 454 000 km
- heures de travail 833 600 h
- carburant diesel 1 335 000 l
- coût total 19 740 000 \$



Dans la solution décentralisée (photo de gauche), les voies de transport sont visiblement plus courtes. La distance totale pour le transport des déchets vers Dandora et les cinq autres installations est de 1 348 000 km par an, ce qui représente un coût total de 4 550 000 \$ par an. Cela représente 338 200 heures de travail, 404 000 litres de carburant diesel et 1 840 000 \$ en frais d'administration, d'entretien et d'amortissement accumulé des véhicules.

En 2030, les chiffres respectifs sont

- transports 2 186 000 km
- heures de travail 614 700 h
- carburant diesel 656 000 l
- coût total 13 800 000 \$



Les résultats ci-dessus sont basés sur les hypothèses du tableau de droite. Tous les efforts ont été déployés pour décrire le processus de collecte et de transport des déchets solides et les coûts associés de manière réaliste, voire conservatrice, dans la mesure du possible.

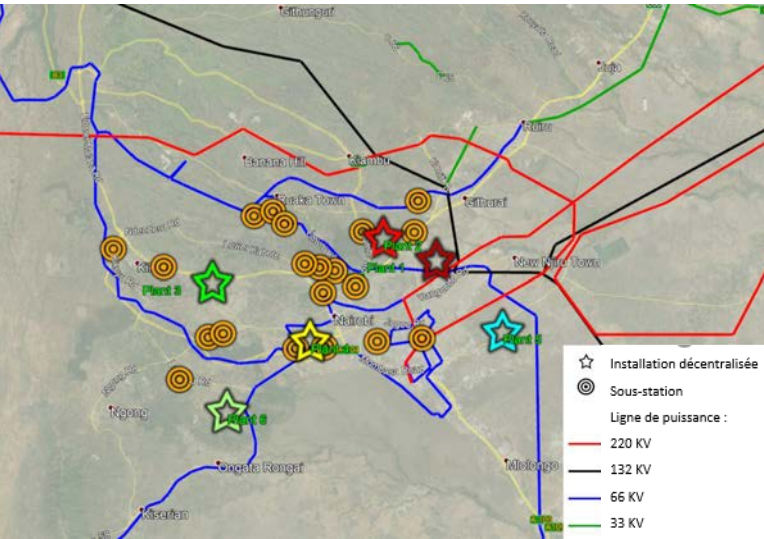
Les coûts et économies liés à l'utilisation des petites routes locales, au transport de carburant vers les dépôts des véhicules, à la collecte des déchets dans les sous-régions ou aux déplacements du personnel ne sont pas pris en compte ici. Le retard des camions-poubelles sur les routes principales dû aux embouteillages ne sont pas aussi pris en compte.

Elément de coût (en 2018)	Coût
Le prix des bennes à ordures ménagères	\$90,000 /véhicule
Le cycle de vie économique des bennes à ordures ménagères	15 année
La capacité des bennes à ordures ménagères	8,000 kg/véhicule
Le taux de chargement des déchets	3,865 kg/h
Le temps de déchargement des déchets (centralisé)	45 min
Le temps de déchargement des déchets (décentralisé)	15 min
La consommation de carburant des bennes à ordures ménagères	30 l/100km
Le prix du carburant diesel	\$1,06 /litre
Le coût de maintenance des bennes à ordures ménagères	\$10,24 /d /véhicule
Le coût de l'assurance des bennes à ordures ménagères	\$1,024 /d /véhicule
La vitesse moyenne de transport	28 km/h
Heure de travail par semaine	52 h
Temps de transport des déchets par jour	8 h
Le salaire des conducteurs	\$2,00 /h
Le salaire de l'équipe de collecte des déchets	\$4,75 /h
L'augmentation annuelle moyenne des coûts	5 %
Les frais d'administration (des coûts directs)	20 %

Résultats - Transmission de puissance

Le réseau de transport d'électricité du Kenya autour de Nairobi fonctionne actuellement à pleine capacité. Tout projet majeur de développement d'une centrale électrique devra construire ses propres lignes de transport pour se connecter au réseau de transport d'électricité du pays.

L'unité centralisée de valorisation énergétique des déchets située à Dandora, capable de générer 60 MW_e, serait confrontée à de graves problèmes de manque d'espace sur le site lui-même, tout comme pour l'espace nécessaire au transformateurs ou sur les modes de transport des déchets à travers les zones fortement peuplées. Les centrales décentralisées pourraient, elles, se connecter directement aux sous-stations locales sans aucun coût supplémentaire pour la ville.



Le coût de transport de l'électricité a trois composantes : les investissements dans les lignes de transmission, les équipements pour le transformateur (CAPEX), leurs coûts d'exploitation et de maintenance, et les pertes de transmission lors du fonctionnement de la centrale. Le coût des terrains, des études, des permis et autres ne sont pas pris en compte ici.

Le coût total est en partie une estimation puisque l'étude n'a pas tenté d'optimiser la connexion de la centrale Électrique centralisée au réseau électrique. Le CAPEX est - 6 500 000 \$, les frais d'exploitation et de maintenance - 130 000 \$ par an et les pertes de transmission annuelles d'environ 2 600 000 \$. Ainsi, le coût total de la transmission d'électricité est d'environ 2 860 000 \$ par an, pour une durée de vie estimée de 50 ans.



Résultats - Émissions de carbone

Le secteur des transports génère la plus grande part des émissions mondiales de gaz à effet de serre : 28,5%. Les émissions de CO₂ venant de l'utilisation de combustibles fossiles dans les camions de ramassage à Nairobi s'élevaient en 2018 à 2 220 tonnes dans le modèle centralisé, et à 1 052 tonnes dans le modèle décentralisé. En 2030, les chiffres seront respectivement de 3 475 et 1 705 tonnes par an.

Les émissions sont calculées comme suit :

$$TE = F * EF_f * D \quad \text{Sachant que}$$

TE est le total des émissions en kg de CO₂

F est la consommation de carburant (30 l / 100 km)

EF_f est le facteur d'émission spécifique au carburant (2.6008 kg / l)

D est la distance de transport en kilomètres

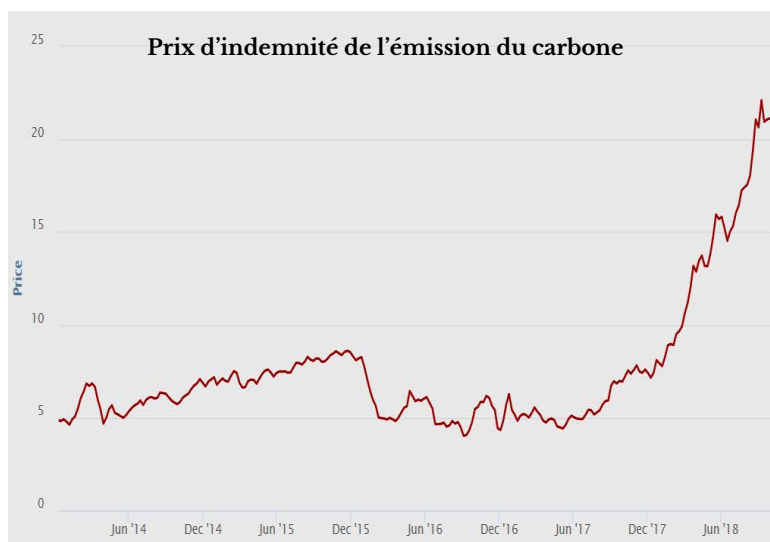


Le temps total de développement et de construction du projet pour une grande installation de valorisation énergétique de déchets capable de traiter 2 500 à 4 000 tonnes de déchets par jour est en moyenne de sept ans, tandis que les installations plus petites prennent environ deux ans à être construites. Comme les installations distribuées peuvent être construites simultanément, le temps effectif est d'environ cinq ans.

L'incinération des déchets organiques empêche le processus de digestion en anaérobie et de libération du méthane, un gaz à effet de serre 25 fois plus puissant que le CO₂. Calculé sur la base d'un entreposage de déchets quotidiens de 2 500 tonnes, les économies de gaz à effet de serre équivalent de CO₂ dépassent 4 000 tonnes, soit 1 300 000 tonnes par an. Ces économies ne sont valables que sur un intervalle de cinq ans entre le temps de construction des centrales électriques.

Le marché du trading des certificats de carbone vise à contrôler la pollution. Il a été adopté par la plupart des pays développés et se répand progressivement dans le monde entier. Bien qu'aucun système de commerce de droits d'émission ne soit en place actuellement pour les émissions du transport routier, une valeur théorique peut leur être attribuée :

La valeur d'un certificat (une tonne d'eqCO₂) a connu une forte augmentation récemment, passant d'une moyenne de 7,50 à 24 dollars. En calculant à partir de ces prix, la valeur des activités de transports de déchets et des émissions de méthane évitées en décharge représentent respectivement 53 000 et 31 200 000 de dollars de 2018.



Des économies

Les économies de transport entre les solutions centralisées et décentralisées de valorisation sont directement imputables aux itinéraires plus courts :

- réduction de consommation de carburant
- réduction d'heures de travail
- réduction de véhicules
- réduction d'entretien

Les économies annuelles s'élèvent en 2018 à 1 800 000 \$ et en 2030 à 5 940 000 \$.

En 2030, le modèle décentralisé nécessitera 81 camions et 440 personnes de moins que le modèle centralisé. En d'autres termes, 4 000 tonnes par jour en 2030 pourront être collectées avec les mêmes ressources que celles nécessaires pour transporter tous les déchets à Dandora en 2018.

Les économies de transmission sont principalement imputables à la diminution des pertes de transmission dans le modèle décentralisé. Le reste est constitué par l'amortissement du matériel, et par les économies réalisées dans le fonctionnement et la maintenance du transformateur de la centrale électrique centralisée, et des lignes de transmission. Les économies annuelles s'élèvent en 2018 à 2 860 000 \$ et en 2030 à 2 960 000 \$.

Les économies totales du modèle de gestion décentralisée des déchets et de sa production d'électricité par rapport au modèle centralisé sont une combinaison d'économies de transport et de transmission d'énergie. Ceux-ci totalisent environ

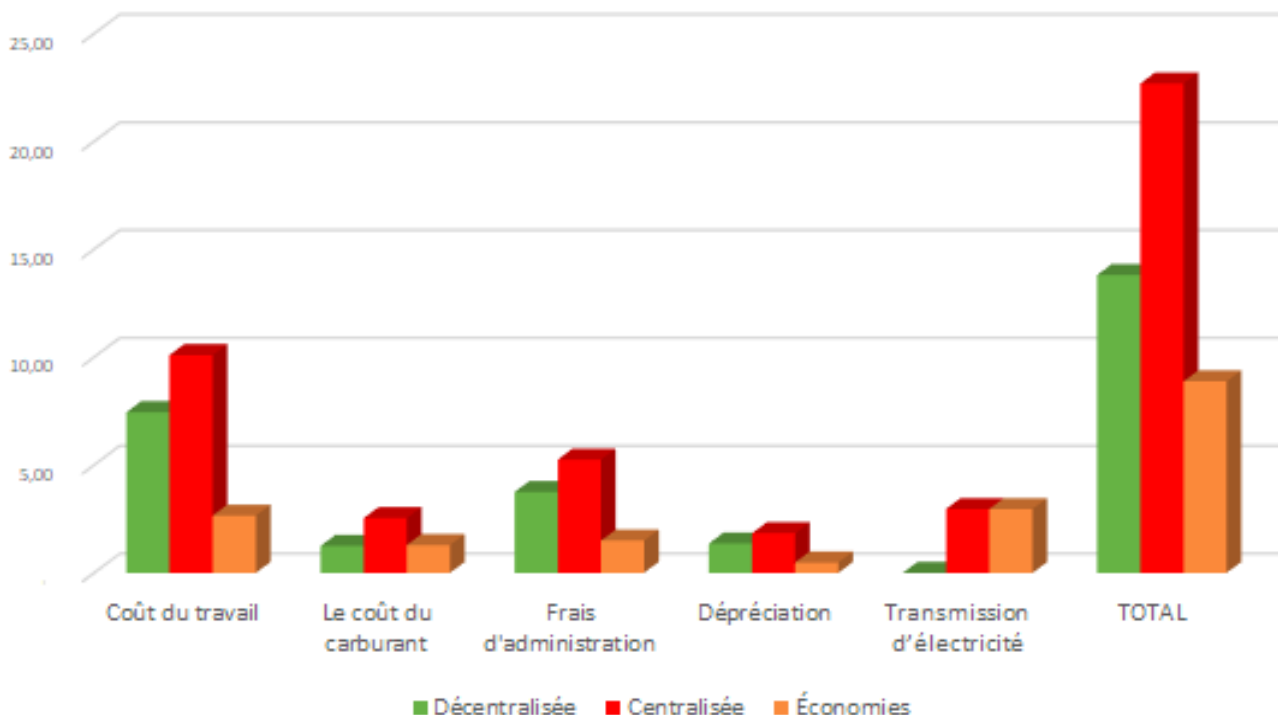
- 2018; 4 660 000 \$
- 2030; 8 900 000 \$

Au cours des 12 années de l'étude, les économies accumulées se sont élevées à 83 550 000 \$, soit 39% du coût total. Les valeurs ci-dessus se base sur une inflation de 5% sur tous les coûts.

Il est difficile de prévoir avec précision la valeur des économies futures attribuables à des éléments de coût encore inconnus, comme principalement le coût de la main-d'œuvre et le prix du pétrole. Si l'on examine les données historiques, la volatilité des prix du pétrole au cours des huit dernières années a été de 37%. C'est là que la simulation de Monte Carlo peut aider à produire les projections de résultats les plus probables, et à prendre dès aujourd'hui les meilleures décisions.

En se basant sur des simulations, les économies générées se situeront entre 60 270 000 et 145 560 000 dollars, avec une probabilité de 90%.

Le tableau de comparaison des coûts pour 2030 (M€)



Autres bénéfiques

Le modèle de valorisation énergétique des déchets décentralisé est non seulement une solution saine sur le plan financier, mais il génère également plusieurs autres avantages tangibles et intangibles, tels que :

- un recyclage accru pour économiser les matières premières vierges
- un taux de collecte des déchets plus élevé à coût décroissant
- plus de flexibilité dans la collecte et le transport des déchets
- une réduction significative de la pollution de l'eau, des sols et de l'air imputable aux déchets
- un impact positif pour la santé, en se débarrassant de la vermine et des rongeurs
- des avantages visuels dus à la réduction du nombre des décharges



De nombreuses grandes villes, y compris Nairobi, se retrouvent dans l'impasse d'avoir à gérer des anciens sites d'enfouissement situés en plein centre-ville. Ils étaient à l'origine installés à la périphérie de la ville, mais la croissance urbaine rapide les a resitués de fait à l'intérieur de la ville.

Les décharges existantes constituent une source de combustible aussi bonne pour les installations de valorisation énergétique que les déchets nouvellement générés. Les déchets enfouis sont acheminés vers l'usine de tri, où les matières recyclables et les matières inertes sont retirées. Le compost est mis de côté et les matières inorganiques sont incinérées pour produire de l'énergie. L'ancien site d'enfouissement peut être réaménagé, par exemple, en logements ou en espaces récréatifs.



Les installations de valorisation énergétique des déchets de petite taille offrent la possibilité d'expérimenter de manière rentable si l'incinération des déchets peut être la bonne solution pour la région/le pays. En raison du peu d'espace nécessaire, de leur structure modulaire et de leur niveau élevé de préfabrication, elles nécessitent moins de conception et d'ingénierie. Leur processus d'obtention de permis sont plus rapides et elles seront donc opérationnelles beaucoup plus rapidement que les usines traditionnelles.

Comme l'énergie est distribuée en ville au plus près des utilisateurs, les installations peuvent fournir exactement le type d'énergie dont les communautés ont besoin : Electricité, vapeur, chaleur thermique ou froid. Combiner ces offres avec des matériaux recyclables garantit au PME un modèle de croissance durable.



Discussion

Cette étude laisse encore de la place pour une optimisation supplémentaire la production décentralisée d'énergie à partir de déchets. Certains éléments clés à étudier pourraient être :

- *Le nombre d'installations de valorisation énergétique des déchets* : Le nombre d'emplacements a ici été fixé à six, chacun utilisant environ 400 t / j de déchets et fournissant 6 MW_e. Les centrales pourraient très bien être réparties sur 10 voire 15 sites.
- *L'emplacement des installations de valorisation énergétique des déchets* : Une seule phase d'optimisation a été effectuée en ce qui concerne les emplacements. La combinaison de plusieurs emplacements, de nombre d'usines, et du choix de l'itinéraire donnerait de meilleurs résultats.
- *Les solutions de traitement des déchets* : Seules les solutions de tri préliminaire et d'incinération des déchets ont été envisagées. Par exemple, la bio-gazéification et le compostage pourraient également être étudiés comme solutions complémentaires.
- *Les Produits énergétiques générés* : L'étude s'est concentrée sur la production d'électricité, alors que la chaleur pourrait être bien plus recherchée par les industriels locaux.

- *La taille du camion* : Seuls les camions d'une capacité de huit tonnes ont été pris en compte dans l'étude. Le modèle en question pourrait très bien fonctionner avec des camions d'une tonne.
- *La sélection d'itinéraires* : Seules les routes principales ont été utilisées pour l'optimisation des itinéraires. Le choix de routes de catégorie inférieure générerait probablement des économies supplémentaires.
- *L'impact du trafic* : Les deux modèles de calcul utilisaient la même vitesse de déplacement des camions indépendamment de l'heure de la journée. Un Programme d'Acheminement et Planification des Véhicules (VRSP) dynamique pourrait prendre en compte également l'impact des heures de pointe.
- *Les coûts de financement pendant la période de construction* : En particulier, le modèle centralisé subit des coûts de financement de 5 à 7 ans pendant la période de construction.

Chacun des facteurs ci-dessus plaide en faveur du modèle décentralisé plutôt que pour le modèle centralisé, créant ainsi des économies et des avantages supplémentaires.



"Au cours des 12 prochaines années, la solution décentralisée de valorisation énergétique des déchets devrait permettre à la ville de Nairobi d'économiser plus de 83,5 millions de dollars"



W O I M A

CORPORATION

CONTACTS

Henri Kinnunen

Président Directeur Général

henri.kinnunen@woimacorporation.com

+358 40 835 8974

Tapio Gylling

Chef des Opérations

tapio.gylling@woimacorporation.com

+358 50 347 2799

Tapani Korhonen

Directeur Technique

tapani.korhonen@woimacorporation.com

+358 44 989 1513

Joona Piirto

Chef de Projet

joona.piiro@woimacorporation.com

+358 50 387 9883

ADRESSE POSTALE / VISITE

Virtaviiva 8F

65320 Vaasa, FINLAND

www.woimacorporation.com

info@woimacorporation.com

VOTRE CONNEXION LOCALE

