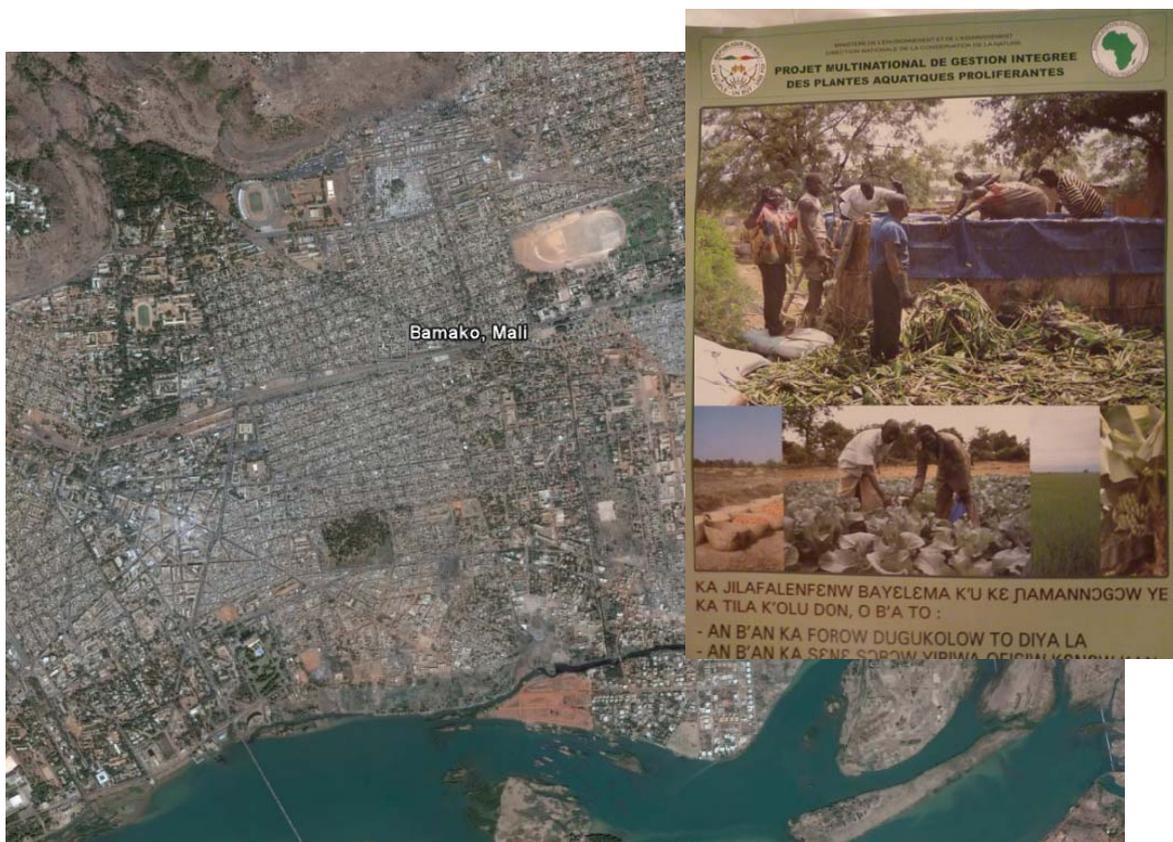


VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES PLANTES AQUATIQUES PROLIFÉRATRICES AU MALI

Etude de faisabilité



Rapport établi pour :

REPIC
c/o NET Nowak Energy & Technology Ltd.
Monsieur Stefan Nowak
Waldweg 8
1717 St. Ursen

T +41 (0) 26 494 00 30
F +41 (0) 26 494 00 34
@ stefan.nowak@netenergy.ch

19.10.2010

SOMMAIRE

1. Introduction	4
1.1 Cadre du mandat.....	4
1.2 Objectifs de l'étude	4
1.3 Cahier des charges de l'étude de faisabilité.....	4
1.4 Limites de l'étude	6
1.5 Déroulement de l'étude	6
1.6 Documents et information de base.....	7
2. Ancrage institutionnel du projet	8
2.1 Rencontres avec les interlocuteurs techniques du projet au Mali, les instances gouvernementales et autres acteurs concernés	8
2.2 Cadre législatif	10
2.3 Accord du gouvernement malien.....	11
2.4 Choix du site de l'usine de production d'énergie.....	11
3. Dimensionnement de l'usine de méthanisation	12
3.1 Investigation des filières de déchets verts énergétiquement valorisables.....	12
3.2 Analyse des offres des fournisseurs d'installation et choix du fournisseur	18
3.3 Dimensionnement de la capacité de méthanisation	19
3.4 Détails des technologies de méthanisation	20
3.5 Plans des principaux dispositifs de l'usine de production d'énergie	20
4. Organisation de la récolte du substrat et exploitation de l'installation	21
4.1 Organisation de la récolte	21
4.2 Appel d'offres pour l'acquisition de bateaux équipés pour la récolte.....	22
4.3 Organisation et conditions de la distribution d'engrais.....	24
4.4 Structure exploitante envisagée	24
4.5 Valorisation du biogaz.....	25
4.6 Rachat de l'électricité produite.....	25
5. Coûts et revenus du projet	26
5.1 Coût pour la récolte.....	26
5.2 Coût pour l'usine de production d'énergie	26
5.3 Coûts d'exploitation	27
5.4 Revenus de l'énergie produite, électricité et chaleur	27
5.5 Revenus des engrais.....	27
5.6 Obtention de certificats CO ₂	28

6. Montage financier	29
6.1 Identification d’investisseurs	29
6.2 Rentabilité du projet	30
7. Transfert technologique	31
7.1 Fiche didactique de transfert technologique d’une usine de méthanisation	31
7.2 Filières de remplacement du couplage chaleur force	37
7.3 Fiche didactique pour le transfert technologique de la valorisation du compost de l’usine de méthanisation par une technique de production agricole biologique	38
8. Conclusion.....	42
8.1 Généralités	42
8.2 Suite des travaux	42
Annexe 1. Rapport mission Mali (18 sept. – 3 oct. 2009).....	43
Annexe 2. Requête de financement auprès du ministère de l’environnement et de l’assainissement du Mali.....	51
Annexe 3. Offre Strabag	54
Annexe 4. Variantes substrats	55
Annexe 5. Plan usine méthanisation.....	56
Annexe 6. PV séance possibilités certification projet biomasse Mali.....	57

Version N°	Date	Auteurs	Relecteur	Distribution à
01	13 juillet 10	Matthias Rüetschi, Roger Michel	Pierre Renaud	REPIC

1. Introduction

Le présent chapitre regroupe toutes les informations générales sur le travail effectué.

1.1 Cadre du mandat

Planair SA, ingénieurs conseils SIA basé en Suisse, spécialisé dans les économies d'énergies et la production d'énergies renouvelables, a reçu pour mandat une étude de faisabilité d'une usine de méthanisation à Bamako. Les substrats fermentescibles proviennent principalement de plantes aquatiques nuisibles (jacinthe d'eau, massette, fougères et salades d'eau) qui prolifèrent dans le fleuve Niger.

Planair SA travaille en partenariat avec l'ONG E.R.A. qui bénéficie d'un accord-cadre avec le gouvernement malien.

La démarche, les résultats principaux et les perspectives offertes par cette étude font l'objet du présent document.

1.2 Objectifs de l'étude

Le projet devrait permettre d'atteindre à la fois des objectifs écologiques, économiques et sociaux tout en intégrant les conditions culturelles propres au Mali par :

- l'exploitation d'une source d'énergie renouvelable et la production de courant électrique très demandé au Mali,
- la lutte contre un fléau qui entrave le développement du Mali comme de nombreux autres pays tropicaux,
- la production d'engrais améliorant la qualité des sols et limitant leur érosion,
- le développement de l'emploi local pour la récolte de la matière première, la vente de l'engrais et l'exploitation de l'installation de production électrique,
- l'éventuel développement d'une infrastructure financièrement autoporteuse et facilement multipliable.

1.3 Cahier des charges de l'étude de faisabilité

Ancrage local pour le devenir du projet, exploitation générale et organisation de la récolte

Le résultat attendu pour traiter cette thématique se décline en 8 volets :

- décision de la structure exploitante après consultation des instances gouvernementales du Mali ainsi que l'entreprise Energie Du Mali (EDM SA) et l'Agence Malienne pour le Développement de l'Energie Domestique (AMADER),
- considérations sur le mode d'exploitation en fonction des impératifs environnementaux liés à la prolifération des plantes aquatiques proliférantes, culturels et sociaux propres au Mali,

- organisation de la partie récolte des plantes aquatiques proliférantes en fonction des zones les plus durement touchées. Ainsi les conséquences sanitaires, mais également liées à l'exploitation hydroélectrique sont analysées et certaines zones dans la région de Bamako sont identifiées comme prioritaires. Ce travail est effectué en étroite collaboration avec Modibo T. Keita (point focal du Ministère de l'Environnement, Assainissement et coordinateur du programme national de lutte contre la prolifération des plantes aquatiques nuisibles),
- investigation des filières de déchets verts énergétiquement valorisables alternatifs à la jacinthe d'eau et solutions concrètes avancées (par exemple la balle de riz et autres biodéchets). Résultat exprimé sous forme de variantes de plusieurs combinaisons possibles de plantes prolifératrices nuisibles et déchets de biomasse avec précision sur les quantités des différents composants et les risques liés aux filières proposées (variabilité de la ressource notamment),
- solutions et organisation de la distribution de l'engrais,
- définition de l'emplacement exact du projet en fonction des repreneurs éventuels de chaleur : un inventaire des industries utilisant une source de chaleur sera fait et des premiers contacts avec les industries seront établis en coordination avec le choix du site décidé avec les autorités maliennes. Le but étant de pouvoir utiliser les résidus en chaleur produits lors de l'électrification,
- appel d'offre pour l'acquisition de bateaux équipés pour récolter les jacinthes d'eau et autres plantes prolifératrices. La robustesse des équipements sera un élément décisif dans le choix indépendant de la solution la plus intéressante au niveau technique et économique,
- spécification des possibilités de revente de l'électricité produite (bases légales, lettre d'intention du gouvernement).

Dimensionnement de l'installation de production de biogaz et électricité, plans associés et coûts

Le dimensionnement et les plans seront basés sur les offres indicatives de fournisseurs d'équipements permettant d'une part de représenter l'emprise du projet au sol et d'autre part d'établir une estimation des coûts. Les points suivants synthétisent les livrables de ce chapitre :

- élaboration du concept général : dimensionnement de la récolte – quantité de plantes aquatiques à valoriser et dimensionnement des installations pour la valorisation du biogaz et production de courant électrique,
- détails des technologies de méthanisation envisagées (sèche/humide, thermo/mésophile, type de digesteurs, type de couplage chaleur/force, puissance de l'installation etc.),
- dimensionnement des cuves pour la méthanisation et des équipements pour la conversion du biogaz en courant électrique (+/- 25%),
- plans des principaux dispositifs de l'installation de production d'énergie,
- évaluation du coût de l'installation à +/- 25%. Les coûts sont affinés par rapport à l'estimation faite dans le rapport synthétisant le cahier des charges de la présente étude, en fonction des prix des fournisseurs des équipements,
- détails des revenus de l'électricité produite,
- détails des revenus provenant de l'engrais (coûts de logistique et de commercialisation du produit, évaluation de la demande et de la capacité de financement des acquéreurs d'engrais, prix de l'engrais sur le marché malien),
- détails sur les possibilités de valorisation de la chaleur produite et revenus financiers potentiels,
- collaboration avec un fournisseur d'installation pour obtenir un meilleur aperçu des aspects technologiques et pour anticiper les problèmes techniques éventuels,

- identification des éléments techniques critiques : par exemple, en cas de dysfonctionnement d'un dispositif technique (vanne, installation technique spécifique etc.), prévision d'un stock de pièces de rechanges permettant de garantir le fonctionnement de l'installation.

Montage financier pour la phase de réalisation et d'exploitation

Le montage financier sera effectué après demande auprès des différentes banques internationales (Banque Mondiale, Banque Africaine de Développement) et auprès de la fondation Aga Khan, actionnaire à 40% de la compagnie distributrice d'électricité au Mali EDM SA. Les autres organisations recommandées par REPIC et potentiellement intéressées par le financement d'un tel projet seront également consultées.

Fiches pour le transfert technologique, volet de formation

Afin de garantir le transfert technologique et dans le but d'inscrire le projet dans la durabilité, des fiches récapitulatives des points clés seront établies :

- au niveau du fonctionnement global de l'installation (caractéristiques des ressources à valoriser, exploitation optimale etc.),
- au niveau technique, pour chaque équipement, les points critiques seront répertoriés ainsi que les filières pour le remplacement de certaines pièces potentiellement sensibles.

De plus une formation continue substantielle adaptée à la technologie choisie sera mise en place au moyen de fiches didactiques. Un système de suivi de la future installation pour les cas de pannes et accidents fortuits sera proposé.

Démarche pour l'obtention de certificats d'échange pour les émissions de CO₂

Une investigation des mécanismes internationaux sera faite afin d'obtenir des droits d'échange pour le CO₂ économisé avec la production d'énergie renouvelable du projet. Les coûts de transaction seront évalués et la rentabilité de la mise sur le marché international des quotas d'émissions économisés par la centrale de production d'électricité sera étudiée.

La quantité de quotas sera déterminée grâce à la différence entre la quantité de CO₂ moyenne émise avec le mix de production d'électricité malien. Le surcoût pour obtenir la production d'électricité renouvelable en question sera également déterminé.

1.4 Limites de l'étude

- Les coûts de construction ont été basés sur l'expérience européenne dans le domaine de la méthanisation et sur des offres indicatives faites par des fournisseurs de technologie.
- Les coûts de construction de l'usine de méthanisation présentés dans l'étude sont donnés avec une précision de +/- 25% conformément aux normes d'ingénierie suisse (SIA 108).

1.5 Déroutement de l'étude

Dans le cadre de cette étude, la démarche suivante a été adoptée :

- investigation théorique approfondie sur la technologie de méthanisation de la jacinthe d'eau et autres plantes aquatiques proliférantes,
- dimensionnement de l'installation de méthanisation sur la base de retours d'expériences en Europe et évaluation du coût global d'investissement,
- demande d'offres auprès de fournisseurs d'installation de méthanisation,
- présélection des fournisseurs potentiels pour les phases ultérieures du projet,

Etude de faisabilité

- visite sur site et collecte d'informations sur la prolifération des plantes aquatiques nuisibles qui prolifèrent dans le Niger auprès du ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali,
- organisation d'une table ronde avec les décideurs du ministère de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali, en consultation avec les ministères de l'énergie et de l'agriculture à Bamako afin de définir les phases de projet et réalisation au niveau du montage financier, les rôles et responsabilités des différents intervenants et la détermination du maître de l'ouvrage,
- rédaction de l'étude de faisabilité.

1.6 Documents et information de base

Les documents et informations suivants ont servi de base à l'étude :

Titre	Date	Provenance	Remarque/annexe
Rapport de l'identification du niveau d'infestation des plantes aquatiques prolifératrices au Mali	2007	Ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali	Etude réalisée par CARCEG-Sarl
Biogas Praxis	2007	Ökobuch magnum (D)	Fachgruppe Biogas IBBK
Schwachstellen an Biogasanlagen verstehen und vermeiden	2009	KTBL	
Production de biogaz et de compost à partir de eichhornia crassipes, mart solms-laub pondtederiaceae pour un développement durable en Afrique sahélienne	2006	Vertigo – revue électronique en sciences de l'environnement	
Biogas production using water hyacinths to meet collective energy needs in a sahelian country	2007	FACTS environnement	

2. Ancrage institutionnel du projet

2.1 Rencontres avec les interlocuteurs techniques du projet au Mali, les instances gouvernementales et autres acteurs concernés

L'ancrage du projet est coordonné par l'ONG E.R.A. De nombreuses rencontres bilatérales entre les techniciens du ministère de l'environnement directement concernés par la problématique des plantes aquatiques prolifératrices et des techniciens de la compagnie distributrice d'électricité EDM ont été faites. Ces rencontres préliminaires entre l'ONG E.R.A et les responsables locaux ont permis d'exposer le projet et de l'adapter en fonction des besoins.

Suite à ces premières rencontres, une visite au Mali a été menée fin septembre 09 par Planair SA (P. Renaud et M. Rüetschi) afin de rencontrer directement les responsables techniques et de présenter le projet aux autorités maliennes avec comme objectif l'adoption du projet par le gouvernement. Les personnes suivantes sont les personnes rencontrées bilatéralement puis ensemble lors d'une table ronde tenue le 1^{er} octobre 09, qui ont un rôle direct dans le cadre du projet de méthanisation :

- Lieutenant-colonel Modibo Keita, responsable du programme de lutte contre la prolifération des plantes aquatiques nuisibles au Mali,
- Colonel Alassane Maiga, directeur national de la conservation de la nature,
- Lieutenant-colonel Baïkoro Fofana, adjoint du directeur national de la conservation de la nature,
- Abdoulaye Benthé, Ségal (secrétaire général) - conseiller du ministre de l'environnement et de l'assainissement,
- Segua Sigilité, conseiller du Ségal,
- Mamadou Traoré, secrétaire technique permanent du ministre de l'environnement et de l'assainissement,
- Amadou Kassamara, cadre à l'AMADER,
- Ousman Nianti, point focal AMADER,
- M. Cissé, responsable assainissement et pollution de la ville de Bamako,
- Représentant du maire de Bamako Amadou Sangaré,
- Abdoulaye Koné, cadre EDM, pôle qualité-sécurité-environnement.



Les personnes citées ci-après de la compagnie de production et distribution d'électricité EDM SA potentiellement concernées par le projet ont également été rencontrées pour présenter le projet et discuter les besoins en électricité ainsi que les éventuelles possibilités de rachat du courant produit.

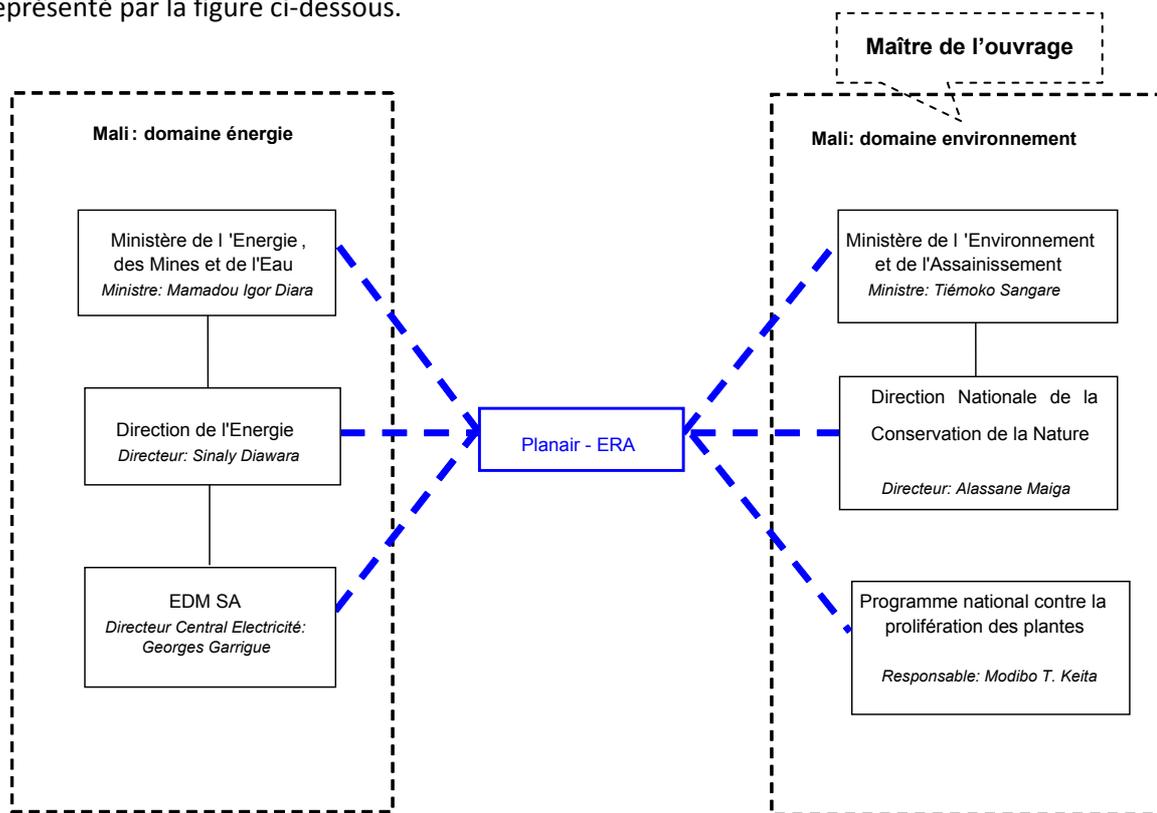
- Abdrahamane Dembélé, EDM, directeur du pôle qualité-sécurité-environnement,
- Chirfi Moulaye Haïdara, EDM, directeur Energie Renouvelable,
- Georges Garrigue, directeur technique de la compagnie d'électricité EDM.

D'autres rencontres ont également eu lieu pour obtenir des conseils pour le montage du projet dans le contexte malien, en Suisse et au Mali. Les personnes suivantes ont été rencontrées :

- l'ambassadeur du Mali à Genève et auprès de l'ONU, Sidiki Lamine Sow,
- le professeur Bakari Kamian, ancien directeur de l'UNESCO Afrique et Commandeur de l'Ordre National du Mali,
- la directrice de la coopération suisse au Mali, Geneviève Federspiel.

Les procès-verbaux de ces rencontres sont présentés en annexe 1. (*L'annexe 1 regroupe les objectifs et les procès-verbaux de toutes les rencontres effectuées lors de la mission de Planair SA au Mali fin septembre 09*).

L'ancrage du projet au sein des ministères de l'énergie et de l'environnement du Mali est représenté par la figure ci-dessous.



Lors de la table ronde, partant du principe que la problématique des plantes aquatiques proliférantes incombe au domaine de l'environnement, les décideurs du ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali ont manifesté l'intérêt de devenir maître de l'ouvrage.

Les interactions entre les deux domaines sont indispensables : le projet propose une valorisation énergétique des plantes aquatiques proliférantes nuisibles causant des préjudices graves pour l'environnement. Cette nouvelle production énergétique doit intégrer le cycle de distribution d'énergie. Une concertation entre les ministères de l'environnement et de l'énergie devra être faite avec comme perspective l'aboutissement à un accord sur le tarif de rachat par EDM SA de l'énergie produite par l'installation (détermination d'un prix fixe sur plusieurs années de rachat du kWh électrique produit).

2.2 Cadre législatif

Le ministère de l'environnement et de l'assainissement a exprimé son souhait de devenir le maître de l'ouvrage (voir annexe 1 : PV table ronde). La structure juridique de l'entreprise qui exploitera l'usine n'est pas encore définie. Cette structure ne constitue pas un problème a priori pour le ministère de l'environnement car la thématique des plantes aquatiques prolifératrices nuisibles est d'importance nationale. Le projet sera présenté par le ministère de l'environnement auprès du secrétariat du premier ministre. Après cette présentation et après concertation entre les instances ministérielles concernées, la structure juridique de l'entreprise exploitante sera définie, puis relatée lors de la phase ultérieure d'avant-projet.

2.3 Accord du gouvernement malien

Le ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali avait déjà donné son accord de coopération avec Planair SA en 2008 (se référer au cahier des charges de l'étude de faisabilité).

Suite à la table ronde organisée à Bamako le 1^{er} octobre 09, une requête de financement auprès du gouvernement malien a été faite par Planair SA (voir annexe 2).

2.4 Choix du site de l'usine de production d'énergie

Dans le cadre de l'étude de faisabilité pour l'implantation de l'usine de méthanisation, une seule variante est étudiée (un ensemble de substrats défini en fonction des potentialités exploitables autour d'un périmètre confiné) et le choix du site de l'usine a été défini entre Bamako et Koulikoro. Ce choix se justifie car c'est la région d'origine de la colonisation des plans d'eau par les jacinthes d'eau, à partir de laquelle le typha, les fougères et salades d'eau prolifèrent dans le fleuve Niger. De plus, il existe également de nombreux autres gisements en déchets organiques et fumier provenant de la ville de Bamako et des environs, ces autres gisements pourraient être intégrés comme co-substrats dès le commencement de l'exploitation.

A terme, il est prévu d'éradiquer les plantes aquatiques prolifératrices dans le fleuve Niger grâce à l'implantation de stations d'épuration des eaux usées par lagunage. Cependant, l'aménagement des lagunes et la construction des canalisations d'eau usée représentent un travail échelonné sur le long terme. Le ministère de l'environnement estime aujourd'hui que les plantes nuisibles seront encore présentes dans le fleuve dans 12 ans. Afin d'assurer la durabilité du fonctionnement de l'usine, les autres gisements provenant des déchets organiques de la ville de Bamako seront intégrés progressivement afin de pallier à une éventuelle baisse de récolte des plantes aquatiques nuisibles.

Cependant, ce premier site choisi initialement a été discuté lors de la table ronde avec les cadres du ministère de l'environnement et les responsables exécutifs du ministère de l'énergie (EDM et AMADER). Il existe une autre zone d'infestation très prononcée à Niono, au nord-est de Bamako. La prolifération des plantes nuisibles dans cette région menace la production agricole en raison de l'obstruction de la plupart des canaux d'irrigation. Il existe également un potentiel de co-substrats dans cette région avec les déchets issus de l'agriculture.

A l'issue de l'étude de faisabilité, deux projets avec une ossature commune pourraient être amorcés : le premier à Bamako avec comme co-substrats les gisements de déchets organiques de certaines industries, fermes et restaurants de la capitale et le second à Niono, avec comme co-substrats les déchets issus de l'agriculture.

Dans les deux sites précités, la durabilité du fonctionnement de l'usine de méthanisation est pensée sur le long terme avec l'intégration de co-substrats alternatifs aux plantes aquatiques nuisibles qui sont valorisables énergétiquement par méthanisation.

Vue aérienne ci-dessous de la région comprenant Bamako et Koulikoro.



3. Dimensionnement de l'usine de méthanisation

3.1 Investigation des filières de déchets verts énergétiquement valorisables

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, l'investigation des gisements de plantes aquatiques valorisables énergétiquement repose sur un dimensionnement comprenant deux plantes aquatiques et des biodéchets de Bamako :

- les jacinthes d'eau,
- le typha,
- biodéchets.

L'infestation des fougères d'eau est également très marquée. Ces plantes n'entrent actuellement pas dans le calcul de dimensionnement (*manque de caractérisation énergétique présentement*), de même que les salades d'eau qui recouvrent des superficies marginales en comparaison avec les trois autres espèces de plantes aquatiques.

Dans la région de Bamako, les quantités de plantes aquatiques prolifératrices annuellement disponibles sont les suivantes :

- **80'000 tonnes de matière humide par an (t MH/an) de jacinthes d'eau** (hypothèse 6 récoltes par an sur chaque site infesté),¹
- **4'100 t MH/an de typha** (hypothèse 4 récoltes par an sur chaque site infesté).

¹ Selon les informations du ministère de l'environnement du Mali.

Les biodéchets directement disponibles sans mettre en place une grande campagne de tri sélectif, au contraire en exploitant des gisements existants en grande quantité (lisier des batteries de poules, fumier, déchets alimentaires des restaurants et hôtels etc.) sont estimés à au moins **20'000 t MH biodéchets/an**.

Concernant la disponibilité des fougères d'eau, la quantité annuelle estimée dépasse 100'000 t MH/an (hypothèse 4 récoltes par an sur chaque site infesté).²

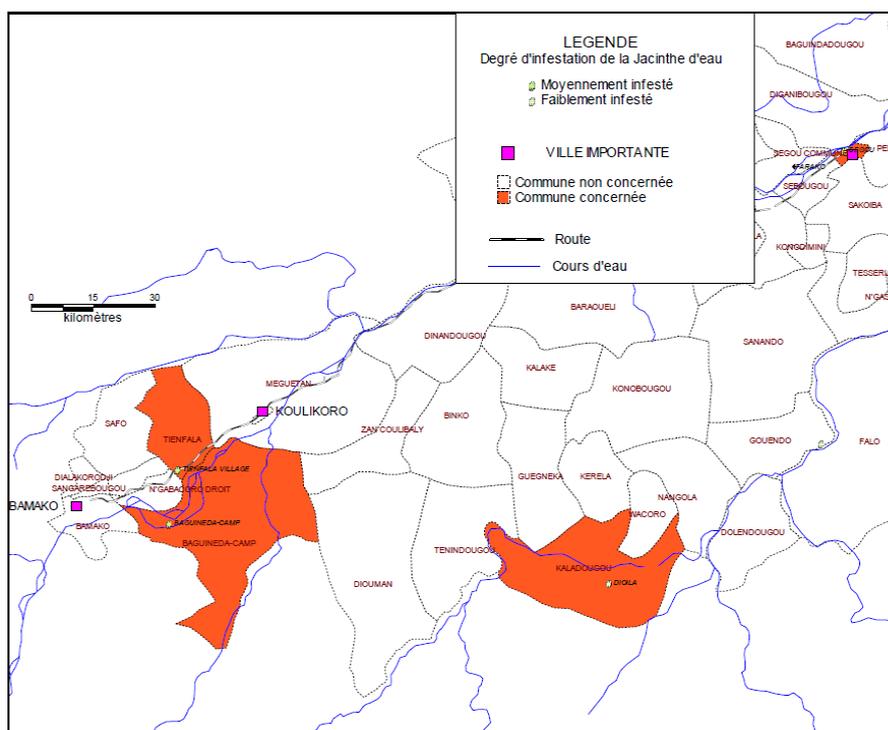
Dans la région de Niono, les quantités de plantes aquatiques prolifératrices annuellement disponibles sont les suivantes :

- 140'000 t MH/an de jacinthes d'eau (hypothèse 6 récoltes par an sur chaque site infesté),
- 210'000 t MH/an de typha (hypothèse 4 récoltes par an sur chaque site infesté).

Les restes issus de l'agriculture n'ont pas encore été identifiés jusqu'ici, cette quantification sera faite dans le cadre de l'avant-projet.

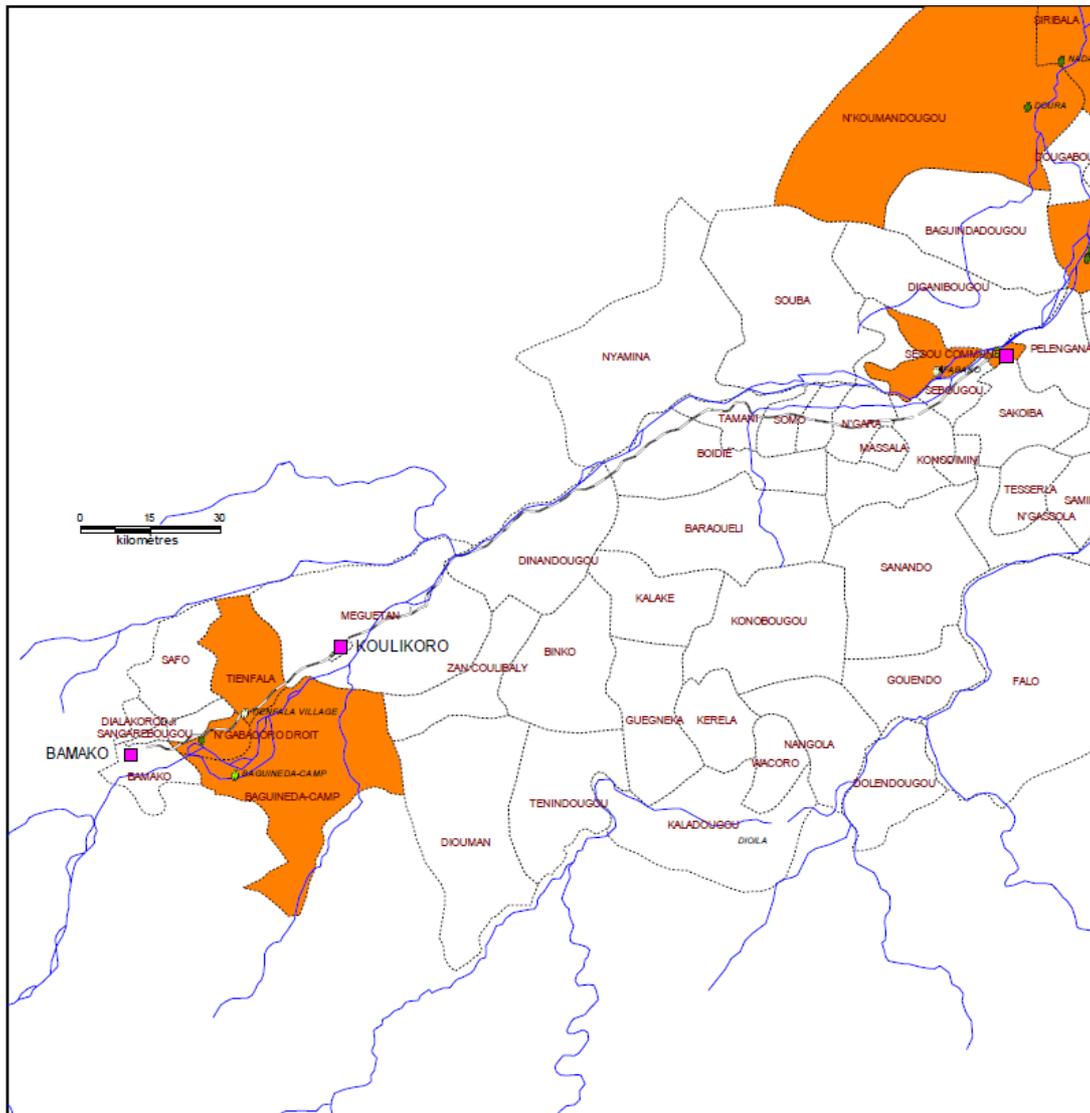
Concernant la disponibilité des fougères d'eau, la quantité annuelle estimée atteint 290'000 t MH/an (hypothèse 4 récoltes par an sur chaque site infesté).

Carte des zones d'infestation de la jacinthe d'eau dans le Haut-Niger:

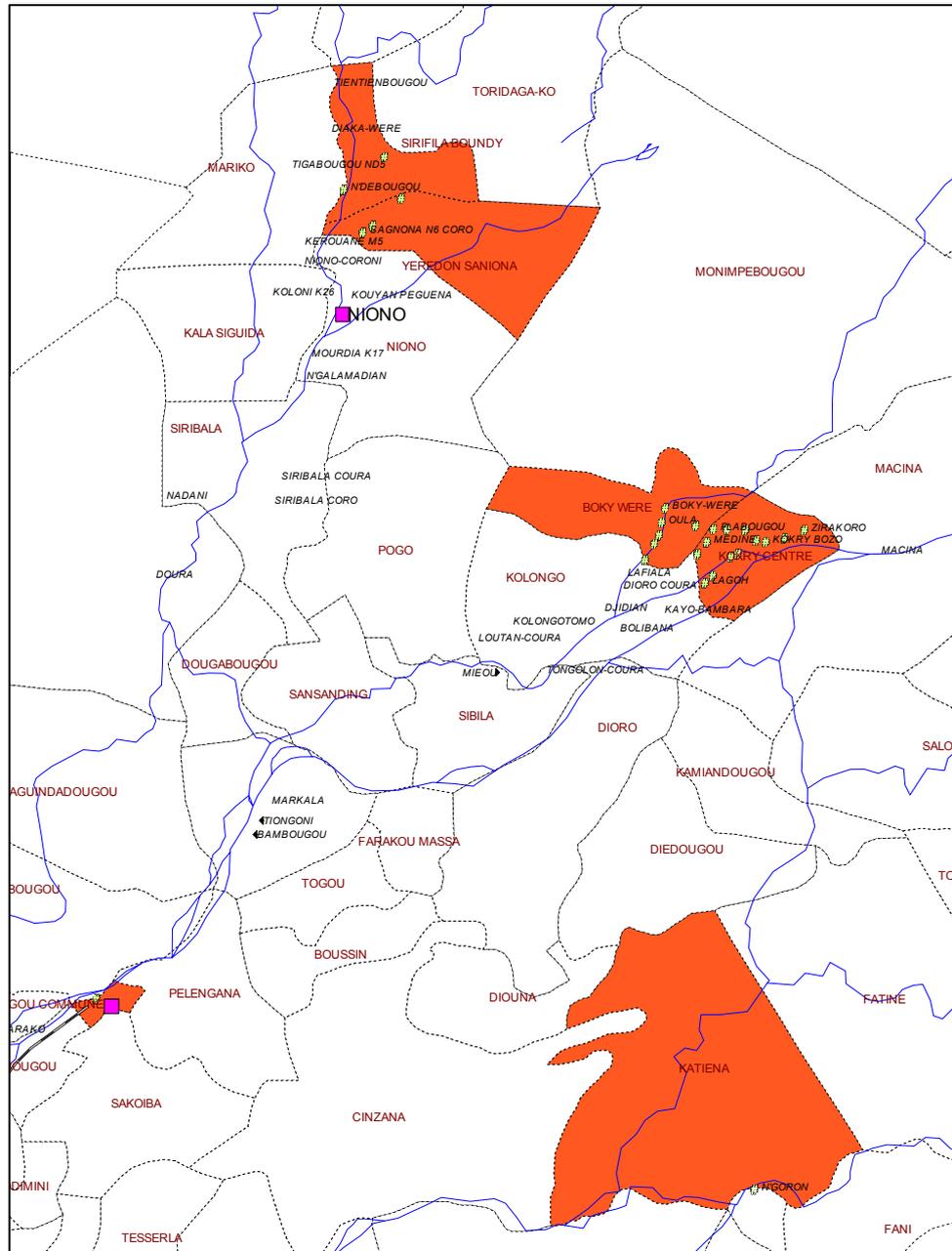


² Ces chiffres doivent être encore confirmés par le ministère de l'environnement du Mali.

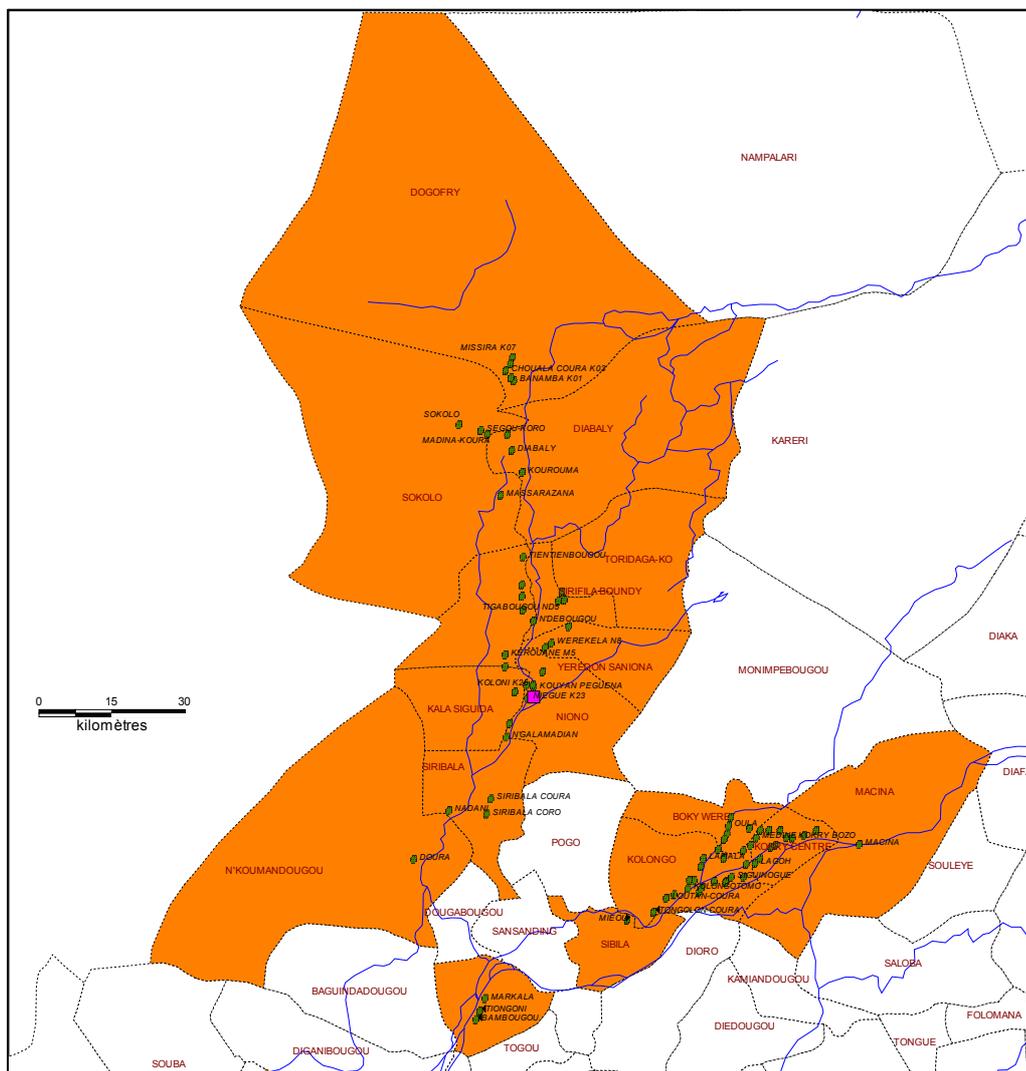
Carte des zones d'infestation du typha dans le Haut-Niger:



Carte des zones d'infestation de la jacinthe d'eau dans la région de Niono (delta mort) :



Carte des zones d'infestation du typha dans la région de Niono (delta mort) :



Les détails concernant les superficies exactes infestées sont disponibles dans l'étude mandatée par le ministère de l'environnement du Mali et réalisée par CARCAG-Sarl en 2007. Cette étude figure en annexe du cahier des charges de cette étude de faisabilité.

Lors de l'avant-projet, les différentes variantes de substrats à intégrer dans l'usine seront investiguées et les contraintes ou étapes de prétraitement respectives chiffrées.

Ci-dessous, un autre résultat de l'étude mandatée par le ministère de l'environnement du Mali sur l'identification des zones d'infestation des plantes aquatiques dans le fleuve Niger présente le degré d'infestation des diverses plantes géographiquement.

Répartition des plantes aquatiques nuisibles par zones visitées (Source : ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali)

Zones	Villages/Communes	Jacinthe d'eau	Fougère d'eau	Massette	Laitue d'eau
Niger supérieur	Commune I de Bamako	XX	XX		
	Commune II de Bamako	XX	XX		
	Commune III de Bamako	XX	XX		
	Commune IV de Bamako	XX	XX		
	Commune V de Bamako	XX	XX		
	Commune VI de Bamako	XX	XX		
	Commune de Baguinéda	XX	XXX	XX	XX
	Commune de Tienfala	XX	XX	X	
	N'Gakoro droit	XX	XX	X	
	Sécoro (Ségou)	X	XXX	X	
	Commune urbaine de Ségou	XX	XXX	XXX	
	Commune de Farako		XXXX	X	
Commune de Markala		XXXX	XXXX		
Delta mort	Commune de Doura		XXXX	XXXX	X
	Commune Séribala		XXXX	XXXX	X
	Commune urbaine de Niono	XX	XXXX	XXXX	X
	Commune de Mariko		XXXX	XXXX	
	Commune de Kala sigida		XXXX	XXXX	
	Commune de Sagnona	XX	XXXX	XXXX	
	Commune Toridaga kô		XXXX	XXXX	
	Commune de Siriflaboundi	XX	XXXX	XXXX	X
	Commune de Diabaly		XXX	XXXX	X
	Commune de Sokolo		XXX	XXXX	X
	Commune de Dogofry		XXX	XXXX	X
	Commune de Sansanding		XXX	XXXX	
	Commune de Sibila		XXXX	XXXX	
	Commune de Kolongotomo		XXXX	XXXX	
	Commune de Kokry	XX	XXXX	XXXX	
Commune de Macina		XXX	XXXX		
	Villages/Communes	Jacinthe d'eau	Fougère d'eau	Massette	Laitue d'eau
Cours du Bani	Bafoulabé (cercle de Dioïla)	X			
	Commune de Gouendo (Ségou)	X			
	N'Gôron (Bla)	X			
	Commune de San				X
	Commune Sofara			X	X
	Commune de Djenné			XX	XX
Delta Central	Commune urbaine de Mopti	X		XX	XX

3.2 Analyse des offres des fournisseurs d'installation et choix du fournisseur

Parmi plus de cinquante fournisseurs d'installation de méthanisation, principalement basés en Allemagne et maîtrisant la méthanisation par voie humide, trois fournisseurs ont été retenus comme partenaires potentiels lors de la phase d'avant-projet :

- agriComp GmbH,
- Biogaz PlanET,
- Strabag.

Ces trois fournisseurs sont intéressés à déployer leurs activités en Afrique de l'Ouest et proposent d'analyser le mélange de substrat du projet pour caractériser les principaux paramètres de méthanisation.

L'étude de caractérisation des substrats est essentielle et sera faite dans le cadre de l'avant-projet avec l'analyse de plusieurs mélanges de gisements différents envisagés pour le projet afin de trouver l'optimum pour maximiser la production de biogaz. Les différents mélanges de substrat seront envoyés par avion à destination du laboratoire choisi. Au niveau du temps d'étude, ces analyses peuvent être faites en 4 à 6 mois et le coût hors frais de transport se situe à environ CHF 30'000.--. Trois offres de prestations seront demandées à ces fournisseurs afin de choisir la caractérisation la plus complète et la plus avantageuse financièrement pour le projet. Sur la base de l'étude et de l'avant-projet détaillé résultant, il sera ensuite possible de passer directement en phase d'exécution.

Illustration de la caractérisation des substrats pour le dimensionnement fin des installations :

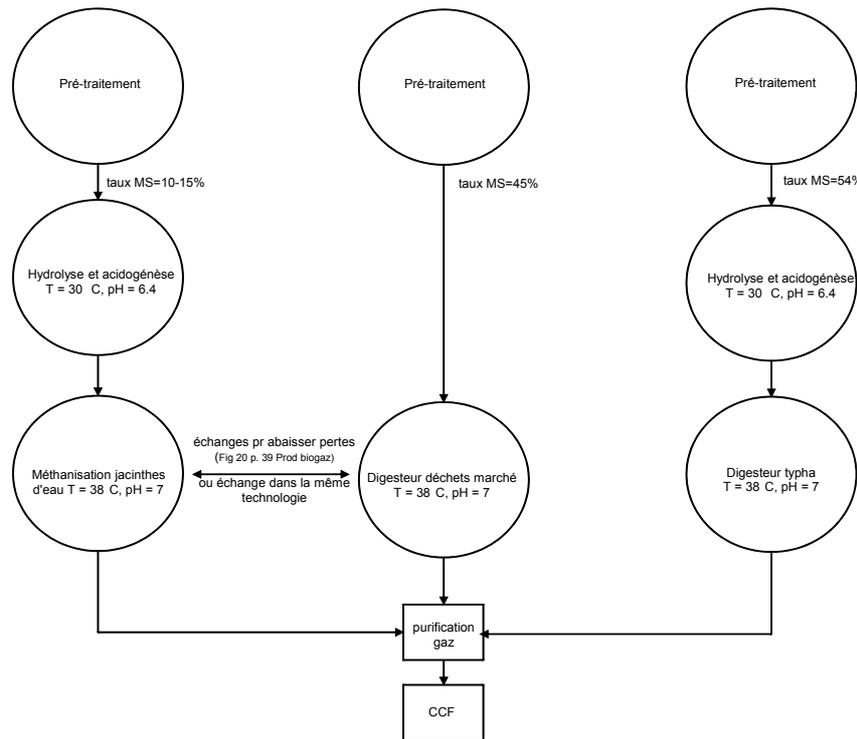


Source : agriKomp (<http://www.agrikomp.com/>)

3.3 Dimensionnement de la capacité de méthanisation

Le dimensionnement présenté ci-dessous est effectué sur la base d'offres indicatives fournies par GC Distribution (partie bateau faucardeur) et par le fournisseur de technologie pour la méthanisation Strabag (voir annexe 3, offre Strabag avec les quantités initialement comptabilisées dans le cadre du cahier des charges de l'étude de faisabilité et la mise à jour du tableau avec chiffres actuels). Les chiffres complétant les autres positions non couvertes par les offres de fournisseurs proviennent de données présentes dans la littérature. Le dimensionnement présenté ici est effectué pour une seule variante de substrats, soit 80'000 t/an de jacinthes d'eau, 4'144 t/an de typha et 20'000 t/an de biodéchets. Les autres variantes sont présentées en annexe 4.

	unité	jacinthes d'eau	déchets organiques de la ville de Bamako	typha	Total/moyenne	Coûts CHF
taux MS	%	5%	45%	54%	15%	
procédé	-	bi-étape	mono-étape	bi-étape		
procédé	-	à deux niveaux	à deux niveaux	à un niveau		
type fermentation	-	humide mésophile	humide mésophile	sèche mésophile		
temps de résidence pré-tr	j	5	5	5	5	
temps de rés. hydro/acido	j	10				
temps de résidence méth	j	30	40	40	37	
Nombre jours exploitation	j/an	300	300	300	300	
Quantité annuelle	t/an	80'000	20'000	4'144	104'144	
Quantité quotidienne	t/j	267	67	14	347	
volume pré-traitement	m3	1'333	333	69	1'736	702'969
volume hydro/acido	m3	2'667	0	0	2'667	1'080'000
volume méthanisation	m3	8'000	2'667	552	11'219	4'643'750
Biogaz produit	m3/an	1'480'000	1'037'500	1'767'625	4'285'125	
% méthane dans biogaz	%	60%	60%	60%	60%	
Rendement él. CCF	%	36%	36%	36%	36%	
Production électrique	kWh/an	3'256'000	2'282'500	3'888'775	9'427'275	
Production chaleur	kWh/an					
Puissance électrique CCF	kW	452	317	540	1'309	1'115'561
Puissance chaleur CCF	kW					



(Ci-dessous: ajouts à partir de p.170 Praxis Biogaz)

Pompes	kW	10	11'250
Conduites chauffage	m	1'000	75'000
Isolation chaleur	m3	0	0
Agitateurs	kW	15	54'000
Réservoir gaz à membranes	m2		39'000
Technique dépôt/mélang. sul	m3		57'000
Technique d'élévation	m	30-50	11'250
Introduction subst. méthan.		5	60'000
Pilotage (commande)			6'000
Technique pesée			9'000
Séparateur (10 m2 Subst./h)		14 m2/h	30'000
Technique purification gaz		460 m3/h	165'000
Péparation gaz (épaisseur)		500 m3/h	30'000
Local (pompes, échangeur ch.)			22'500
Transformateur			45'000
Appareils de mesure			22'500
Investissement récolte selon PB divisé par 2 (car bcp moins de jacinthes et déchets urbains déjà ramassés)			1'100'000
Frais ingénierie (1'000'000 et 200'000 pour spécificité projet Mali)			1'200'000
Achat terrains			50'000

TOTAL			
			Coût total
			SFr. 10'529'780

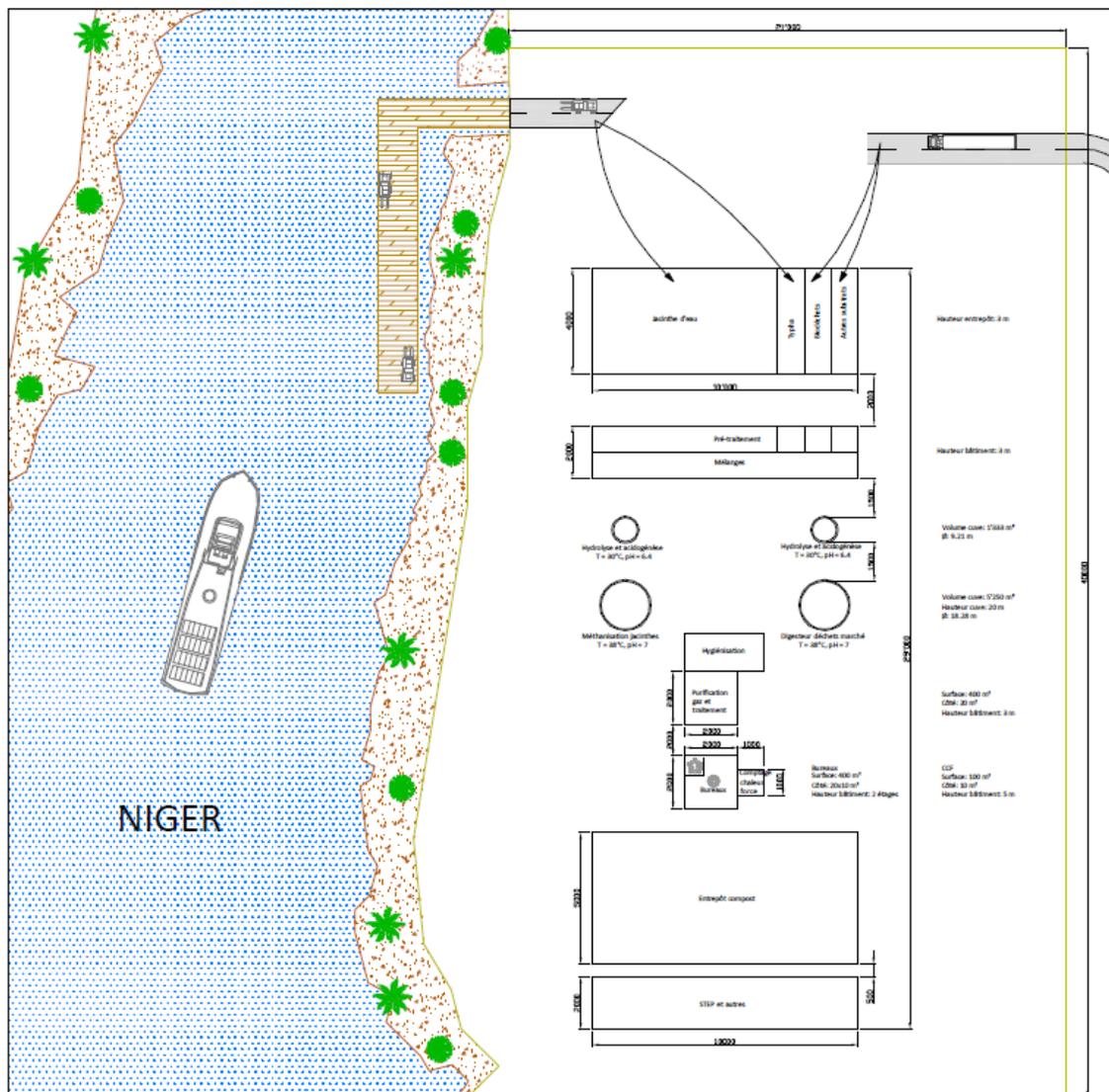
3.4 Détails des technologies de méthanisation

La méthanisation prévue est par voie humide car les jacinthes d'eau sont gorgées d'eau (5% de matière sèche) et la teneur globale en matière sèche, en tenant compte des biodéchets et autres plantes aquatiques s'élève à 13%. La technologie de méthanisation est mésophile avec des températures de fonctionnement proches de 35°C (renoncement de la voie thermophile en raison des risques d'exploitation plus grands).

Les détails sont présentés en annexe 3.

3.5 Plans des principaux dispositifs de l'usine de production d'énergie

Le plan provisoire complet de l'usine de méthanisation est présenté en annexe 5. Ci-dessous, une partie du plan est présentée pour illustrer l'emprise au sol. Les différents objets sont volontairement disposés de façon très espacée afin de réserver une zone de 3 hectares suffisamment vaste, permettant à l'avenir d'intégrer de nouvelles lignes de méthanisation avec la perspective d'une augmentation des quantités de biodéchets valorisés.



4. Organisation de la récolte du substrat et exploitation de l'installation

4.1 Organisation de la récolte

Le présent projet de méthanisation des plantes aquatiques nuisibles est pressenti pour prendre le relais du projet actuel de ramassage mécanique et compostage. L'expérience acquise ces dernières années avec le projet en cours piloté par le ministère de l'environnement et appliqué dans 8 autres pays touchés par ce fléau (voir pancarte de l'illustration ci-dessous) a permis d'identifier les points forts et les déficiences du système de ramassage actuel. Ce ramassage est effectué intégralement avec les moyens traditionnels : pirogues et pinasses. Ce système n'est pas concluant, notamment pour le ramassage du typha. Il est indispensable d'acquérir des bateaux faucardeurs en complément des embarcations traditionnelles selon le coordinateur national du Mali du programme de gestion des plantes aquatiques nuisibles.



Ci-dessous, à gauche l'illustration de bateaux faucardeurs permettant un perfectionnement du ramassage des plantes aquatiques nuisibles et à droite, le ramassage traditionnel effectué aujourd'hui (source photo : ministère de l'environnement du Mali).



4.2 Appel d'offres pour l'acquisition de bateaux équipés pour la récolte

Concernant le ramassage des jacinthes, des fougères et des salades d'eau, le bateau envisagé dans le cadre du présent projet est un bateau faucardeur développé par GC Distribution (type MC 105-10). Les chiffres articulés ci-dessous sont déterminés avec une précision à +/- 25%, basés sur une offre indicative de l'entreprise GC distribution.

Caractéristiques du bateau faucardeur :

- Capacité de ramassage = 6'000 m²/h hors vidange,
- Capacité stockage = 15 m³,
- Capacité stockage ~ = 7.5 t jacinthes d'eau (hypothèse),
- Coût : CHF 400'000 à 500'000.

Caractéristiques projet :

- Densité jacinthes d'eau = 42 kg/m² (ou m³),
- Largeur ramassage = 2.2 m,
- Distance pour un remplissage = 81 m,
- Distance pour ramassage 267 t/j jacinthes d'eau = 2'886 m (variante 5 avec 80'000 t/an de jacinthes d'eau ramassées),
- Temps ramassage jacinthes d'eau = 86 minutes.

Un seul bateau équipé d'un faucardeur suffit pour le ramassage des jacinthes d'eau. En divisant la capacité de ramassage de 6'000 m²/h par 3 pour prendre en considération le temps pour la vidange, on obtient un ramassage de moins d'une heure et demi pour les jacinthes d'eau dans le cas d'un ramassage de 267 t/j, soit 80'000 t/an. Le ramassage des fougères d'eau et salades d'eau peut donc également être réalisé avec le bateau précité.



Illustration faucardeur utilisé par la ville de Neuchâtel pour le ramassage des algues après 2 années d'utilisation. Le tapis roulant est en acier inoxydable ainsi que toutes les autres composantes sujettes à forte sollicitation, très peu d'électronique pour le fonctionnement, robustesse avérée.

Concernant le ramassage du typha, un nouveau bateau amphibie est en cours de développement par le fournisseur GC Distribution, le coût se situe dans une fourchette entre CHF 450'000 et 550'000.

Un ponton flottant permettant de réceptionner et stocker la quantité journalière de plantes récoltées sera fabriqué sur place au Mali. Le coût estimé est d'environ CHF 50'000 pour une capacité de stockage d'environ 600 m³. Un simple bateau pousseur pourra déplacer ce ponton, coût estimé à CHF 50'000.

Au total, le montant d'investissement pour 2 bateaux spéciaux équipés pour le ramassage, pour le ponton flottant et pour le bateau pousseur est estimé à CHF 1'100'000 (chiffre conservateur).

Lors de la phase de réalisation, le fournisseur cité ici sera mis en concurrence avec le fournisseur Aquarius.

Le cahier des charges pour l'acquisition de bateaux équipés de faucardeurs comprendra les caractéristiques précitées.

(Concernant les autres variantes présentées en annexe 4, un seul bateau équipé d'un faucardeur suffit pour le ramassage des jacinthes d'eau pour les variantes 1, 2 et 3 envisagées - pas besoin d'un bateau amphibie. Deux bateaux équipés de faucardeurs sont nécessaires pour la variante 4.)

4.3 Organisation et conditions de la distribution d'engrais

Le montage financier du projet est jusqu'ici réalisé avec l'hypothèse de ne pas vendre l'engrais produit par l'usine.

Il est prévu de distribuer l'engrais gratuitement aux agriculteurs. Ces derniers devront venir eux-mêmes sur place pour transporter l'engrais.

Une filière de valorisation a déjà été identifiée dans la région de Siby, à 40 km de Bamako (photo ci-dessous). Un projet de maraîchage biologique va être implanté sur une superficie de 15 hectares.

D'autres opportunités de valorisation de l'engrais seront investiguées dans le cadre de l'avant-projet.



4.4 Structure exploitante envisagée

La structure juridique du projet n'est pas une question qui doit être posée au stade de l'étude de faisabilité selon le ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali. Cette question trouvera réponse plus tard dans le projet. Le ministère de l'environnement et de l'assainissement, en tant que maître de l'ouvrage du projet décidera de cette structure.

4.5 Valorisation du biogaz

Le Mali fait face à des besoins énergétiques en pleine croissance. EDM SA, la compagnie productrice et distributrice d'électricité étudie plusieurs projets hydro-électriques et thermiques actuellement afin de produire davantage d'électricité. Dans le cadre de l'étude de faisabilité, il est prévu de valoriser le biogaz produit en le brûlant dans un moteur à couplage chaleur force. La rentabilité du projet est pour l'instant calculée en fonction de la vente de l'électricité produite uniquement (hypothèse : pas de repreneur de chaleur).

AMADER propose de ne pas seulement convertir en électricité la production de biogaz, mais également de conditionner des bouteilles de biogaz pouvant servir à la cuisson des aliments dans les ménages ; il existe en effet une grande pression exercée sur les forêts en raison du bois utilisé aujourd'hui comme combustible. Cette variante sera investiguée dans le cadre de l'avant-projet mais semble difficile à mettre en œuvre (surcoût pour la mise en bouteille, épuration du biogaz pour atteindre un seuil quasi indolore etc.)

4.6 Rachat de l'électricité produite

La problématique principale du rachat de l'électricité produite par l'usine de méthanisation est conditionnée par la négociation entre les ministères de l'environnement et de l'énergie, avec l'aboutissement à un prix de rachat du kWh d'électricité produite permettant de rentabiliser l'installation de méthanisation. EDM SA produit et distribue sa propre production d'électricité. Hormis un cas isolé, il n'existe pas de convention de rachat de l'électricité produite par un producteur indépendant. Il n'existe pas de texte législatif sur l'énergie précisant d'éventuelles conditions de rachat de l'électricité produite.

Cette thématique a été abordée lors de la table ronde, le ministère de l'environnement et de l'assainissement la reportera au sein du gouvernement afin d'aboutir à une décision sur le tarif de rachat décidé pour un certain nombre d'années avec le ministère de l'énergie.

Plusieurs responsables d'EDM SA ont été consultés (voir annexe 1) et cette thématique a été présentée. Les conditions de rachat incluant le prix de rachat du kWh seront définies lors de la phase d'avant-projet.



5. Coûts et revenus du projet

Tous les coûts mentionnés ci-dessous sont donnés avec une marge d'incertitude de $\pm 25\%$.

5.1 Coût pour la récolte

Le coût pour la récolte se compose des positions suivantes :

- coût en personnel : 60'000 CHF/an (10 personnes pour conduire les bateaux et déposer les substrats à l'entrée de l'usine,
- investissement pour l'acquisition des bateaux :
 - type faucardeur \rightarrow CHF 500'000/bateau,
 - type amphibie équipé d'un bras mécanique \rightarrow CHF 500'000 /bateau,
 - type ponton avec bateau pousseur pour le transport des substrats \rightarrow CHF 100'000 /bateau et ponton.
- total investissement bateaux : **CHF 1'100'000**.

5.2 Coût pour l'usine de production d'énergie

Le coût pour la construction de l'usine de méthanisation a été calculé sur la base de valeurs estimées pour chaque position (voir section 3.3) avec comme source le retour d'expériences des installations de méthanisation construites en Allemagne récemment et également en fonction de l'offre du fournisseur Strabag (voir annexe 3). Les coûts estimés par le fournisseur ont été formulés sur la base des coûts classiques de construction dans les pays européens. Ces coûts peuvent être abaissés conséquemment dans le cadre malien.

On obtient les montants suivants :

- coût usine estimé en fonction de chaque position (coûts théoriques par élément) : CHF 9'430'000,
- coût estimé par le fournisseur Strabag pour une construction avec conditions cadres européennes : CHF 10'650'000,
- différence : CHF 1'220'220, soit 11.5%.

Le coût retenu pour l'usine de méthanisation est de **CHF 9'430'000**, avec l'hypothèse conservatrice que la construction de l'usine soit moins chère au Mali de seulement 11.5% par rapport à une construction en Europe (les coûts de construction devraient être significativement inférieurs, en revanche le coût des équipements reste identique).

5.3 Coûts d'exploitation

Les positions considérées pour l'exploitation de l'usine sont les suivantes :

- salaires personnel : CHF 200'000/an (comprenant 3 techniciens expérimentés pour le fonctionnement de l'usine, 10 personnes pour le ramassage des substrats et 20 personnes non qualifiées pour les travaux de maintenance et d'exploitation de l'usine),
- assurances → 0.5% de l'investissement des équipements de méthanisation : CHF 47'000 /an,
- maintenance et réparations :
 - éléments de construction : CHF 188'000/an,
 - équipements techniques : CHF 33'000/an,
 - couplage chaleur force : CHF 4'500/an.
- pétrole pour allumage moteur : CHF 10'000/an,
- total frais d'exploitation : **CHF 478'000/an.**

5.4 Revenus de l'énergie produite, électricité et chaleur

Le projet est monté avec l'hypothèse de ne générer aucun revenu sur la chaleur. Il serait toutefois envisageable d'investiguer les futurs développements d'usines qui auraient potentiellement besoin d'une source de chaleur importante afin de valoriser la chaleur produite.

Revenus grâce à l'électricité vendue :

- Avec l'hypothèse d'un accord avec vente de l'électricité à CHF 0.18/ kWh équivalent à 88 FCFA/kWh, on obtient pour 9'427'275 kWh produits annuellement : **CHF 1'696'910/an.**

5.5 Revenus des engrais

Le projet est monté avec l'hypothèse de ne générer aucun revenu sur l'engrais. Cependant, comme déjà testé à l'université de Ougadougou, la teneur en nutriment du compost produit essentiellement par la méthanisation de jacinthe d'eau est très intéressante comme illustré dans le tableau ci-dessous (*source : Production de biogaz et de compost à partir de la jacinthe d'eau pour un développement durable en Afrique sahélienne, université Ouagadougou, avril 2008, Oumarou Almoustapha*) :

Tableau 4. Teneur en composés azotés et phosphorés (mg/kg/MS) des composts de jacinthe d'eau par fermentation anaérobie

Paramètres	Jacinthe d'eau
Azote Kjeldahl	627
Azote ammoniacal	128
Phosphore total	9930
Ortho phosphates	690
Carbone organique total	1099

L'usine de méthanisation produit environ 50'000 t/an de compost. Cette quantité permet de couvrir les besoins de 1'500 ha en production maraîchère. Se référer à la section 7.3 : fiche didactique proposant une méthodologie de valorisation du compost par le développement d'une agriculture biologique pour plus d'informations sur la possibilité de valorisation de l'engrais.

5.6 Obtention de certificats CO₂

Avec le dimensionnement actuel, on attend plus de 9.4 GWh de production d'électricité annuelle. En comptabilisant un scénario de référence pour la production d'électricité au Mali avec groupe électrogène fonctionnant au diesel (majorité des systèmes décentralisés produisant l'électricité en îlot ainsi que les nouvelles centrales thermiques d'appoint mises en services récemment), on obtient une économie de 0.832 kg équivalent CO₂ par kWh produit. On obtient les chiffres caractéristiques suivants pour le projet de méthanisation :

- 6'000 à 7'000 tonnes de CO₂ économisées par an selon les hypothèses retenus,
- CHF 80'000.- par an de gains potentiels (sur la base conservatrice de 6'000 tonnes de CO₂) équivalents à ~FCFA 40'000'000.- par an (prix de 10 €/tCO₂ pris en considération correspondant à un prix négocié et potentiellement garanti par un acheteur pour ce projet, fonction du cours du mois de juillet 2010) selon les informations délivrées par First Climate (voir PV en annexe 6).

Ce projet est considéré comme petit à l'échelle des projets MDP (Mécanisme de Développement Propre) inscrits à l'UNFCCC (la moyenne se situe à 50'000 tonnes de CO₂/an), mais il présente des caractéristiques sociales et environnementales intéressantes qui peuvent attirer d'éventuels acheteurs.

Plusieurs options sont offertes au maître d'ouvrage d'un projet au niveau de la vente des certificats CO₂ :

- vente sur le marché au prix réel (risque pris par le maître d'ouvrage car le marché est très fluctuant et les tendances d'évolution sont difficiles à évaluer),
- vente à hauteur de 80% du prix du marché au moment de l'accord : risque prix par l'acheteur,
- vente à 90% du prix du marché réel : risque partagé entre acheteur et maître d'ouvrage.

Il est possible de vendre une fois les certificats sur 10 ans ou alors 3 fois 7 ans renouvelables. La règle actuellement la plus suivie sur le marché est de vendre une fois sur 10 ans. Il est fortement recommandé de vendre une fois sur 10 ans selon la pratique actuelle la plus répandue en raison des incertitudes par rapport aux possibles changements des conditions cadres attendus à l'horizon 2020.

Le projet peut être soit certifié via le marché obligatoire régulé par l'UNFCCC avec des prix de transaction élevés et des gains par tonne d'émission plus élevés également – environ 12 €/tCO₂ (prix marché juillet 2010), soit certifié via le marché volontaire, typiquement avec la certification via le Gold Standard. Cette deuxième option permet de réduire les coûts de transaction mais offre en contrepartie une rémunération moindre – environ 8 €/tCO₂.

Concernant le projet biomasse Mali de Planair, les coûts estimés par les spécialistes sont les suivants :

- coût montage du PDD : 30'000 € (équivalents à ~£ CHF 40'000 ou 19'600'000 FCFA),

- coût audit du projet pour l'enregistrement : 20'000 € (équivalents à ~CHF 26'600 ou 13'000'000 FCFA),
- coût annuel pour audit des émissions réelles : 10'000 € (équivalents à ~ CHF 13'300 ou 6'500'000 FCFA),
- total revenus : ~ 60'000 €/an (équivalents à ~ CHF 80'000 ou 40'000'000 FCFA),
- bilan : bénéfice de 450'000 € (équivalents à ~ CHF 600'000 ou 295'000'000 FCFA) sur la totalité du projet avec l'hypothèse de vendre les certificats d'émission pendant 10 ans (indépendamment de l'incertitude des conditions cadres pas encore définies après 2020).

6. Montage financier

6.1 Identification d'investisseurs

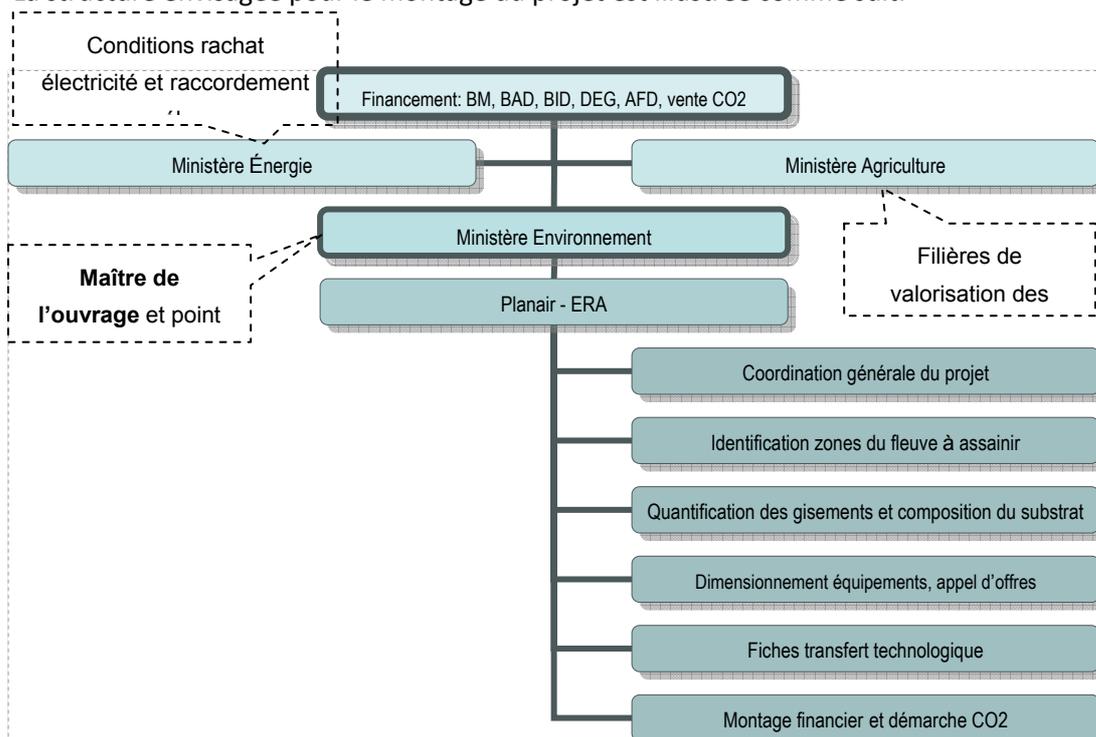
Le ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali va être le maître de l'ouvrage du projet de l'usine de méthanisation et investira dans le projet. Le montage financier se fera par le gouvernement malien et au besoin avec la participation du bureau Planair SA et l'ONG E.R.A.

De nombreuses institutions internationales bancaires peuvent être impliquées dans le financement du projet :

- BID (Banque Islamique de Développement),
- DEG (Deutsche Investitions – und Entwicklungsgesellschaft) via KFW,
- AFD (Agence Française de Développement) via PROPARGO,
- BAD (Banque Africaine de Développement),
- BM (Banque Mondiale).

Ces institutions sont contactées directement par le gouvernement malien.

La structure envisagée pour le montage du projet est illustrée comme suit.



6.2 Rentabilité du projet

Rentabilité détaillée pour la variante de substrats présentée dans la section 3.1. La rentabilité est exprimée en CHF dans le tableau ci-dessous. Concernant les autres variantes, les investissements et gains annuels sont présentés en annexe 4.

HYPOTHESES FINANCIERES					
hypothèse prix rachat électricité	0.18	CHF/kWh	88	FCFA/kWh	
hypothèse taux d'intérêts	4.0%	%	4.0%	%	
INVESTISSEMENTS					
Investissement total sans CCF	9'414'219	CHF	4'594'138'750	FCFA	
Investissement CCF	1'115'561	CHF	544'393'707	FCFA	
<i>Total investissement</i>	<i>10'529'780</i>	<i>CHF</i>	<i>5'138'532'457</i>	<i>FCFA</i>	
ANNUITE					
Equipements	60% install 20 ans	415'629	CHF/an	202'826'862	FCFA/an
(méthanisation hors CCF)	40% install 10 ans (partie à renouveler sur 20 ans, reste sur 10 ans)	464'275	CHF/an	226'566'282	FCFA/an
CCF (<i>hypothèse coût entretien égal à un nouveau CCF tous les 8 ans</i>)		165'692	CHF/an	80'857'617	FCFA/an
Assurances 0.5%		47'149	CHF/an	23'008'662	FCFA/an
Terrain		3'679	CHF/an	1'795'395	FCFA/an
Réparat/mainten.	Construction	188'284	CHF/an	91'882'775	FCFA/an
	Technique	33'467	CHF/an	16'331'811	FCFA/an
Divers et imprévus		10'000	CHF/an	4'880'000	FCFA/an
Formation continue		20'000	CHF/an	9'760'000	FCFA/an
Evaluation salaires		200'000	CHF/an	97'600'000	FCFA/an
<i>Total coûts annuels</i>		<i>1'548'175</i>	<i>CHF/an</i>	<i>755'509'405</i>	<i>FCFA/an</i>
RECETTES					
Total recettes vente électricité		1'696'910	CHF/an	828'091'836	FCFA/an
Total recettes certificats CO2		80'000	CHF/an	39'040'000	FCFA/an
<i>Total recettes annuelles</i>		<i>1'776'910</i>	<i>CHF/an</i>	<i>867'131'836</i>	<i>FCFA/an</i>
RESULTAT					
Bénéfice (hors vente chaleur, compost)		228'734	CHF/an	111'622'431	FCFA/an

L'hypothèse de calcul est de fixer ici un taux d'intérêt à 4%. On obtient ainsi un bénéfice annuel proche de CHF 250'000/an (ou 121'382'431 FCFA/an) avec un rachat de l'électricité à 0.18 CHF/kWh. Avec cette condition de rachat, le projet est à l'équilibre (résultat nul) avec un taux d'intérêt à 7.5%.

7. Transfert technologique

Le transfert technologique représente un point crucial pour inscrire le projet dans la durabilité. Dans le contexte particulier de la méthanisation, il est avantageux d'étudier le fonctionnement des installations en exploitation (contrôles périodiques décrits ci-après) et d'effectuer les ajustements, réglages et modifications permettant d'optimiser l'usine. Un budget de CHF 20'000.- par an est prévu à cet effet. Ce budget permet de transférer le savoir-faire du fournisseur d'équipement, non seulement durant la phase de projet mais aussi périodiquement une fois l'installation en exploitation. Le transfert technologique sera donc effectué en deux étapes :

- Phase de conception,
- Exploitation, fonctionnement de l'usine.

Durant la phase de conception, les dommages causés aux bâtiments et aux équipements techniques seront présentés via un séminaire spécifique. Puis, lors de la phase d'exploitation, un séminaire annuel avec la participation du fournisseur d'équipement aura lieu sur le site de l'usine de méthanisation afin d'observer, analyser et trouver les solutions aux problèmes rencontrés. Des bilans trimestriels seront aussi communiqués au fournisseur d'équipement avec réaction de sa part permettant aux exploitants la prévention de dérives potentielles. Dans ce cadre, les chiffres clés d'exploitation seront communiqués (moyenne des puissances électriques du couplage chaleur force, de gaz produit, de température dans la cuve de fermentation, de pH etc.).

7.1 Fiche didactique de transfert technologique d'une usine de méthanisation

Dommmages causés aux bâtiments et conseils pour la conception

Les problèmes les plus fréquents dans une installation de méthanisation proviennent des vapeurs se dégageant des déchets biodégradables chauds et humides. Cette atmosphère contenant une humidité très élevée provoque essentiellement des dommages de corrosion :

- sur les parties en acier et alliages :
 - corrosion régulière à la surface qui forme une érosion quasi uniforme,
 - corrosion avec formation de trous uniquement sur de petites surfaces,
 - corrosion dans les fissures où elle s'étend rapidement,
 - corrosion de contact quand deux matières différentes se touchent dans une solution électrolyte chargée électriquement.
- matériaux métalliques fréquemment utilisés :
 - acier St 37 : faiblement résistant à la corrosion, utilisé pour des parois épaisses avec protection ou seulement de façon accessoire,
 - acier galvanisé : dans les espaces relativement secs, intéressant au niveau du prix et la couche de protection en carbonate de zinc est fiable tant qu'il n'y a pas de contact avec des produits chimiques dissolvant le zinc comme les chlorures, les sulfates et les nitrates → revêtement d'au moins 120 µm formé de trois couches est conseillé,
 - aluminium : formation d'une couche en surface d'oxyde d'aluminium qui résiste à la corrosion pour un pH compris entre 4 et 9 → l'expérience montre que l'aluminium n'est pas adapté en tant que matériau de construction dans une atmosphère chargée en vapeurs et acides organiques,

- acier inoxydable V2A et V4A offrent une excellente résistance à la corrosion et garantissent une durée de vie suffisante.
- pièces de soutènement des halls :
 - en béton : dommages essentiellement provoqués par la charge mécanique avec comme résultat des craquements qui peuvent aussi être causés par une épaisseur trop fine, un béton trop perméable ou par les variations de température importantes (provoquant typiquement des craquements de grandes surfaces de sols),
 - en acier : forte corrosion des poutres et poteaux en acier dans les installations de méthanisation, il faut impérativement bien protéger ces éléments et veiller au revêtement (corrosion se développe essentiellement aux endroits endommagés du revêtement),
 - en bois : les variations d'humidité combinées aux rayonnements du soleil peuvent menacer l'équilibre statique de la construction quand les poutres sont minces.
 - les conseils pour les structures des halls sont les suivants :
 - ▶ protéger les halls de deux couches d'isolation afin d'éviter la formation de condensation,
 - ▶ recouvrir en particulier les tôles ondulées avec une couche étanche, vérification minutieuse des raccords des tôles ondulées (parties sensibles),
 - ▶ connecteurs des poutrelles et des pannes doivent être en acier inoxydable, les parties en acier galvanisé doivent être protégées par un revêtement non poreux,
 - ▶ pattes de liaison comme connecteurs de charpente de poutrelles et de pannes doivent être en acier inoxydable,
 - ▶ fermes en lamellé-collé doivent être assemblées avec une colle inorganique et doivent en être bien imprégnées,
 - ▶ constructions doivent être conçues de telle manière à ce qu'elles offrent le moins de surfaces possibles aux substances agressives, éviter également les structures fines,
 - ▶ le béton a fait ses preuves pour les parties moins bien protégées,
 - ▶ protéger les bois de construction par des produits de protection de bois hydrosolubles ou huileux.

Dommages causés aux dispositifs techniques et conseils pour la conception

- Les silos :
 - dommages sur le cadre en rails d'acier qui pousse au sol les déchets biodégradables lorsque la teneur en sable est trop élevée,
 - sol endommagé lors du déchargement par les contraintes mécaniques et chimiques,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ planifier une capacité de stockage suffisante permettant d'absorber les quantités supplémentaires en cas d'arrêt de l'installation de méthanisation,
 - ▶ réalisation de rails avec des couches d'usure,

- ▶ réaliser le sol du silo avec un revêtement en acier ou avec des plaques d'usure en matière synthétique.
- Les éléments indésirables qui peuvent être mêlés au substrat à méthaniser engendrent les dommages suivants dans l'étape de pré-traitement :
 - formation de boules qui s'enchevêtrent dans les aimants à tambour avant broyage,
 - destruction des matières indésirables en morceaux trop petits pour les broyeurs avec vitesse élevée comme les tambours hacheurs → impossible ensuite de séparer ces matières indésirables,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ avant broyage : élimination des éléments ferreux grâce à des aimants,
 - ▶ broyer les déchets avec systèmes qui fonctionnent lentement ou usage de moulins à vis sans fin,
 - ▶ séparation des morceaux de la taille d'un grain avec granulométrie suffisante qui est adaptée aux tamis à tambour et aux tamis étoiles.
- Pré-fosses (stockage des déchets pour alimentation le week-end et préchauffage du substrat) :
 - construction de ponts à cause d'un mauvais agencement des espaces,
 - usure des dispositifs d'acheminement,
 - impossibilité de contrôler la quantité acheminée,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ dans les espaces étroits, élargissement des parois et former un cône à l'envers,
 - ▶ réalisation de poussoirs,
 - ▶ contrôle de la quantité et dosage grâce à une balance reliée à des cellules.
- Digesteurs :
 - construction en béton sujette à des fissurations,
 - conseils pour la réfection et veille :
 - ▶ colmater les fissures par lesquelles l'humidité passe,
 - ▶ surveiller les variations de température entre l'intérieur du digesteur (stable) et le manteau extérieur, dues aux conditions météorologiques.
- Système d'alimentation du digesteur :
 - composition variable du substrat pas suffisamment mélangé et chauffé au préalable,
 - panne de la vis alimentant le digesteur à cause de frottements trop importants,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ veiller à planifier des équipements permettant d'alimenter de façon régulière le digesteur avec substrat homogène en température et en quantité de substance organique → installation d'un mélangeur pour les déchets biodégradables préparés et matériel de circulation pour l'acheminement dans le digesteur avec système de pesage,

- ▶ chauffage du substrat avec échangeurs de chaleur (provenant du couplage chaleur force),
- ▶ alimentation du digesteur au moyen de vis sans fin.
- Mélangeurs dans le digesteur :
 - brassage d'une quantité trop importante par la mélangeur entraînant une panne de moteur,
 - vrillage de l'embrayage sur l'arbre du moteur,
 - rupture de l'arbre du moteur du 1^{er} mélangeur à l'extérieur du digesteur dans l'espace d'alimentation,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ installation de mélangeurs bien dimensionnés pour éviter la sédimentation,
 - ▶ contrôle des forces de pliage et torsion du mélangeur lors du brassage maximal et contrôle des tensions liées aux variations,
 - ▶ installation d'un moteur avec variateur de fréquence pour démarrer progressivement le mélange.
- Evacuateur des sédiments du digesteur :
 - destruction du cadre au niveau des parties soudées,
 - rupture de la barre du piston qui relie le cylindre hydraulique extérieur et le cadre,
 - usure des rails en acier et du cadre aux endroits de frottement,
 - usure du béton entre les rails en acier,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ dans la mesure du possible, éviter les parties mobiles à l'intérieur du digesteur (difficultés car ne peuvent pas être contrôlés lors du processus de méthanisation, leur entretien n'est pas possible, il faut en effet interrompre la fermentation, soit vidanger complètement le digesteur, y injecter de l'azote pour empêcher la formation d'un mélange gazeux de méthane explosif, nettoyer l'intérieur puis remettre en marche avec un nouveau substrat),
 - ▶ installation du mélangeur de telle manière à éviter à aménager un système d'évacuation des sédiments,
 - ▶ si un système pour évacuer les sédiments est nécessaire, choisir des dispositifs contrôlables, comme plusieurs cadres fins ou barres stables qui se déplacent séparément),
 - ▶ adapter la construction du sol du digesteur aux mouvements et aux capacités du dispositif d'évacuation des sédiments, éviter d'acheminer les sédiments vers les parois verticales du digesteur (risque d'amoncellement des sédiments entraînant la panne du système),
 - ▶ prévenir l'usure des parties qui frottent sur le sol par le choix approprié des matériaux et par des constructions renforcées,
 - ▶ recouvrement du sol avec des tôles d'acier d'une épaisseur satisfaisante (au moins 15 mm).
- Séchage du digestat, presses à vis sans fin :

Etude de faisabilité

- séchage insuffisant lorsque le digestat ne contient pas suffisamment de matières structurantes,
- saponification du matériau,
- temps de fonctionnement limités du filet de la vis sans fin,
- temps de fonctionnement limités des tamis,
- conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ diminution des fines particules dans le digestat si les déchets biodégradables sont broyés de façon sélective lors du pré-traitement,
 - ▶ ajout, le cas échéant, d'un produit de floculation avant le passage dans la presse à vis sans fin,
 - ▶ installation correcte de la vis sans fin et du tamis après essais,
 - ▶ choisir deux petites presses plutôt qu'une seule grande (ordre de grandeur : deux fois 5 m³/h plutôt qu'une fois 10 m³/h),
 - ▶ protection du filet de la vis dans fin par un revêtement résistant à l'usure.
- Sécheurs thermiques :
 - séchage insuffisant à cause d'une mauvaise diffusion de la chaleur dans le digestat,
 - digestat reste collé sur les parois intérieures à cause de la chaleur, abaissant ainsi l'échange de chaleur,
 - problèmes d'étanchéité à cause de la corrosion importante du cylindre d'acier et plus particulièrement sur les raccords,
 - conseils pour la conception et réfection :
 - ▶ éviter la corrosion avec acier inoxydable type V2A avec pour conséquence une diffusion de la chaleur moins bonne,
 - ▶ plus de difficultés avec les sécheurs thermiques, étudier cette composante dans la phase de projet d'ouvrage avec la possibilité de sécher au moyen de la vis sans fin.

Conseils pour le fonctionnement général de l'exploitation

Ci-dessous, une liste de contrôles à effectuer périodiquement pour le bon fonctionnement d'une installation de méthanisation.

Contrôles quotidiens

Puissance électrique du couplage chaleur force, production d'électricité et saisie des heures de fonctionnement du moteur

Quantité de gaz produit, qualité du gaz et pression

Consommation de carburant pour allumage, état moteur et température carburant

Température dans la cuve de fermentation

Pression d'eau dans l'installation de chauffage

Etude de faisabilité

Paramètres fermentation et valeur pH

Installation, conduite désulfuration et pompe doseuse d'air

Commande de l'intervalle du mélangeur

Niveau de remplissage du réservoir

Documentation de la consommation d'électricité

Contrôles hebdomadaires

Manœuvrer les vannes principales

Niveau de remplissage du fluide en sur/sous pression et séparation des purges

Déversoir des sédiments à l'intérieur

Mécanisme de remplissage

Voie de régulation du gaz

Câbles

Étanchéité silos et stock

Système de transmission

Nettoyer les salissures des éléments de construction

Conduites de gaz

Contrôles mensuels

Manœuvrer toutes les vannes

Extraire les dépôts de mazout sur le couplage chaleur force et nettoyer le bac collecteur de mazout

Contrôles semestriels

Aération/échappement dans la salle à machines où se trouve le couplage chaleur force

Protection des équipements électriques

Fonctionnement des senseurs de gaz et transmission des mesures

Contrôles annuels

Amenée de gaz, éléments de construction (étanchéité, détérioration, corrosion)

Calibration des senseurs de gaz avec gaz d'étalonnage appropriés

7.2 Filières de remplacement du couplage chaleur force

Les caractéristiques du couplage chaleur force de l'installation sont les suivantes :

- puissance électrique installée : 1'309 kW,
- rendement électrique : 36%.

Cet équipement, point sensible du projet, devra être renouvelé, typiquement après 8 ans d'exploitation.

Ci-dessous, une liste de fournisseurs suisses de couplage chaleur force est présentée. Ces fournisseurs ont des références d'installations fonctionnant avec du biogaz.

Fournisseurs de couplage chaleur force en Suisse

Fournisseurs	Marque Moteur	Gamme P él. kW	Modèles Biogaz	Rendement Electrique	Contact
Avesco AG	Liebherr	30 - 90	TG 924	estimation: 33-39%	Hasenmattstrasse 2 4901 Langenthal Tel. 062 915 80 80 Fax 062 915 81 34 http://www.avesco.ch
		120 - 140	TBG 924		
		180 - 240	TBG 926		
			TBG 9408 K		
BHKW Energie-Service AG	Valmet	27	BIBLO BV420 AB	estimation: 32%	St. Gallerstrasse 11 Postfach 273 9302 Kronbühl Tel. 071 298 44 44 Fax 071 298 44 03 http://www.bes-ag.com
		35	BIBLO BV420 ABT		
		48	BIBLO BV634 SB		
		60	BIBLO BV634 SBT		
		80	BIBLO BV645 SBT		
IWK Integrierte Wärme und Kraft AG	MAN	50 - 420	E08 - E 28	39% 40% 42% 39%	Allmendstrasse 7 Postfach 6061 Sarnen 1 Tel. 041 662 15 77 Fax 041 662 15 88 http://www.iwk.ch
		250 - 330	J208 GS		
		520 - 1060	J320GS		
		840 - 1400	J420 GS		
		1400 - 2400	J620 GS		
DIMAG Energie SA	Liebherr	30 - 50	G 4.12	32%	ch. de Pernessy 42 1052, Mont-sur-Lausanne Tel. 021 651 69 69
		45 - 80	G 6.12	32.5%	
		55 - 90	G 924	34%	
		80 - 150	G 926	35%	
		140 - 280	G 9408 T	36%	
Etaone swiss AG		60	eco 60 bio	34.9%	Mattenweg 4 4458 Eptingen Tel. 062 285 20 02 Fax 062 285 20 01 www.eatone.ch
		80	eco 80 bio	35.4%	
		110	eco 110 bio	35.8%	
		150	eco 150 bio	37.6%	
		250	eco 250 bio	37.6%	
Groupe E Entrect SA	MAN Jenbacher Jenbacher	100 - 300			Rte André-Piller 45 1720 Corminboeuf Tel 026 466 70 80 / Fax 026 466 71 00 www.entrect.ch
		300			
		4000			

7.3 Fiche didactique pour le transfert technologique de la valorisation du compost de l'usine de méthanisation par une technique de production agricole biologique

Objectif de valorisation et choix de la technique

La valorisation du compost produit par la méthanisation des jacinthes d'eau et autres plantes aquatiques prolifératrices permet de contribuer à la récupération des sols dégradés des régions sèches du Mali pour les rendre plus productifs grâce à l'épandage du compost obtenu après méthanisation. La technique des murets, déjà éprouvée à l'échelle villageoise au Mali par l'ONG ERA permet de garantir le développement d'une agriculture biologique intégrée. Cette technique est donc recommandée pour la valorisation du compost généré par l'usine de méthanisation.

Cette technique consiste à l'introduction de la technique des murets sur des micro-parcelles aménagées à cet effet allant de 2 à 5 ha. Afin de garantir un développement intégré du projet, respectueux des techniques et coutumes locales en agronomie, la technique des murets est transmise dans le but d'accompagner les hommes et les femmes des régions sèches du Mali à se réinstaller durablement sur les terres abandonnées dans un pays où les productions agricole et pastorale sont souvent menacées par la sécheresse.

Principe de la technique

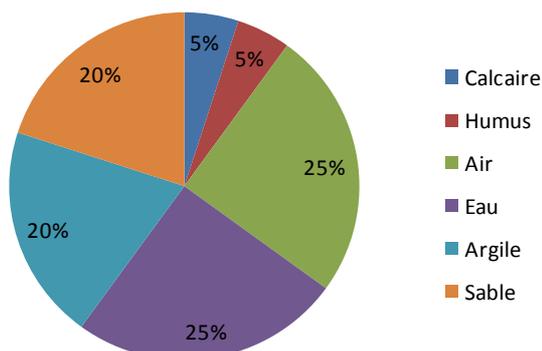
Comme mentionné plus haut, la technique des murets est une forme de « culture biologique », dont le principe est basé sur :

- la protection de l'espace contre le vent, les eaux de ruissellement, les infiltrations, l'évaporation et les prédateurs :
- l'enrichissement de la terre par le fumier, le purin, le compost et le calcaire ainsi que des engrais verts.

Toutes les matières premières nécessaires à la restauration des terres sont généralement disponibles localement ou peuvent être apportées à très faible coût. La composition physique du substrat dans les murets est la suivantes

- Argile de l'ordre de 20 % mais variable en fonction des cultures
- Sable 20% également variable
- Humus 25 %
- Eau 25 %
- Calcaire 5%
- Air 5%

Composition physique du substrat dans les murets



Description, implantation et résultats attendus de la technique des murets

Il s'agit d'une forme d' « agriculture nouvelle », organique, répondant aux normes biologiques requises pour la production d'une alimentation saine. La technique est simple. Elle produit un paysage architectural au milieu physique, comme le terrassement. Elle est constituée d'un substrat agronomique dont les détails sont expliqués plus loin. Elle a pour particularité l'occupation durable de l'espace et d'une main-d'œuvre abondante souvent à la recherche d'emploi en milieu rural. La technique requiert un travail intensif pour sa mise en œuvre. Comme l'espace dégradé nécessite une grande utilisation de cette force de travail, il crée ainsi des emplois pour ses usagers. Le terrain ainsi aménagé par cette main-d'œuvre doit être exploité en permanence. Cet apport de travail demeure constant et change le comportement des exploitants à l'usage de la terre. Sur une base des façons culturelles soignées, la technique entraîne un fort potentiel

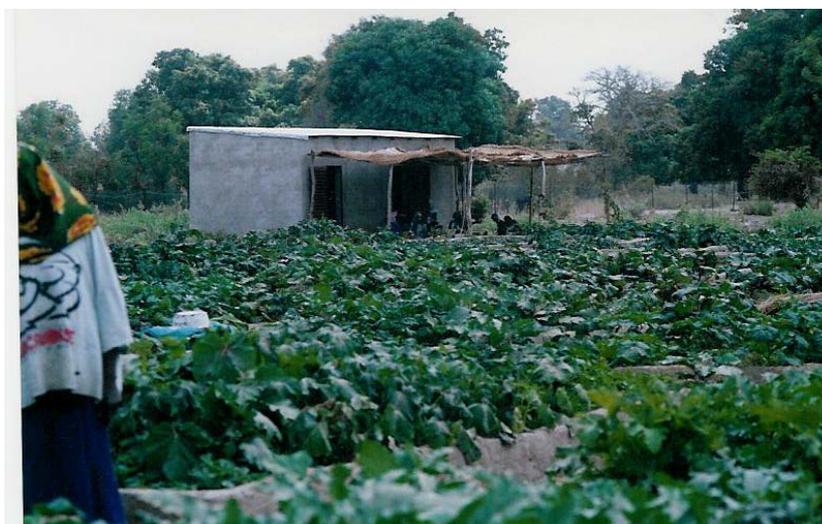


Formation à la technique des murets-ERA-International

de production dans les zones marginales condamnées auparavant pour la croissance végétale et animale. Elle restaure le milieu. En conséquence, ce programme permet de favoriser la diversification des cultures, attirer des consommateurs des produits cultivés biologiquement en vue de satisfaire les besoins alimentaires pour les collectivités locales, nationale et même internationale vue qu'il s'agit des cultures biologiques.

L'intérêt du projet consiste donc à démontrer par des méthodes simples :

- la possibilité de participation pour tous les groupes de production au façonnement et à la gestion de l'espace dans un processus de développement/ protection et conservation des ressources naturelles,
- la capacité de changement du comportement des usagers et des occupants de l'espace en vue de l'exploitation des ressources naturelles grâce à la méthode d'exploitation rationnelle des sols par la technique des murets, dans le contexte sociaux, climatiques, et économiques difficiles, de certaines régions du Mali,
- l'amélioration sensible de la condition de vie des usagers sur le plan économique, avec pour acquis l'équilibre des écosystèmes, grâce à l'agriculture et le recyclage des déchets ménagers pour l'assainissement des villes par leur utilisation rationnelle dans la reconstitution des sols dégradés.



Le concept de la restauration du milieu est un moyen efficace pour la mobilisation des population des zones dégradées, des bassins versants des montagnes érodées, des plaines mal exploitées et des zones humides, autour d'un certain nombre d'activités concrètes dans lesquelles les populations locales peuvent s'engager pour arriver plus loin que la simple autosuffisance alimentaire et lutter pour un mieux-vivre dans leur environnement.

L'idée de la technique des murets est la restauration des écosystèmes naturels afin de redonner aux populations locales leur rôle de conservateurs de leur cadre de vie. Son but est d'arrêter l'avancée du désert par la transformation des zones dégradées en bandes vertes pour la protection de l'habitat et la sauvegarde de l'environnement tout en assurant une évolution sociale et économique. Les activités générées par la technique (formation des cadres pour l'encadrement technique des usagers de la technique, agriculture, élevage en stabulation, etc.) renforcent la responsabilisation des habitants à l'organisation, l'exploitation, la commercialisation, le stockage et la conservation des ressources locales, freinant ainsi l'érosion génétique de la faune et de la flore. Les prédateurs (oiseaux, bétail, voleurs, criquets pèlerins) peuvent être facilement plus contrôlés, car les parcelles agro-sylvicoles sont clôturées.

Des clôtures en banco de 1.50m de haut diminuent la violence du vent contre les arbres et les cultures. Elles arrêtent systématiquement la divagation des animaux destructeurs des plantes épineuses, ligneuses et fruitières. Une clôture en banco est un investissement assez lourd pour un agriculteur, mais faisable quand il s'agit de développer une agriculture et un élevage rationnel. Elle a pour conséquence de prévenir les conflits sociaux entre éleveurs et agriculteurs.



Jardin des femmes Samaké à Dialakoroba

L'autre volet essentiel de la technique des murets est la reforestation grâce à une « culture » d'arbres, une activité nouvelle dans les traditions africaines. L'apport d'un terreau riche en argile retient l'eau, réduit sa déperdition par infiltration et par évaporation. Elle vise à la production active de bois de construction, de fourrage pour le bétail en particulier pour les petits ruminant (chèvres, moutons, etc.) et surtout de bois de feu et de charbon de bois, limitant d'une part le déboisement sauvage et assurant d'autre part l'approvisionnement énergétique des agglomérations proches et éloignées des grandes villes. Les forêts mortes peuvent être peu à peu régénérées par des graines issues des défécations du bétail en transhumance. La mise en place d'un système hydraulique est le pilier du système de plantation dans les murets. Il permet de résoudre la pénurie alimentaire et de reconstruire la faune et la flore du milieu. La diversification de la production céréalière, maraîchère et forestière dans les murets rend les habitants indépendants dans une production mieux adaptée au climat grâce à un équipement technique simple en matière d'outillage agro-sylvicole et grâce à une formation adéquate et facilement accessible.

La technique des murets dans les zones sèches protège les zones humides. Elle permet le repeuplement des zones sèches avec des arbres fruitiers (citronnier, goyavier, manguiers, papayer etc.) et forestier (*Prosopis juliflora*, *Parkinsonia aculeata*), ainsi que des plantes fourragères et médicinales.

Etude de faisabilité

La population locale peut donc, grâce à un investissement modeste et à un rendement beaucoup plus élevé, vivre bien de sa terre et retrouver son statut de fournisseur des villes en aliments. En contrepartie, la masse des chômeurs citadins créée par l'exode rural trouvera une réelle motivation économique à retourner vers les campagnes, apportant une main-d'œuvre utile au développement des activités agricoles. Il faut noter aussi que la technique des murets est applicable dans les villes à forte concentration humaine vivant dans des espaces exigus. Elle est une source d'emplois remarquable dans le cadre du recyclage des déchets urbains, du transport des matériaux et de la production maraîchère en périphérie urbaine.

Ci-dessous, une liste des positions et investissement relatifs pour le développement d'un site de maraîchage sur une surface d'exploitation de 20'000 m².

N°	Activité	Montant FCFA	Montant CHF
I.	Construction d'une bergerie	3'765'500	9'414
II.	Achat des animaux et soins vétérinaires	3'006'422	7'516
III.	Construction maison collective pour 120 femmes	993'420	2'484
IV.	Construction dépôt et logement gardien	7'765'342	19'413
V.	Construction cuisinette et salle d'accueil enfants	1'044'180	2'610
	Construction coin de toilette WC	717'245	1'793
VI.	Construction d'une clôture en banco pour la protection du site	10'857'000	27'143
VII.	Travaux de décapage du sol avant l'implantation des murets et topographie	2'884'000	7'210
VIII.	Aménagement du site en murets	8'070'000	20'175
IX.	Equipement & outillage agricole, semences horticoles, moyen de locomotion	55'401'000	138'503
X.	Installation d'un système hydraulique complet	70'402'675	176'007
XI.	Formation des formatrices à la technique des murets et à l'agriculture biologique intégrée à l'élevage d'ovins	3'120'000	7'800
XII.	Imprévus et divers 5%	7'624'805	19'062
XIII.	Frais de gestion et d'administration de 15%	24'018'136	65'869
	Total pour un site de 20'000 m²	199'669'725	504'999

8. Conclusion

8.1 Généralités

La valorisation énergétique des plantes aquatiques prolifératrices dans le fleuve Niger au Mali peut être concrétisée par la réalisation d'une ou plusieurs usines de méthanisation, générant de l'électricité de source renouvelable et du compost d'excellente qualité.

Hormis les bénéfices directs en production électrique et dans la régénération des sols agricoles, un bénéfice environnemental serait donc engendré par la lutte contre l'infestation de plantes aquatiques nuisibles dans le fleuve Niger. Ainsi la navigation, l'irrigation en rizière, la circulation de l'eau dans les canaux d'irrigation, la pêche, la santé humaine seraient améliorées. Il en serait de même des problèmes du fonctionnement des centrales hydroélectriques confrontées à des nuisances dues aux infestations du fleuve par la jacinthe d'eau et autres plantes prolifératrices.

La rentabilité du projet entier est atteinte avec un prix de revient du kWh se situant entre 78 et 88 FCFA/kWh (ou 0.16 – 0.18 CHF/kWh). Le compost serait ainsi distribué gratuitement et le ramassage des plantes prolifératrices serait totalement rétribué.

8.2 Suite des travaux

L'étude d'avant-projet doit comprendre un approfondissement des axes fondamentaux suivants :

- étude des substrats : étude de plusieurs variantes d'installations devisées avec ou sans biodéchets, quantification des biodéchets et caractérisation par des essais de méthanisation sur des échantillons en laboratoire, consolidation des chiffres pris en considération (réduction des risques),
- investigation de la variante optimale pour la valorisation du biogaz : à la demande d'AMADER, étude de possibilités de valorisation du biogaz stocké en bonbonne destiné à substituer le bois combustible (essentiellement pour la cuisson des aliments),
- investigation du site : proche de Bamako ou à Niono, ou encore sur les deux sites, dans tous les cas, l'usine doit être disposée de sorte à obtenir un accès proche du fleuve, un accès par la route, proche des gisements énergétiques et, dans le cas d'une valorisation électrique, proche du réseau de transport de l'électricité,
- financement : recherche d'investisseurs en proposant l'étude de faisabilité exprimée selon les montages financiers demandés.

Matthias Rüetschi
Ingénieur Planair SA

Pierre Renaud
Directeur Planair SA

Roger Michel
Directeur E.R.A.

PLANAIR SA; MRI/yks; La Sagne, 19 octobre 2010

Annexe 1. Rapport mission Mali (18 sept. – 3 oct. 2009)

Rapport de visite à Bamako pour le montage du projet de méthanisation

MR - Octobre 09

Roger-Michel Michel, président de l'ONG E.R.A. et partenaire de Planair SA est arrivé à Bamako le 18 septembre 09, Matthias Rüetschi, ingénieur en charge du projet chez Planair SA est arrivé le 23 septembre 09 et Pierre Renaud, superviseur du projet est arrivé le 26 septembre 09. La mission a duré jusqu'au 3 octobre 09.

Les objectifs définis sont d'une part de récolter des informations sur les sites infestés par les plantes aquatiques prolifératrices et d'autre part d'asseoir l'ancrage du projet avec les autorités maliennes.

Informations à récolter :

- quantités de substrats disponibles :
 - Biodéchets (opportunités à Bamako),
 - Plantes prolifératrices, déterminer la densité des plantes aquatiques par ha, son taux de reproductivité et les variations saisonnières.
- précision sur la loi sur l'énergie, en particulier sur l'approvisionnement électrique et l'éventuelle possibilité de produire du courant renouvelable (conditions et prix de rachat),
- possibilités de financement pour la phase de projet,
- problématique des filières de valorisation des engrais (Roger-Michel Michel et Modibo Keita),
- possibilité de valoriser la chaleur ? Quels preneurs de chaleur potentiels ?
- organiser la future phase de constitution d'un échantillon du mélange de substrats, quelle personne de contact (Modibo Keita) ?

Séances planifiées à Bamako :

- Modibo Keita du ministère de l'environnement, point focal pour le projet de méthanisation,
- Direction d'EDM,
- séance avec la directrice de la coopération suisse Geneviève Federspiel,
- séance avec Bakari Kamian,
- table ronde avec les ministres de l'environnement et de l'énergie et autres interlocuteurs concernés par le projet : AMADER, EDM et mairie de Bamako.

Visites prévues :

- sites infestés de jacinthes d'eau dans la région de Bamako,
- sites de compost actuels servant au rassemblement des jacinthes d'eau,
- sites potentiels pour l'implantation de l'usine : trouver surface suffisamment grande, au bord du fleuve Niger, sécurisée par rapport aux crues et aisée d'accès par voie terrestre (camions avec biodéchets des marchés) et par voie fluviale (bateaux transportant les plantes aquatiques).



Le planning ci-dessus a subi de nombreux ajustements sur place en fonction des disponibilités des partenaires pour les séances.

Chaque séance a fait l'objet d'un PV; ils sont relatés chronologiquement ci-après.

PV de la séance avec Modibo Keita, Lieutenant-colonel coordinateur du programme de gestion des plantes aquatiques prolifératrices au Mali**Bamako, bureau de la coordination des plantes aquatiques prolifératrices, 24 septembre 09****Présents : lieutenant-colonel Modibo Keita, Roger-Michel Michel, Matthias Rüetschi**

L'objectif de la séance est d'annoncer les informations essentielles à récolter lors de la mission et d'organiser les séances et visites lors de cette mission.

Les plans de l'usine de méthanisation ont été présentés à Modibo Keita ainsi que la nouvelle perspective de valorisation de co-substrats issus des déchets organiques de Bamako.

Modibo Keita indique qu'il est indispensable de procéder à une visite de courtoisie auprès du Colonel Alassane Maiga, directeur national de la conservation de la nature. Il est nécessaire de présenter le projet afin que lui-même puisse contacter les interlocuteurs concernés des ministères de l'énergie et de l'agriculture ainsi que le maire de Bamako et les inviter à participer à la table ronde.

Une réunion a eu lieu entre les 9 pays concernés par la prolifération des plantes aquatiques nuisibles du 9 au 11 septembre 09 dans l'établissement du ministère de l'environnement du Mali afin de discuter du fonctionnement actuel de valorisation des jacinthes d'eau par compostage. Ce projet ne fonctionne pas de façon optimale en raison d'un financement modeste et la perspective du projet de méthanisation, avec la revente de l'électricité est très bien reçue par Modibo Keita.

Les paysans utilisent de plus en plus le compost en lieu et place des engrais chimiques car ce compost est très favorable à la croissance de leur culture.

La prolifération des jacinthes d'eau et du typha est telle qu'à Niono, la production agricole est menacée en raison des canaux d'irrigation qui sont obstrués par les plantes et les amas de matériaux drainés.

Bamako constitue le réservoir des jacinthes d'eau, la lutte doit être tout d'abord ciblée dans cette région.

Actuellement la lutte est faite mécaniquement et biologiquement.

PV de la séance à la direction de l'environnement**Bamako, bureaux de la direction de l'environnement, 28 septembre 09****Présents : Colonel Alassane Maiga, *adjoint de Maiga*, lieutenant-colonel Modibo Keita, Roger-Michel Michel, Matthias Rüetschi**

L'objectif de la séance est de rencontrer le colonel Alassane Maiga, directeur national de la conservation de la nature. C'est lui-même qui va organiser et coordonner la table ronde avec les décideurs du ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali ainsi que les intervenants du domaine de l'énergie.

Modibo Keita expose la genèse du projet et les contacts entrepris par Roger-Michel Michel et les contacts directs établis avec Planair SA.

Roger-Michel Michel expose les points liés à la valorisation des engrais et notamment avec la filière de la technique agronomique des murets.

Pierre Renaud présente les activités de Planair SA et esquisse les grandes lignes du projet ainsi que la volonté de Planair SA de réaliser l'usine de méthanisation.

Matthias Rüetschi présente le plan de l'usine de méthanisation afin d'illustrer l'état actuel d'avancement du projet et la possibilité d'utiliser plusieurs gisements différents en plus de la jacinthe d'eau.

PV de la séance avec Bakari Kamian, Commandeur pour l'Etat du Mali, ancien directeur de l'UNESCO en Afrique

Bamako, café du Fleuve, 29 septembre 09

Présents : Commandeur Bakari Kamian, Pierre Renaud, Roger-Michel Michel, Matthias Rüetschi

Objectifs de la rencontre : remercier Bakari Kamian pour son intervention auprès du ministre de l'environnement qui a signé un accord de coopération avec Planair SA et d'autre part obtenir un appui de sa part pour les actions à suivre.

Bakari Kamian s'est présenté et a exposé son parcours professionnel qui l'a mis en étroite collaboration avec de nombreux dirigeants africains et cadres des organisations internationales. Il a notamment été nommé secrétaire général du premier gouvernement du Mali lors de la présidence de Modibo Keita, et conseillé également durant de nombreuses années le président Léopold Ségar Senghor au Sénégal. Il a également, outre ses activités de professeur à l'université de Bamako, été directeur de l'UNESCO pour l'Afrique. Son activité principale a été et reste la rédaction d'ouvrages en sciences humaines, particulièrement sur la thématique de l'histoire contemporaine du Mali.

PV de la séance avec Geneviève Federspiel, directrice de la coopération suisse à Bamako

Bamako, bureau de la DDC suisse, 29 septembre 09

Présents : Geneviève Federspiel, Roger-Michel Michel, Pierre Renaud, Matthias Rüetschi

Les activités de Planair SA ont été présentées. Le projet de méthanisation a également été exposé.

GF (Geneviève Federspiel) a d'emblée émis la remarque qu'au vu de la taille du projet, c'est plus une organisation telle que le SECO qui serait concerné, la DDC étant active pour les projets à l'échelle communale principalement dans les domaines de l'éducation, de la formation, de l'agriculture et du renforcement des collectivités. La BM, toujours selon elle, serait typiquement le bailleur de fonds pour un tel projet.

Le SECO n'est pas présent au Mali. De façon générale, le SECO n'est pas là dans les pays où la DDC est active.

GF aborde deux questions fondamentales sur le projet de méthanisation:

qui est le maître d'ouvrage ?

qui va exploiter l'usine ?

L'équipe de projet expose que le but de cette visite au Mali est de donner réponse à ces questions afin d'ancrer le projet.

Il existe de nombreux blocages au Mali, notamment dans le domaine des énergies renouvelables, les panneaux solaires PV sont vendus plus chers qu'en Europe en raison d'une taxe de 35% de leur valeur.

L'aspect développement est fondamental dans le montage du projet. Il faut prendre en considération le comportement des gens et des institutions, intégrer le facteur humain.

Le ramassage des déchets avec les charrettes fonctionne bien à Bamako.

GF évoque la possibilité de consulter les Chinois pour le financement et la réalisation du projet.

La BAD est active dans des projets énergétiques, la DDC représente la Suisse dans l'exécutif board en Tunisie.

Au niveau des rôles et responsabilités : le pilotage doit être fait par les ministères mais au niveau opérationnel, il vaut mieux monter une entreprise privée selon GF.

Il y a beaucoup de vol d'électricité, les gens bricolent directement les câbles de distribution.

Jean-Bernard Dubois à la DDC travaille sur les questions climatiques, l'accent est mis sur l'Inde, la Chine, le Nigéria et le Brésil actuellement. Planair SA pourrait entrer en contact avec la personne précitée pour se renseigner plus en avant sur les projets en cours.

Table ronde

Bamako, bureaux de la direction de la conservation de la nature, 1 octobre 09

Présents : Abdoulaye Benthé (Ségal), Segua Sigilité (Conseiller du Segal), Mamadou Traoré (secrétaire technique permanent du ministre - STP), Alhassane B. Maiga (Directeur National de la Conservation de la Nature), Baïkoro Fofana (Adjoint au Directeur National de la Conservation de la Nature), Modibo T. Keita (coordinateur programme plantes aquatiques nuisibles), Abdoulaye Koné (EDM), Amadou Kassamara (représentant AMADER), Ousman Nianti (point focal AMADER), M. Cissé (responsable de la DNACPN – assainissement de la pollution et des nuisances), représentant du maire de Bamako Amadou Sangaré, Roger-Michel Michel, Pierre Renaud, Matthias Rüetschi

Abdoulaye Benthé, secrétaire du ministre de l'environnement et de l'assainissement du Mali préside la séance.

Les présentations des personnes invitées sont faites.

Présentation de Planair SA puis du projet de méthanisation des plantes aquatiques prolifératrices.

Le conseiller du secrétaire du ministre annonce qu'il est indispensable d'étudier les impacts sur l'environnement et sociaux (EIES) lors de la phase de planification.

L'office du Niger prévoit un certain budget pour la lutte contre la prolifération de plantes aquatiques nuisibles, le ministère de l'environnement va annoncer à cet office le montage du projet de méthanisation.

Des pourparlers très avancés entre le gouvernement malien et Vika ont été déjà menés. Vika est une société américaine dont le projet est de construire un incinérateur des déchets à Bamako ainsi qu'un centre de tri. Il est envisageable de destiner une fraction des déchets organiques vers l'installation de méthanisation. Vika est en phase de signer avec EDM des conventions de rachat de l'électricité produite par le futur incinérateur.

La notion de durabilité doit être élucidée, notamment avec l'hypothèse d'une éradication totale de la jacinthe d'eau, prévue dans 12 ans, il est indispensable d'investiguer d'autres sources de gisements. Afin de répondre à cette remarque des techniciens du ministère de l'environnement, Planair explique que c'est précisément pour cette raison qu'il est prévu de déjà incorporer des déchets organiques de la ville de Bamako dans le projet.

AMADER propose non pas de convertir en électricité la production de biogaz, mais de conditionner des bouteilles de biogaz pouvant servir à la cuisson des aliments dans les ménages ; il existe en effet une grande pression exercée sur les forêts en raison du bois utilisé aujourd'hui comme combustible.

EDM exprime les besoins très importants de production d'électricité au Mali.

Le site de l'emplacement de l'usine imaginé par Planair dans un premier temps entre Bamako et Koulikoro est discuté. Un autre site pourrait également démarrer en même temps que celui de Bamako : Niono. En effet, à Niono, il y a beaucoup d'agriculture, notamment la culture du riz. Les jacinthes d'eau, le typha et les autres plantes aquatiques nuisibles obstruent les canaux d'irrigation. Il y a donc un besoin urgent de ramasser efficacement ces plantes aquatiques et il existe dans cette région des possibilités d'ajouter des co-substrats avec les déchets issus de l'agriculture (comme par exemple la balle de riz).

La structure juridique du projet n'est pas une question d'actualité pour le ministère de l'environnement. Cette question viendra plus tard dans le projet. Le ministère de l'environnement va être le maître d'ouvrage de celui-ci et est convaincu de sa pertinence. Il va tenter de convaincre le gouvernement malien dans ce même sens.

Concernant les besoins de butane, actuellement il y a 8'000 t/an, à l'avenir (horizon 2020), on attend 20'000 t/an.

Séance avec EDM (direction de l'énergie renouvelable et direction du pôle Qualité-Sécurité-Environnement)

Bamako, bureaux de la direction d'EDM SA, 1 octobre 09

Présents : Chirfi Moulaye Haidara (directeur Energie renouvelable), Abdrahamane Dembélé (directeur Qualité-Sécurité-Environnement), Roger-Michel Michel, Pierre Renaud, Matthias Rüetschi

Monsieur Dembélé a étudié à l'EPFL notamment lors de son cursus universitaire.

Il existe une bonne école d'ingénieurs à Bamako et la meilleure de la région se trouve à Ougadougou au Burkina Faso. Dans cette dernière, il existe une filière énergie et biomasse.

Il n'y a aujourd'hui aucune mesure pour traiter les eaux usées. Au mieux, elles sont réunies et acheminées vers des fosses, au pire elles affluent directement dans le fleuve Niger. Ces fosses sont ensuite vidées, puis les boues très concentrées sont déposées dans des carrières ou sites sauvages en dehors de la ville de Bamako. Lorsqu'il pleut, cette pollution dérive vers le fleuve Niger, c'est l'une des principales causes de la prolifération des plantes aquatiques nuisibles.

Une station de traitement par lagunage va être construite dans un quartier industriel de Bamako, destinée à traiter les eaux industrielles (et les eaux usées ménagères des habitations environnantes). Pour le reste de Bamako, il n'y a pas de projet actuellement.

EDM est en phase de restructuration : les domaines de l'eau et de l'énergie seront séparés et il y aura un pôle de patrimoine ainsi qu'un pôle d'exploitation dans chacun des domaines.

Un projet d'hydro-électricité a été abandonné à Markala en raison notamment de la prolifération des jacinthes d'eau.

Dans les villes isolées, EDM privilégie les énergies renouvelables en raison du coût des énergies fossiles pour la production d'électricité. Des projets sont en cours, notamment avec la BM à Gao afin d'installer des éoliennes, des projets hybrides diesel-photovoltaïques sont en cours d'élaboration à Mopti, Tombouctou et à Nioro.

Une installation photovoltaïque avait été construite en 1982 avec une puissance de 600 kW. Cette centrale a fonctionné très peu de temps en raison du manque d'entretien.

L'actionnariat d'EDM est constitué comme suit : 66% par le gouvernement malien et 34% par IPS Aga Khan Foundation.

Annexe 2. Requête de financement auprès du ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali

Lettre adressée au Ministre de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali suite à la séance de clôture de la mission à Bamako sept-oct 09 avec Modibo Keita

Bamako-Sotuba, bureaux du programme de gestion des plantes aquatiques nuisibles prolifératrices, 2 octobre 09



Planair SA
Rue du Crêt 108a
CH – 2314 La Sagne
Suisse
Tel : 0041 32 933 88 40
Fax : 0041 32 933 88 50
Email : matthias.ruetschi@planair.ch

Monsieur le Ministre de
l'Environnement et de
l'Assainissement

Bamako

Bamako, 02 octobre 2009

Projet de valorisation de plantes aquatiques nuisibles – requête de financement

Monsieur le Ministre,

A la suite d'une part du courrier n°00417/MEA-SG du 08 mai 2008 et d'autre part de la table ronde organisée par votre Ministère et présidée par le Secrétaire Général, Monsieur Abdoulaye Berthe dont nous vous remercions vivement, nous nous permettons par la présente de revenir sur les conclusions de cette réunion.

l'issue de la réunion, Monsieur Abdoulaye Berthe s'est exprimé très favorablement face aux articulations du projet (méthanisation de plantes aquatiques nuisibles pour la production de biogaz et d'électricité). Les avantages principaux de ce projet sont : la lutte contre la prolifération des plantes aquatiques, le dégagement du fleuve et des canaux d'irrigation, l'augmentation de la production d'hydroélectricité et la production d'énergie renouvelable.

Cette table ronde a permis d'identifier les étapes suivantes à franchir encore :

contacts avec différents organismes dont l'Office du Niger,

définition précise de l'implantation de l'usine (éventuellement deux usines, une proche de Bamako et l'autre dans la région de Niono),

positionnement du Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement en tant que maître de l'ouvrage,

Financement du projet.

Le gouvernement suisse a financé 50% du coût de l'étude de faisabilité, soit 50% de 43'247'000 FCFA (21'620'000 FCFA). Par la présente, nous vous formulons la demande pour le financement de l'autre moitié représentant la contrepartie de l'Etat du Mali, soit 21'620'000 FCFA.

Les prestations liées à ce budget sont les suivantes :

ancrage institutionnel du projet avec la collaboration de l'ONG E.R.A.,

exploitation générale,

organisation de la récolte,

pré-dimensionnement et dimensionnement de l'installation avec plan d'intention,

montage financier,

fiches pour le transfert technologique et volet de formation,

démarche pour l'obtention de droits d'échange pour les émissions de CO₂.

En réitérant encore nos plus chaleureux remerciements et en vous garantissant de tout mettre en œuvre pour la réalisation de ce projet passionnant, nous vous prions de recevoir, Monsieur le Ministre, l'expression de nos plus respectueuses salutations.

PLANAIR SA

Pierre Renaud
Directeur Général

Matthias Rüetschi
Ingénieur projet

Ampliation

DNCN

Annexe 3. Offre Strabag

Annexe 4. Variantes substrats

Plusieurs variantes sont présentées ci-dessous, elles ont été devisées de façon moins détaillées que celle présentée dans le rapport (pas de chiffrage de chaque position exacte, uniquement sur la base des estimations faites par les fournisseurs de technologie) et une marge de sécurité a été prise (+ 12% environ). Elles concernent uniquement la valorisation de la jacinthe d'eau, les tableaux sont présentés chaque fois en CHF puis en FCFA.

Variante usine	Substrat	Variante usine volume substrat [t/a]	Equipements méthanisation Coût [CHF]	Bateaux faucardeurs Coût [CHF]	Coût ingénierie Coût [CHF]	Coût total Coût [CHF]
1	jacinthes d'eau	50'000	4'660'000	500'000	466'000	5'626'000
2	jacinthes d'eau	100'000	5'990'000	500'000	599'000	7'089'000
3	jacinthes d'eau	150'000	7'320'000	500'000	732'000	8'552'000
4	jacinthes d'eau	252'000	9'320'000	1'000'000	932'000	11'252'000

Usine variante	Substrat	Variante usine volume substrat [t/a]	Equipements méthanisation Coût [FCFA]	Bateaux faucardeurs Coût [FCFA]	Coût ingénierie Coût [FCFA]	Coût total Coût [FCFA]
1	jacinthes d'eau	50'000	2'288'060'000	245'500'000	228'806'000	2'762'366'000
2	jacinthes d'eau	100'000	2'941'090'000	245'500'000	294'109'000	3'480'699'000
3	jacinthes d'eau	150'000	3'594'120'000	245'500'000	359'412'000	4'199'032'000
4	jacinthes d'eau	252'000	4'576'120'000	491'000'000	457'612'000	5'524'732'000

Usine variante	Puissance CCF - él. kW	Production biogaz m3/an	Production électricité kWh/an	Recettes si rétribution = 0.16		Recettes si rétribution = 0.18		Recettes si rétribution = 0.20	
				CHF/kWh = 78 CHF/an	FCFA/kWh FCFA/an	CHF/kWh = 88 CHF/an	FCFA/kWh FCFA/an	CHF/kWh = 98 CHF/an	FCFA/kWh FCFA/an
1	300	1'100'000	2'090'000	334'400	163'020'000	376'200	183'920'000	418'000	204'820'000
2	600	2'200'000	4'180'000	668'800	326'040'000	752'400	367'840'000	836'000	409'640'000
3	900	3'300'000	6'270'000	1'003'200	489'060'000	1'128'600	551'760'000	1'254'000	614'460'000
4	1'233	5'224'798	9'968'915	1'595'026	777'575'370	1'794'405	877'264'520	1'993'783	976'953'670

Annexe 5. Plan usine méthanisation

Annexe 6. PV séance possibilités certification projet biomasse Mali