



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

20917-F

PROPOSITION DE PROJET

MAROC

Application de la Technologie du Biogaz pour le traitement des déchets industriels au Maroc



Rapport effectué à la demande de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel

**Janvier 1994
Institut Technologique Danois
Carl Bro Environnement A/S**

PROJET 1

Traitement des eaux usées de l'industrie sucrière

La proposition de projet suivante correspond à un système de traitement des eaux usées des complexes sucriers SUNAG 2 et SOTRAMEG grâce à un système de réacteur UASB. Les deux usines sont situées près l'une de l'autre dans un secteur rural de 20.000 habitants qui utilisent l'eau de surface de la rivière Sebou pour l'irrigation et les eaux sous-terraines comme source d'eau potable. L'unité SUNAG 2 a une capacité de traitement d'environ 300.000 tonnes de betteraves à sucre par an durant la saison de récolte de mi-Mai à mi-Août. Durant cette période, les eaux usées de l'unité sucrière avoisinent les 200 m³ par heure.

L'installation de SOTRAMEG est située au voisinage de SUNAG 2 et produit annuellement environ 5.000 m³ d'alcool à partir de la mélasse de SUNAG 2 et d'autres usines. Les eaux usées provenant de la fermentation et de la distillation représentent environ 10 m³ par heure, l'usine fonctionnant 8 à 10 mois par an.

Le but du projet

Pour le moment, les eaux usées sont déversées dans la rivière Sebou. Le projet a pour but de réduire fortement la pollution qui correspond aujourd'hui aux déchets d'une ville de plus de 200.000 habitants. Les améliorations sont effectuées grâce à la dégradation anaérobie de la matière organique des eaux usées dans un système de réacteurs UASB.

Description du Projet

Généralités sur l'industrie

Au Maroc, il existe 13 complexes traitant à la fois la canne à sucre et les betteraves. La capacité de chaque unité est indiquée dans le tableau suivant. Ces unités peuvent traiter 3,4 million de tonnes de betteraves et 1,2 million de tonnes de canne à sucre par an. Ceci correspond à une production maximale de sucre d'environ 550.000 tonnes par an. Durant les années 1988-1990 la production moyenne annuelle a été d'environ 480.000 tonnes. La consommation de sucre au Maroc pendant cette période a été de 730.000 tonnes. Ce qui

signifie que le Maroc importe environ 33 % du sucre pour sa consommation domestique. La cuisine marocaine utilise beaucoup de sucre et la demande a plus ou moins doublé entre les années 1960 et 1990. La première usine sucrière a commencé la production en 1963 au Maroc et certaines installations sont assez récentes. La dernière date de 1982. En raison du cours relativement bas du sucre sur le marché mondial, il n'y a pas de projets de construction de nouvelles unités dans l'immédiat.

Usines de sucre au Maroc

	Usine de Sucre	Localisation	Date d'Etablissement	Capacité journalière app.
<u>GHARE</u>	SUNAB	SIDI SLIMANE	1963	3000 t (B)
	SUNAG/KSIRI (SUNAG 2)	MECHRAA BEL KSIRI	1968	4000 t (B)
	*SUNAG/TAZI (SUNAG 2)	SIDI ALLAL TAZI	1968	4000 t (B)
	SUNACAS	MECHRAA BEL KSIRI	1975	2500 t (C)
	SURAC	DAR EL GUEDDARI	1981	3500 t (C)
<u>TADLA</u>	S U T A	SOUK ES SEBT	1965	3600 t (B)
	S U B M	BENT MELLAL	1969	4800 t (B)
	S U N A T	OULAD AYAD	1971	6000 t (B)
<u>DOUKKALA</u>	DCUKKALA	SIDI BENNOUR	1970	4000 t (B)
	ZEMAMRA	KHEMIS DES ZEMAMRA	1982	4000 t (B)
<u>LOUKKOS</u>	SUNABEL	KSAR EL KEBIR	1978	4000 t (B)
	SUCRAL	LARACHE	1984	3500 t (B)
<u>BASSE MOULOUYA</u>	SUCRAFOR	ZAIO	1972	3000 t (B)
				1000 t (C)

B = betteraves à sucre
C = canne à sucre

Proposition de Projet

La description du projet proposé inclue une unité de traitement combiné pour les déchets de l'usine de sucre SUNAG 2 et la distillerie SOTRAMEG. L'usine SUNAG 2 a été construite en 1968 et a une capacité potentielle pour traiter 4.000 tonnes par jour. La production de sucre à partir de 300.000 tonnes de betteraves est de 45.000 tonnes de sucre, 18.000 tonnes de pulpe et 26.000 tonnes de mélasse. Les eau usées des installations sucrières représentent 200 mètres cubes par heure durant la campagne. Environ 150 mètres cubes d'eau sont prélevés par heure, le reste provient des betteraves durant le traitement. Ce qui représente une quantité importante d'eaux usées, dont le COD est d'environ 3.500 milligrammes par litre.

L'usine utilise du charbon pour la production de chaleur et environ 21.000 tonnes de charbon sont utilisées durant la campagne. Une partie de la vapeur est utilisée pour la production d'électricité. L'usine a sa propre unité de production d'électricité d'une capacité de 6 MW. A l'heure actuelle toutes les eaux usées de l'usine sont déversées dans la rivière Sebou sans traitement préalable.

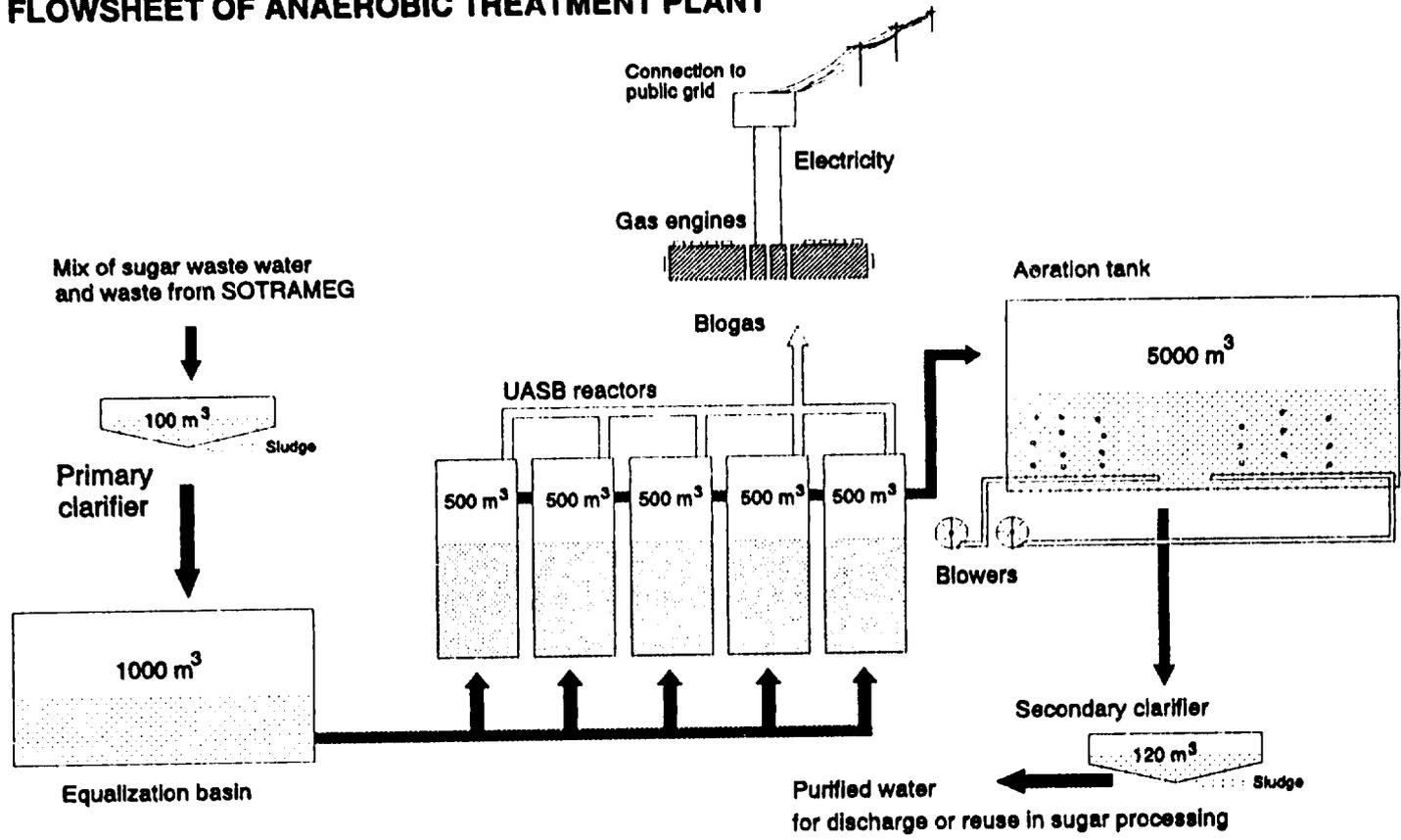
SOTRAMEG est la plus grande distillerie marocaine. Elle se situe au voisinage de SUNAC 2. C'est cependant une compagnie indépendante mais SUNAC 2 et SOTRAMEG appartiennent toutes deux à l'Etat. SOTRAMEG produit environ 5.000 mètres cubes d'alcool par an à partir de la mélasse de SUNAC 2. Les eaux usées, provenant de la fermentation et de la distillation, représentent environ 10 mètres cubes de l'heure et l'usine fonctionne entre 8 et 10 mois par an. Les eaux usées ont une très haute teneur en COD soit 60.000 milligrammes par litre. Les eaux usées sont recueillies dans de grands bassins près de l'usine. Cette pratique apporte des nuisances olfactives et de la pollution des puits voisins. Les eaux usées finissent probablement dans la rivière Sebou.

Design du système

Comme on peut le voir sur la figure suivante, les eaux usées de SUNAG 2 et de SOTRAMEG peuvent être traitées dans un système de réacteur UASB avec un volume de réacteur de 2.500 m³. Les eaux usées passent un premier système de clarification puis sont stockées dans un bassin d'égalisation avant d'aller dans les réacteurs UASB. Puis les eaux usées, à la sortie du réacteur ,

passent dans un réservoir d'oxygénation et un second système de clarification avant d'être réutilisées dans la fabrique de sucre. Durant la période où seulement SOTRAMEG est en opération, un seul des réacteurs UASB est utilisé et un système de dilution des déchets de SOTRAMEG doit être établi avant que les eaux usées n'arrivent dans le réacteur UASB. Durant la période de plus grande activité, les eaux usées seront constituées d'un mélange de 200 m³ avec un COD de 3,5 kg/m³ et de 10 m³ avec un COD de 60 kg/m³; ce qui donne 210 m³ avec un COD de 6,2 kg/ m³. Ceci devrait fournir environ 12.000 m³ de CH₄ par jour. Ce qui correspond à 1,8 MW si le gaz est utilisé pour la production d'électricité, et en même temps une quantité double de chaleur.

FLWSHEET OF ANAEROBIC TREATMENT PLANT



Plan du Projet

Phase 1

Cette phase va inclure une examination détaillée du débit des eaux et des matériaux utilisés durant les différents processus industriels. Une analyse chimique détaillée sera effectuée pour les différentes étapes du processus. La détermination de la qualité de l'eau requise sera aussi étudiée à différents moments du processus. Les investigations devront être effectuées en étroite collaboration avec l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAVH). Le rapport produit par la Fondation Universitaire Luxembourgeoise concernant des analyses des eaux usées de la raffinerie de sucre de Gharb constitue une bonne base dans ce domaine.

Phase 2

Elle concerne l'élaboration des plans détaillés, le plan de démonstration comprenant le design du système pour l'utilisation de l'énergie (CH₄) et pour la production de chaleur et d'électricité ainsi que la réutilisation de l'eau. Le design du système doit être basé sur des tests effectués en Europe et au IAVH.

Phase 3

Implantation à grande échelle d'unité de démonstration à SUNAG 2 et SOT-RAMEG.

Budget d'Investissement

a. Services de Planning	USD 420.000
b. Services de Construction	USD 210.000
c. Services de Commissioning	USD 220.000
d. Gestion et contrôle durant le design, la construction et le commissioning	USD 245.000
Services totaux de planning	<u>USD 1.095.000</u>
Investissement par unité	
Préparation du site	USD 100.000
Construction	USD 340.000
Système de réacteur UASB	USD 850.000
Système de réservoir d'aération	USD 800.000
Système de clarification	USD 110.000
Bassin d'égalisation	USD 80.000
Moteurs à gaz	USD 1.200.000
Pompes, évaporateurs, grilles et autres composants principaux	USD 180.000
Tubes	USD 250.000
Système de contrôle	USD 210.000
Connection au réseau	USD 380.000
Subtotal	<u>USD 4.500.000</u>
Total	USD 5.595.000

Le projet est suggéré comme un projet pilote avec un financement à 33 % par SUNAG 2 et SOTRAMEG, 33 % par l'Etat et 34 % par des sponsors internationaux.

Projet 2

Traitement des déchets des conserveries de poisson

Introduction

Le traitement des poissons de la matière première aux produits de consommation nécessite une grande quantité d'eau, qui après le traitement se retrouve fortement enrichie en matière organique et en nutriments. Aujourd'hui, la plupart de ces eaux sont rejetées directement dans la mer sans aucune étape de purification, ce qui contribue à la pollution des océans.

L'utilisation de cette pratique de gestion de l'eau cause une pression environnementale indésirable et une mauvaise exploitation des ressources en eau.

C'est pourquoi, les autorités locales ainsi que les industries concernées ont manifesté un grand intérêt pour la recherche de nouvelles solutions environnementales pour ces problèmes. De plus, il existe un intérêt économique pour l'industrie dans la réutilisation de l'eau et la production d'énergie pour sa propre consommation.

La matière organique, présente dans les eaux de traitement des poissons, est composée principalement de matière organique dissoute (méthylamine, acides gras volatils et non volatils, acides aminés), de matière organique particulaire, de graisses, et d'huiles. Le pH se situe dans la zone de croissance bactérienne et la température est optimale pour la croissance de micro-organismes mésophiles.

But du Projet

Le projet a pour but de développer une unité de démonstration pour l'industrie de traitement du poisson et, en cela, d'éviter une importante pollution des alentours de l'usine et, enfin, d'utiliser la chaleur et le Biogaz produits pour remplacer les énergies conventionnelles.

Les améliorations sont réalisées par la dégradation anaérobie de la matière organique présente dans les eaux usées, au moyen d'un réacteur UASB, combiné à un système de nitrification / dénitrification et une épuration biologique du phosphore. L'élimination du phosphore et de l'azote est accomplie

par liaison avec une partie de la matière organique dans les eaux traitées, l'excès de matière organique est converti en méthane.

Description du projet

Généralités sur l'industrie

Le Maroc possède une très longue ligne côtière (environ 3000 km) et l'industrie de la pêche a toujours été très important pour le pays. C'est une des industries majeures pour l'exportation et l'industrie des conserves de poisson a toujours été un secteur important au Maroc. Les poissons les plus utilisés sont les sardines, les maquereaux, les anchois et le thon.

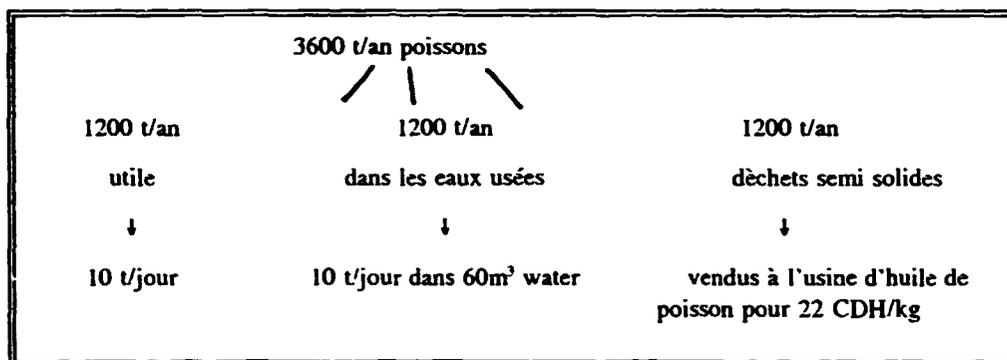
Selon les statistiques de 1993, l'industrie du poisson comprend 64 usines de conserves. Les plus importantes sont situées à Safi (50 %), Essaouira (11 %) et Aadir (34 %). La capacité théorique de ces installations est d'environ 1.600 tonnes de poissons par jour. Pour une année d'environ 250 jours de travail avec 64 usines, cela correspond a un total de 400.000 tonnes de poisson. Durant les années 1980-1989, le nombre total de tonnes traitées a été de 103.000 tonnes par an.

Lors du traitement du poisson, la tête est coupée, le sang et une partie des viscères sont entraînés dans les eaux usées. La quantité de poisson utilisée pour la conserverie varie selon les espèces. Pour les sardines, des études ont montré que seulement un tiers du poids du poisson fraîchement pêché se retrouve dans la boîte de conserve. Le deuxième tiers est coupé et peut être considéré comme des déchets semi-solides (tête, etc...). Le troisième tiers est lavé et emporté par les eaux usées. Les statistiques, durant les années 1980-1989, indiquent une production annuelle d'environ 51.000 tonnes de poissons en conserve. Avec un apport de 103.000 tonnes par an, environ 50 % du poisson traité finit parmi les déchets soit semi-solides soit les eaux usées.

L'installation de démonstration

Pour évaluer les possibilités d'utilisation des déchets des conserveries de poisson, une étude a été réalisée à partir d'une usine de conserve, "Espadon", située à Agadir. Cette unité traite environ 3.200 à 4.000 tonnes de poisson par an. Selon la direction, l'usine fonctionne 120 jours par an. Le traitement peut

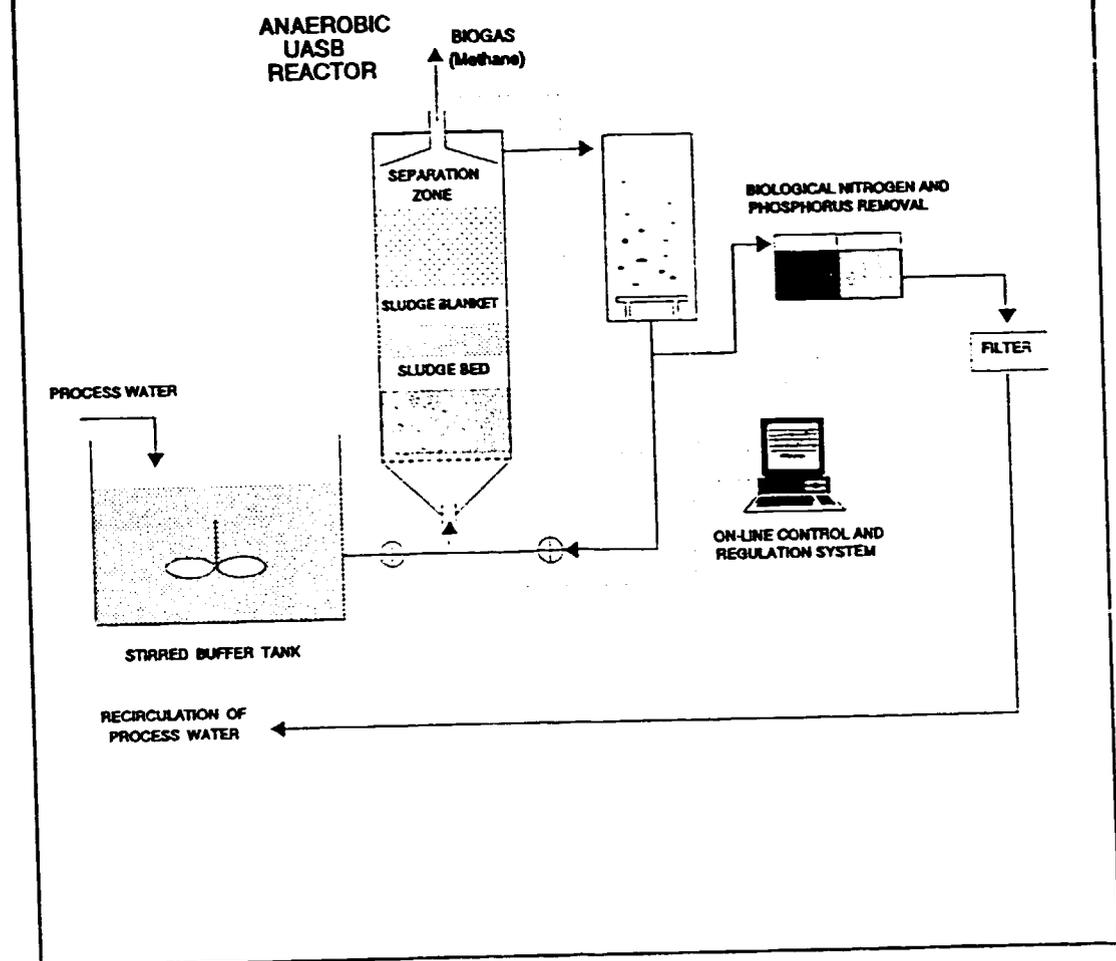
être schématisé dans le tableau ci-dessus. Sur les 3.600 tonnes annuelles seulement 1.200 tonnes aboutissent dans les conserves (10 tonnes par jour). Le reste peut être divisé en 10 tonnes qui sont journalièrement lavées avec environ 60 m³ d'eaux usées.



a part semi-solide, les têtes, etc., environ 10 tonnes par jour sont vendues à une fabrique d'huile de poisson proche pour 22 CDH le kilo. Le COD des eaux usées est d'environ 20.000 milligrammes par litre. Si ces eaux usées étaient traitées dans un réacteur UASB, on pourrait produire environ 500 m³ de méthane par jour. Pour le moment ces eaux usées sont rejetées directement dans la baie d'Agadir, qui constitue une grande ressource pour le tourisme. Dans l'usine elle-même, 120 tonnes de fuel sont utilisées par an pour un coût de 450.000 DH. Le coût de l'électricité est de 150.000 DH et 100.000 DH sont utilisés pour l'eau. ceci représente un total de 700.000 DH, soit environ 73.000 US\$. Si les déchets semi-solides étaient broyés et incorporés aux eaux usées, la production de méthane pourrait être doublée avec un total de 1.000 m³ produits par jour. Ceci correspond plus ou moins aux besoins de l'usine en fuel. De plus les eaux usées qui seraient passées dans le réacteur UASB pourraient être réutilisées dans le processus.

Des investigations de laboratoire sur la composition actuelle des eaux traitées et des boues produites dans l'industrie doit être effectuée afin d'établir un schéma énergétique exact pour les procédés de purification.

OVERALL PROJECT DESIGN



Design du système proposé

L'élimination de la matière organiques des eaux usées est effectuée par un réacteur UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor), décrit dans la figure 1. Ce système de réacteur est un système clos une biomasse microbienne active immobilisée sur des granulés. Les granules microbiens vont être retenus dans le réacteur, même à fort débit, en raison de leur haute densité. Des expériences précédentes sur la dégradation anaérobie de la matière organique dans les eaux de traitement des poissons, ont montré un grand potentiel du système de traitement.

L'élimination de l'azote par les processus de nitrification / dénitrification sera effectuée dans une unité de nitrification séparée (figure 1) et suivie par la recirculation de l'eau nitrifiée le réacteur anaérobie UASB. Comme la dénitrification nécessite beaucoup plus d'énergie que la méthanogénèse, l'activité dans la couche de boue sera séparée en une zone de dénitrification dans le fond de la couche et une zone de méthanogénèse dans le reste de la colonne de boue.

Alternativement, la dénitrification peut avoir lieu dans un réacteur séparé, si cela s'avère être une meilleure solution. Cela pourrait être le cas si d'autres sources de carbone dans les déchets produits par l'industrie.

Le volume du réacteur, basé sur un traitement de 60 m³ par jour, a été estimé à environ 15 m³.

Effet environnemental du concept

Les améliorations du processus ont être partie intégrante de la fourniture d'énergie et d'eau à l'industrie.

La purification de l'eau requiert moins d'énergie qu'un processus aérobie équivalent, car l'oxygène nécessaire à la dégration de la matière organique est supprimé.

Le projet offre les effets suivants pour l'environnement et la récupération d'énergie:

- Réutilisation de 50 à 70 % de l'eau de traitement, ce qui réduit d'autant

les dépenses en eau du robinet.

- L'eau de traitement des poissons présente normalement une demande chimique en oxygène de 20 kg COD/m³. Si la demande en oxygène doit être réduite à 0.1 kg COD/m³, un processus aérobie un apport en oxygène de 19,9 kg O₂/m³ d'eau de traitement. Actuellement cette consommation d'oxygène a lieu dans la Baie d'Agadir. L'installation du système décrit réduirait la consommation d'oxygène de 95 à 98 %.
- Réduction de l'apport azoté de 90 % et phosphoré de 30-90 %, en fonction du design du système.
- Si la quantité d'oxygène est réduite, un dégagement journalier de 1.6 tonne de CO₂ sera évité par l'installation de ce système de traitement.

Plan du projet

Phase 1

Cette phase va inclure une examination détaillée du débit des eaux et des matériaux utilisés durant les différents processus industriels. Une analyse chimique détaillée sera effectuée pour les différentes étapes du processus. La détermination de la qualité de l'eau requise sera aussi étudiée à différents moments du processus. Les investigations devront être effectuées en étroite collaboration avec l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAVH).

Phase 2

Elle concerne l'élaboration des plans détaillés, le plan de démonstration comprenant le design du système pour l'utilisation de l'énergie (CH₄) et pour la production de chaleur et d'électricité ainsi que la réutilisation de l'eau. Le design du système doit être basé sur des tests effectués en Europe et au IAVH.

Phase 3

Implantation à grande échelle d'unité de démonstration à la conserverie de poisson sélectionnée.-

ECONOMIE	Installation Totale
- Services de planning	USD 25.000
- Construction	USD 30.000
- Système de réacteur UASB	USD 120.000
- Défnitrication	USD 20.000
- Moteurs à gaz (100 KW)	USD 90.000
- Système électrique et tuyauterie	USD 30.000
- Chauffage	USD 20.000
- Système de contrôle	<u>USD 50.000</u>
Subtotal	USD 358.000
Gestion, Formation & Tests de Laboratoire	
- Tests de laboratoire	USD 8.000
- Design détaillé	USD 30.000
- Voyages	USD 20.000
- Formation en Europe	USD 55.000
- Programme de Gestion	<u>USD 45.000</u>
Subtotal	USD 158.000
Total	USD 543.000

Forme de financement suggérée	
National 50 % de 385.000 = USD	USD 192.500
National 50 % de tests de lab. et de design détaillé	USD 19.000
International	USD 331.500
Total	USD 543.000

PROJET 3

Traitement des Ordures Ménagères

Introduction

La quantité d'ordures ménagères des principales cités du Maroc a été estimée. Le tableau ci-dessous montre les données pour différentes villes. En général, le pourcentage collecté varie de 70 à 80 %. Un total journalier de 3.800 tonnes d'ordures ménagères est déposé autour des principales cités. Globalement les déchets de toutes les cités marocaines représentent environ 8.000 tonnes par jour. Les ordures ménagères possèdent un haut degré en humidité, généralement autour de 70 %. Ceci est due à la forte proportion de légumes utilisés dans la cuisine marocaine. Cette forte humidité relative augmente le coût d'incinération des déchets. Jusqu'à présent aucune installation d'incinération des déchets n'a été construite au Maroc. Trois villes, Marrakesh, Rabat, et Meknes produisent du compost à partir des ordures ménagères. Le compost, de qualité assez pauvre, est vendu aux fermiers pour 40 DH la tonne. Il n'est pas certain qu'un marché pour ce type de compost existe, à moins que la qualité soit améliorée. Les fermiers se plaignent de la grande quantité de plastiques présente dans le compost et qui pollue le sol. Une nouvelle unité de fabrication de compost est en construction à Agadir.

Tableau

Ordures ménagères	Population	Pourcentage collecté	Production kg/h/j	t/j
Casablanca/Mohammedia	3.900.000	80	0.6	1900
Rabat/Salé	815.000	80	0.6	400
Fes	725.000	70	0.6	320
Meknes	500.000	80	0.6	250
Oujda	380.000	80	0.6	200
Marrakech	640.000	85	0.6	350
Tanger	410.000	85	0.6	230
Tetouan	290.000	75	0.6	150
Total				3800

But du projet

Le but du projet proposé est de construire une unité de Biogaz pour le traitement des ordures ménagères triées. Les bénéfices de cette unité seraient:

1. Production d'engrais de bonne qualité pour les fermes et les serres voisines
2. Production de Biogaz pouvant servir à la fabrication d'électricité.

La quantité d'engrais produite serait de 80 tonnes par jour, soit 28.800 tonnes par an. Ce qui représente un revenu de 151.600 US\$ par an.

La production de Biogaz serait basée sur les apports décrits dans le tableau suivant:

Type	Quantité (t/jour)	Matière sèche (t/jour)	Solides Volatils (t/day)
Ordures ménagères triées	30	9	7.5
Nourriture périmée	5	2.1	2
Déchets triés des hotel/-restaurant	10	4	3.5
Déchets des marchés de légumes	10	4	3
Déchets des abattoirs (sang inclus)	18	4	3.6
Déchets de poulet	5	3	0.8
Terre blanchies	2	1.95	0.7
Total	80	19.45	21.1

Tableau: Composition des déchets pour l'unité de démonstration.

La quantité de matière organique (volatil solide, VS) estimée présente dans les déchets est de 71 % du total solide en moyenne. Ceci représente environ 21 tonnes de VS/jour. En fonction de la qualité et de la composition des déchets, la moyenne de production de Biogaz sera d'au moins 300-450 m³ CH₄ par tonne de VS.

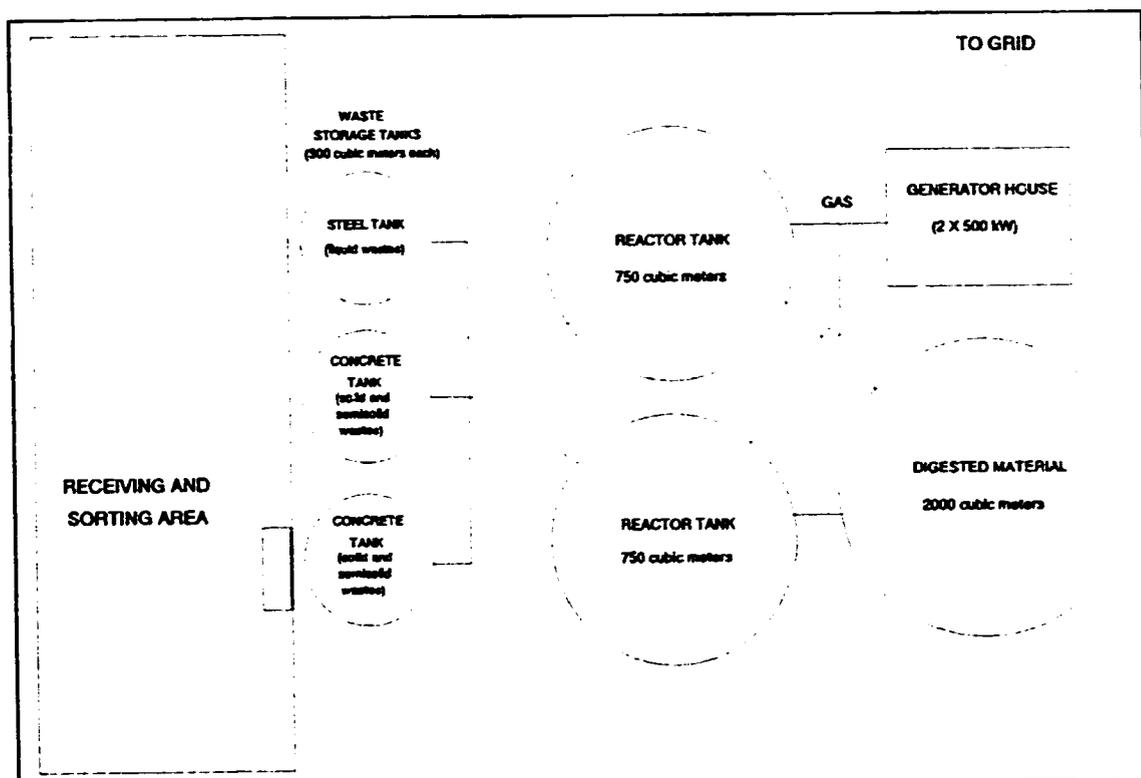
La production d'électricité est décrite dans le tableau suivant:

La production d'électricité sera de:

Biogaz produit	12,000 m ³ /jour
CH ₄ généré	8,000 m ³ /jour
Electricité fournie	26,400 kWh/jour
Utilisation interne	2,400 kWh/jour
Electricité à vendre	24,000 kWh/jour
Revenu en DH	16,800 DH/jour
en USD par an	636.000
Equivalent de génération	1 MW

Design du système proposé

La figure suivante présente la description d'ensemble de l'unité de démonstration pour le Biogaz. Les composantes principales sont les zones d'apport, les 3 réservoirs de pré-stockage pour les différentes sources de déchets, les réacteurs, le réservoir de stockage des matériaux digérés (engrais) et le générateur d'électricité, qui est partagé avec les équipements de gaz.



Plan of the demonstration biogas plant.

Estimation du budget (US\$)

Budget estimé en US\$

UNITE DE BIOGAZ:

2 réacteurs, 1000 m ³ = 2000m ³ :	700,000
2 systèmes de mélange:	175,000
Installation:	25,000
Tubes, connections et valves:	50,000
2 systèmes de chauffage:	<u>75,000</u>

Subtotal: 1025,000

2 Réservoirs de stockage avec couvercles, 300 m ³	
	40,000
2 systèmes de mélange:	30,000
Systèmes de macération:	30,000
Tubes et connections:	<u>10,000</u>

Subtotal: 110,000

1 réservoir de stockage en acier de 300 m ³ :	
	20,000
1 système de mélange:	15,000
Tubes et connections:	10,000
Installation:	<u>10,000</u>

Subtotal: 50,000

1 Réservoir de stockage du matériau de digestion de 2500 m ³ :	
	220,000
2 systèmes de mélange:	25,000
1 couvercle pour le réservoir de stockage:	10,000
	15,000
1 système de gaz:	15,000
Tubes et connections:	15,000

Installation: - 15,000

Subtotal: 300,000

Pompes: 40,000

Valves: 20,000

Tubes, connections, et valves: 20,000

Installation: 30,000

Divers: 50,000

Subtotal: 160,000

Systeme de gaz:

Ventilateur à gaz: 25,000

Valves + équipement: 20,000

Bruleur + gaz: 35,000

Tubes et installation: 50,000

Subtotal: 130,000

Systeme de chauffage:

Pompes: 10,000

Tubes, connections, et valves: 20,000

Instruments de mesure et capteurs: 20,000

Installation: 30,000

Subtotal: 80,000

Equipement de laboratoire: 50,000

Systeme de contrôle et de régulation: 75,000

Design et contrôle du projet:	<u>150,000</u>
Subtotal:	<u>275,000</u>
Total, unité de Biogaz:	2,135,000

SYSTEME DE GENERATION DE L'ENERGIE

2 Moteurs à gaz 2x500 kW = 1 MW:	700,000
Subtotal:	700,000
Total, système de production de l'énergie:	700,000

FORMATION et EDUCATION EN US\$

Design du système, contrôle de la construction:	100,000
Conduite du projet, programme de 2 ans:	280,000
Education et formation du directeur et d'un technicien de l'unité pour une période de 6 mois:	120,000
Subtotal:	500,000
Total général:	3,335,000

Forme de financement suggérée:

National 50 % de 3,335 million US\$ = 1,667 million US\$
 International 50 % de 3,335 million US\$ = 1,667 million US\$

PROJET 4

Formation, démonstration et enseignement

Comme la conscience environnementale se développe au Maroc, il semble important de renforcer non seulement la structure des organisations mais aussi les possibilités d'enseignement, de formation et de démonstration. Aujourd'hui le seul institut important capable d'effectuer ce travail est l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et il est recommandé dans la proposition de projet que ces installations soient renforcées.

Dans les années à venir, en raison des déchets des agro-industries, des possibilités pour le Biogaz en zone rurale, des eaux usées des systèmes d'égouts, et des ordures ménagères, le Maroc va devoir effectuer des investissements majeurs pour surmonter les problèmes qui vont apparaître dans ce secteur. Afin de traiter ces questions de la façon la plus efficace, le Maroc devra disposer de personnel local entraîné pour conseiller les autorités marocaines et les industries.

Pour le secteur industriel, il est capital de s'occuper des déchets des 13 centrales sucrières, de l'industrie de l'huile d'olive et des conserveries de poisson. Des solutions peuvent être trouvées à l'aide de consultants étrangers, mais en raison de l'important système universitaire présent au Maroc, il serait dommage de laisser de côté l'expertise marocaine. Le programme suivant inclus la description de différents éléments qui pourraient être intégrés pour un renforcement institutionnel dans ce domaine. Comme il y a des personnes compétentes à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, il est recommandé que le renforcement institutionnel s'y produise.

Le fonctionnement des installations modernes de Biogaz (digesteur anaérobie) nécessite des analyses physico-chimiques variées des matériaux importés, du contenu des réservoirs, du Biogaz et des engrais produits, afin d'assurer les performances optimales des unités. Les principaux paramètres physiques et chimiques à mesurer sont:

Paramètres physiques et chimiques à mesurer:

1. La Composition du Biogaz

Les digesteurs de Biogaz auront des débitmètres installés "on-line" pour mesurer la production de gaz en continu. Cependant la composition du gaz peut également être mesurée périodiquement par différentes méthodes, chromatographie en phase gazeuse, subtraction volumétrique, etc. La composition du gaz doit être mesurée journalièrement et la production du gaz doit être suivie en continu.

2. Les acides gras volatils (VFA)

Les acides gras volatils (acide acétique, acide propionique, acides butyrique et isobutyrique, acides valérique et isovalérique, acides hexanoïque et heptanoïque) sont des intermédiaires importants produits durant la dégradation microbiologique de la matière organique dans le processus du Biogaz. VFA sont aussi considérés comme les plus importants paramètres à mesurer pour le contrôle et la régulation du processus du Biogaz. Les acides gras volatils doivent être mesurés quotidiennement. Il n'existe pas de méthode de routine pour un contrôle en continu mais plusieurs techniques analytiques, avec une complexité et une précision variable (titration, chromatographie en phase gazeuse, etc.) sont disponibles pour les installations de Biogaz.

3. L'alcalinité et le pH

L'alcalinité, et par conséquence le pH, sont des paramètres importants à mesurer pour le contrôle de la capacité tampon du réservoir et de l'équilibre de l'unité. L'alcalinité doit être mesurée hebdomadairement et plus fréquemment s'il est nécessaire de contrôler le pH durant le fonctionnement de l'unité. Le pH du processus du Biogaz se situe normalement dans un intervalle assez étroit autour de la neutralité, entre 6.5 et 8.5. Les bactéries méthanogènes sont particulièrement sensibles aux variations de pH. C'est pourquoi, le pH du réacteur doit être mesuré quotidiennement; la mesure du pH est une procédure standard et de nombreuses méthodes peuvent être utilisées directement sur site.

4. L'élimination du solide total et solide volatil

Ces deux paramètres sont le reflet de l'efficacité du processus du Biogaz pour la conversion des déchets solides dissous en gaz biologique. Ce n'est pas un paramètre de contrôle quotidien mais il est important pour l'évaluation globale des performances du processus. L'élimination des solides devrait être mesurée hebdomadairement.

5. La teneur en Azote et en NH_3

Les substances azotées sont des nutriments dans le processus du Biogaz et un rapport minimum entre Azote et NH_3 , et l'apport total en carbone organique doit être maintenu pour une bonne efficacité du processus. Si l'azote vient à manquer dans le réservoir, des déchets à haute teneur azotée, tels que les déchets des abattoirs, peuvent être rajoutés; cependant, une concentration excessive est aussi inhibitoire. De plus, il est d'un grand intérêt de connaître la concentration en azote et NH_3 dans l'effluent produit par l'installation afin de déterminer sa qualité d'engrais. Diverses techniques analytiques peuvent être employées sur site dans les installations de Biogaz.

6. Salinité

La salinité est le paramètre le plus important, non pas pour son rôle dans le processus biologique, mais en relation avec l'utilisation du matériau de digestion comme engrais et additif pour sol. L'augmentation de la teneur en sel du sol est un problème fréquent dans les terres agricoles utilisées intensivement et la salinité des engrais et des conditionneurs doit être prise en compte. Cela ne s'est jamais manifesté comme problème pour les matériaux de digestion anaérobie mais un contrôle occasionnel est prudent. La salinité, estimée par les solides dissous totaux ou par conductivité, est une technique de mesure standard. La salinité doit être mesurée au moins une fois par semaine.

Éléments d'un programme de formation et de recherche

Différentes activités (A) sont présentées ci-dessous ainsi que la façon dont elles peuvent être inclus dans un programme de recherche et de démonstration sur la digestion anaérobie au niveau universitaire, avec une attention particulière apportée aux déchets difficiles comme ceux de l'industrie de l'huile d'olive.

A1: Caractérisation des eaux usées

Des mesures de débit et des échantillonnages pour laboratoires seront effectués sur une période d'un an afin d'évaluer les variations qualitatives et quantitatives. Bien que quelques données existent sur ce sujet, elles sont insuffisantes pour le propos de cette recherche. Cela correspond à définir une moyenne typique des eaux usées (A2 et A3), et appliquer le protocole de traitement optimal du système (A4).

A2: Biodégradabilité anaérobie de différentes sources

L'inoculation de cultures appropriées sera développée et les cinétiques de biodégradation de sources individuelles de déchets sera envisagée. Les informations sur les cinétiques seront nécessaires pour le développement du critère de co-digestibilité.

A3: Biodégradabilité anaérobie d'un mélange de sources

Les cinétiques de biodégradation anaérobie de mélange d'eaux usées seront déterminées et le critère de co-digestibilité sera examiné. Ce sont des informations nécessaires pour la détermination du protocole optimal du traitement (A4).

A4: La structure appropriée des apports et les réservoirs de prétraitement et de mélange

Un programme informatique d'optimisation pour la détermination du protocole de traitement du système sera développé. Cette activité est basée sur les informations sur les sources de déchets (A1) et sur les critères de co-digestion développés en A3. Ceci est nécessaire afin de tester la configuration du digesteur (A5) et de procéder aux démonstrations des projets pilotes (A8).

A5: Configuration du digesteur pour une co-digestion efficace

Le protocole de traitement obtenu en A4 va être testé sur trois types de digesteurs différents afin de sélectionner le plus approprié pour la co-digestion. Les possibilités de prétraitement et l'utilisation de réservoirs de mélange seront envisagées. Les informations recueillies ici seront importantes pour le design de l'installation pilote (A8) et pour l'estimation de la valeur des bi-produits.

A6: Estimation de la valeur des bi-produits

La valeur de l'énergie du Biogaz produit durant la co-digestion et les possibilités d'utilisation de la liqueur mixte produite seront examinées. Cette étape est nécessaire pour tirer des conclusions concernant l'économie générale de la co-digestion. De plus ce travail aura des implications sur le design de l'unité pilote (A8).

A7: La flexibilité des parties mécaniques et les systèmes de contrôle

Le design des parties mécaniques flexibles pour les trois types de digesteurs sera développé afin d'apporter le maximum de flexibilité d'opération. Bien qu'un type de réacteur sera toujours sélectionné pour chaque cas, cela peut varier selon les conditions. de plus, ce travail va des modifications nécessaires aux installations existantes. Un design flexible est très important en raison des variations saisonnières des apports. L'aquisition des données et des systèmes de contrôle complets seront développés pour les processus de co-digestion. Les informations obtenues seront utilisées le dessin et la construction des opérations pilotes.

A8: Les études pilotes

Un système pilote sera construit au Maroc. Le premier sera axé sur la co-digestion de sources d'eaux usées de différentes industries agro-alimentaires, par exemple les moulins à huile et les laiteries. Les informations obtenues lors de l'étape A4, A5, et A7 aideront au design et à la construction de la meilleure installation possible. Celle-ci devra fonctionner un an afin de démontrer ses performances.

Méthodologie du projet

Le développement d'un processus optimum de co-digestion comprend les axes de recherche suivants:

- cinétiques de biodégradation
- protocole d'optimisation du processus
- design de bioréacteur à l'échelle du laboratoire
- étude de la valeur du bi-produit
- design de bioréacteur flexible
- prototypes expérimentaux

Cinétiques de biodégradation

Les relations entre la composition des déchets (sucres, lipides, protéines, etc.) ainsi que la fraction organique (et d'autres caractéristiques des déchets) et la digestibilité des eaux usées de provenance mixte seront examinées. Ceci sera effectué par des expériences appropriées. L'aptitude des cultures anaérobies à s'adapter à de tels changements dans les apports sera établie. Au départ, cette question sera traitée tant du point de vue microbiologique que pour le processus. Des modèles appropriés (tenant compte de la balance des matériaux en transit avec la complexité de la composition des déchets) pour les processus de co-digestion seront développés afin de déterminer le design optimal du réacteur et des stratégies d'apport.

Protocole d'optimisation du processus

Une fois la technologie de co-digestion maîtrisée, l'étape suivante représente d'optimisation multipériode avec des variables continues et entières. Un logiciel sera développé, capable de décider quel type de déchets à traiter à quel moment ainsi que le nombre et l'emplacement des sites de traitement.

Tests de bioréacteur à l'échelle du laboratoire

Différents types de réacteurs (CSTR, UASB, et ABR) seront tester pour la co-digestion en utilisant le protocole d'optimisation du traitement et en examinant les performances du traitement par des mesures "on-line" et "off-line".

Etude de la valeur des Bi-produits

Les effluents du digesteur seront examinés pour leur exploitation comme engrais (fraction solide) et pour la réutilisation de l'eau. L'ultra-filtration, l'osmose inverse et les résines échangeuses d'ions seront examinées comme alternative.

Le gaz produit sera étudié et la valeur économique des bi-produits sera déterminée.

Flexibilité du bioréacteur

Des bioréacteurs flexibles et robustes, capables de supporter des variations des différents paramètres, seront dessinés. Cela impliquera la détermination de parties mécaniques mobiles, de systèmes de contrôle et de stratégies d'opération.

Les prototypes expérimentaux

Deux prototypes seront conçus et optimisés. Le prototype en Grèce sera destiné aux déchets d'origine agricole variée. Celui du Danemark sera basé sur des déchets du même type d'industrie alimentaire mais avec des matières premières différentes au cours de l'année.

Examination du risque technique

Les recherches proposées vont aboutir à de nouvelles connaissances de grande valeur technologique et ne présentent pas de risque significatif, selon notre opinion. On peut croire que l'on disposera d'un système co-traitant séquentiellement par exemple, les déchets des moulins à huile, des laiteries, et du sucre sans problèmes. Cependant les critères des produits à co-digérer, le design du réacteur et des opérations restent inconnus. De plus les ramifications économiques de la collecte et du traitement restent à être étudiés.

Bien que la base théorique du projet proposé est bien documenté, les étapes d'expérimentation (unité pilote) et d'optimisation présentent un risque de faible compatibilité, estimé par la qualité des différents types de déchets de même que par leur synchronisation en quantité afin d'avoir du substrat toute l'année.

Équipement nécessaire pour une démonstration de laboratoire à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

8 réacteurs de 4 l chaque avec pompe et circulation	USD 40.000
2 réacteurs de 9 l chaque avec système de contrôle	USD 15.000
1 Chromatographie gazeuse pilotée par ordinateur	USD 32.000
Équipement analytique varié, verrerie etc.	USD 42.000
Réacteur UASB 700 l 4 Réservoirs de 2.5 m ³ Tubes Contrôle local	USD 255.000
Système de contrôle global	USD 25.000
Équipement total	USD 409.000

Structure du programme de formation à l'étranger	
2 étudiants en thèse	USD 80.000
Formation locale	USD 40.000
Assistance étrangère 8 mois 8 personnes	USD 120.000
Total	USD 240.000

Le projet est proposé avec un financement par des sponsors internationaux.