

« EAU ET ÉNERGIES RENOUVELABLES AU MAROC »



M. Wauthelet ASBL EPUVALEAU

Exposé présenté chaque année aux étudiants de 2eme Ing. Et aux 3ème cycle

ENERGIE EOLIENNE

- Carte des vents: Côtes (3500 km): 5 à 11m/s (Tanger) !
- ➤ dépendance et facture énergétiques, ▼ qualité environnement

ELECTRICITE



- ☞ Nouvelles techniques ➤ coût (< 0,3-0,5 Dhs/kWh)
- ☞ 300 aérogénérateurs (< 1 kW/u)
- ☞ ▼ Parcs en cours (Tanger): 3 MW +50 MW
(RFA.-Fr.-Dan.-ONE-CDER) + 140 MW (ONE)
- ☞ + Parcs dans le Sud Maroc: 60 MW + 2,8 MW (Etudes/privés allemands ou canadiens,..., ONE,CDER)
- ☞ ➤ coût + tarification 'agricole' ▼ ▼Pompage par pompes immergées électriques

POMPAGE par pompe éolienne

- ☞ Vents > 3-4 m/s ▲ eau potable + irrigation
- ☞ Réalisations: 5000 (Privés, (CDER))
- ☞ Intensifier les études et réalisations



ENERGIE SOLAIRE

- Carte (CDER): de 4,7 à 5,6 kWh/j.m² + 2800-3400 h/an

PHOTOVOLTAÏQUE



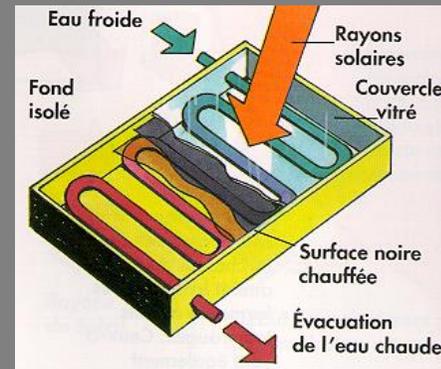
- ☞ Taux d'électrification: < 20 % (90% en ville),
- ☞ Utilisation de bougies, pétrole, gaz, batteries
- ☞ Energétisation rurale totale (2010) et ✓ niveau de vie (éclairage, radio, TV)
- ☞ 3,7 MW installés (Privés, installateurs, MEM, CDER, ONE) (pompage, électr.)
- ☞ 25 000 villages à électrifier
- ☞ Projets (GTZ, PNED, PPER (U.E., France), CDER) : qqs. centaines d'installations.
- ☞ Programme national lancé : PERG (RFA, Fr.):
 - 1000 villages raccordés/an par réseau (si coût <10000 Dhs/maison), générateur diesel, Micro-centrales H.E., éoliennes et panneaux PV.
 - Financement adapté (crédit, subvention), garantie et suivi assurés)



ENERGIE SOLAIRE (suite)

– THERMIQUE

- Eau domestique et industrielle
- Séchage des fruits et légumes
- Dessalement d'eaux saumâtres
- Chauffage des locaux
- Cultures sous serres



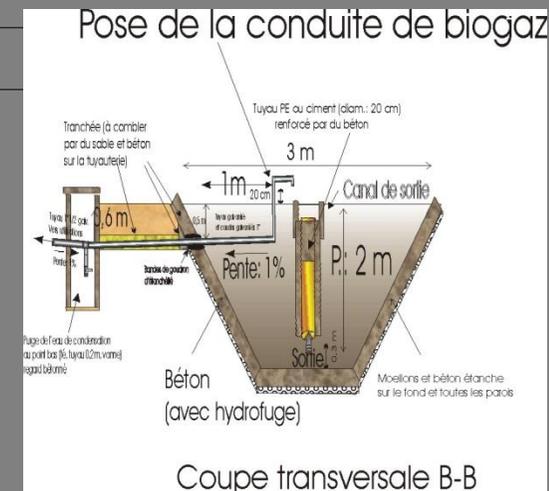
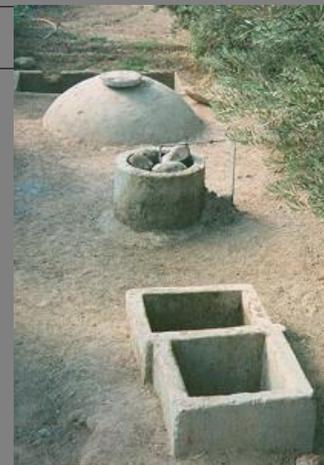
- Encore peu d'installations (36400 m²) (privés, hôtels, hôpitaux, écoles,...)
- Expériences concluantes (CDER, privés)
- A vulgariser davantage

◆ AGRICOLE

- 500 000 fermes d'élevage (> 4 bovins):
 - ☞ Réalisations (CDER, Univ., Min.Agric.): 400 installations de 10 à 100 m³,
 - ☞ Mais stratégie de diffusion testée
- Production potentielle: 1800 GWh/an

◆ URBAIN

- Eaux Usées
 - ☞ 400 Mm³ /an
 - ☞ Potentiel: 100 Mm³ biogaz/an = 750 GWh/an
 - ☞ Expérience réussie près d'Agadir, études d'autres sites (CDER, GTZ,...)
- Déchets ménagers
 - ☞ 8000 t/jour
 - ☞ Potentiel: 3500 GWh/an
 - ☞ Etudes, requêtes en cours (CDER, GTZ,...)



POTENTIALITÉS des combinaisons E.R.-EAU

BIOMASSE-ENERGIE



- 35% du bilan énergétique national
- Demande (6 Mt bois/an) > Offre (1,6 Mt bois/an, 9 Mha forêt+maquis)
- ▲ Déficit important: déforestation de >30 000 ha/an → Désertification, Erosion, envasement des barrages (x 10Mm³/an !!)
- ▲ Reboisement en cours (Min. Eaux & Forêts, 15000 ha/an) et à intensifier

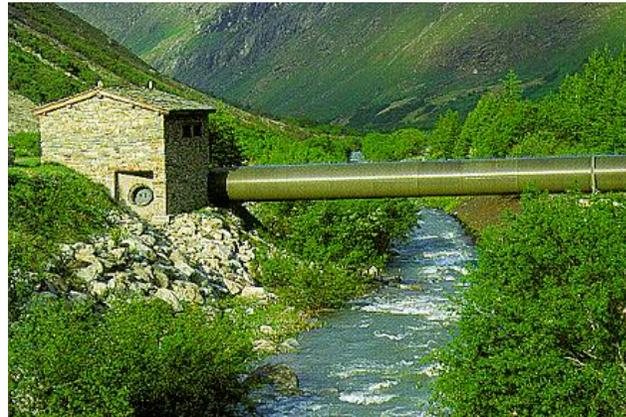


◆ Niveau Rural: 90 % des consommations en bois, appareils rudimentaires

- ▲ Nouvelles techniques introduites et à diffuser massivement (2 Mio.ménages!):
 - Installations solaires (qq. unités pour chauffage ou cuisson), électriques et à gaz
 - Foyers (5000), fours, poêles, (qq. dizaines) bains améliorés



- ◆ Barrages équipés (ONE), mais potentiel encore important (! sécheresse)
- ◆ Micro ou mini-centrales: tests (4) et études concluants (Maroc, RFA, France), nombreux sites disponibles, à intégrer dans les Programmes d'électrification nationaux.



PROJET:

***"Utilisation du biogaz
à la station d'épuration de Ben
Sergao (Agadir)"***

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

STATION D'ÉPURATION DE BEN SERGAO:

- * **CONSTRUITE EN 1988 (env. 4 Mio.Dhs).**
- * **TRAITEMENT DE 750 À 1500 m³ D'EAUX USÉES PAR JOUR.**
- * **EAUX USEES DE BEN SERGAO (15000 EQ.HABITANTS).**

Depuis 1990, **PRODUCTION DE GAZ MALODORANT**
PAR LE BASSIN DE DÉCANTATION

MAIS RICHE EN MÉTHANE ET DONC EN ÉNERGIE = BIOGAZ

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: *"Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"*

CE BIOGAZ PEUT ÊTRE COLLECTE ET:

* **BRULE (TORCHERE, BRULEURS)**

* **UTILISE COMME CARBURANT (MOTEUR)**

====> **PRODUCTION D'ÉNERGIE et DE PROFITS**

====> **ÉLIMINATION DES ODEURS**

====> **REDUCTION DE LA POLLUTION PAR LE MÉTHANE.**

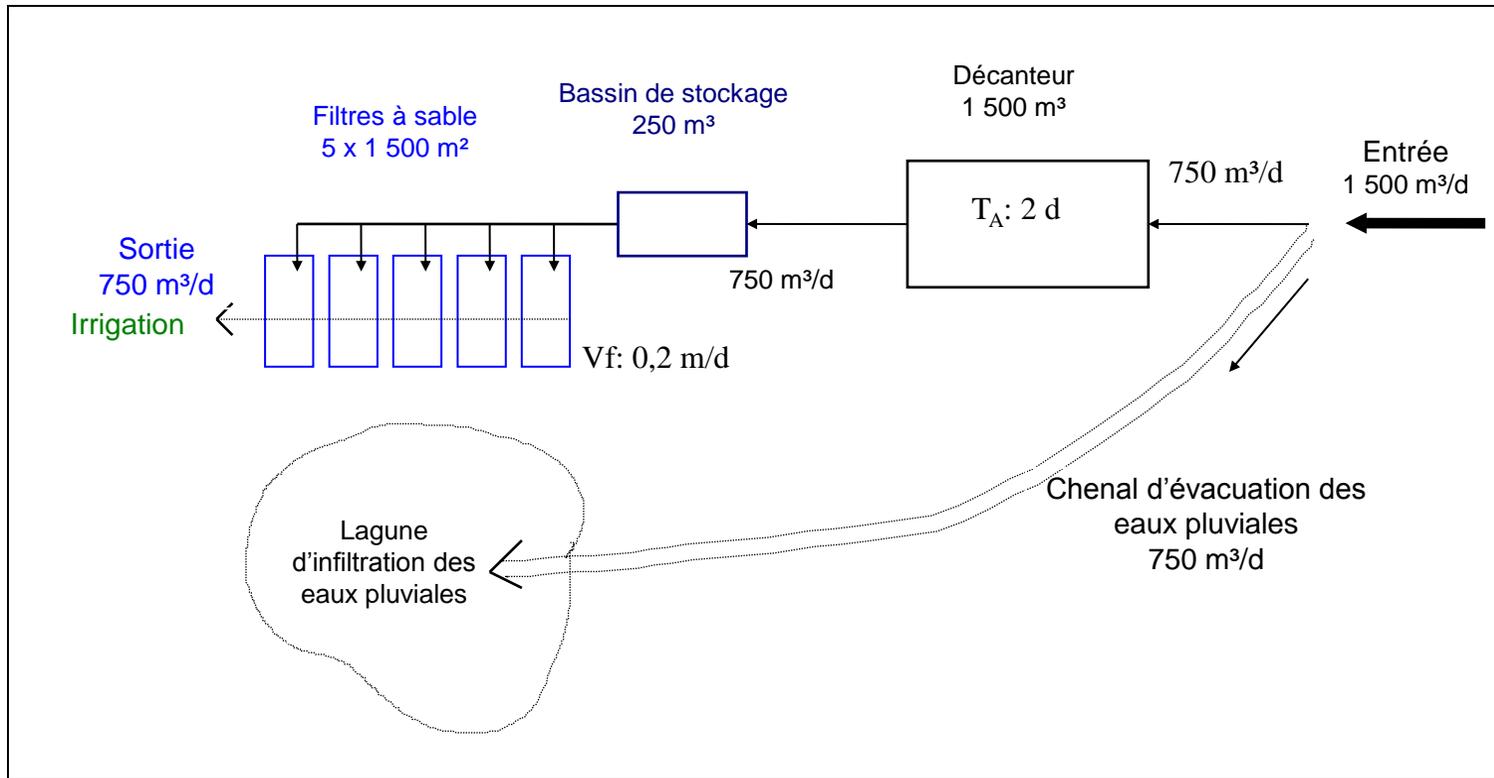
ESSAIS ET DEMONSTRATIONS EFFECTUES EN FIN 1993.



Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

Schéma de la filière épuratoire de la station de Ben Sergao / Agadir



Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

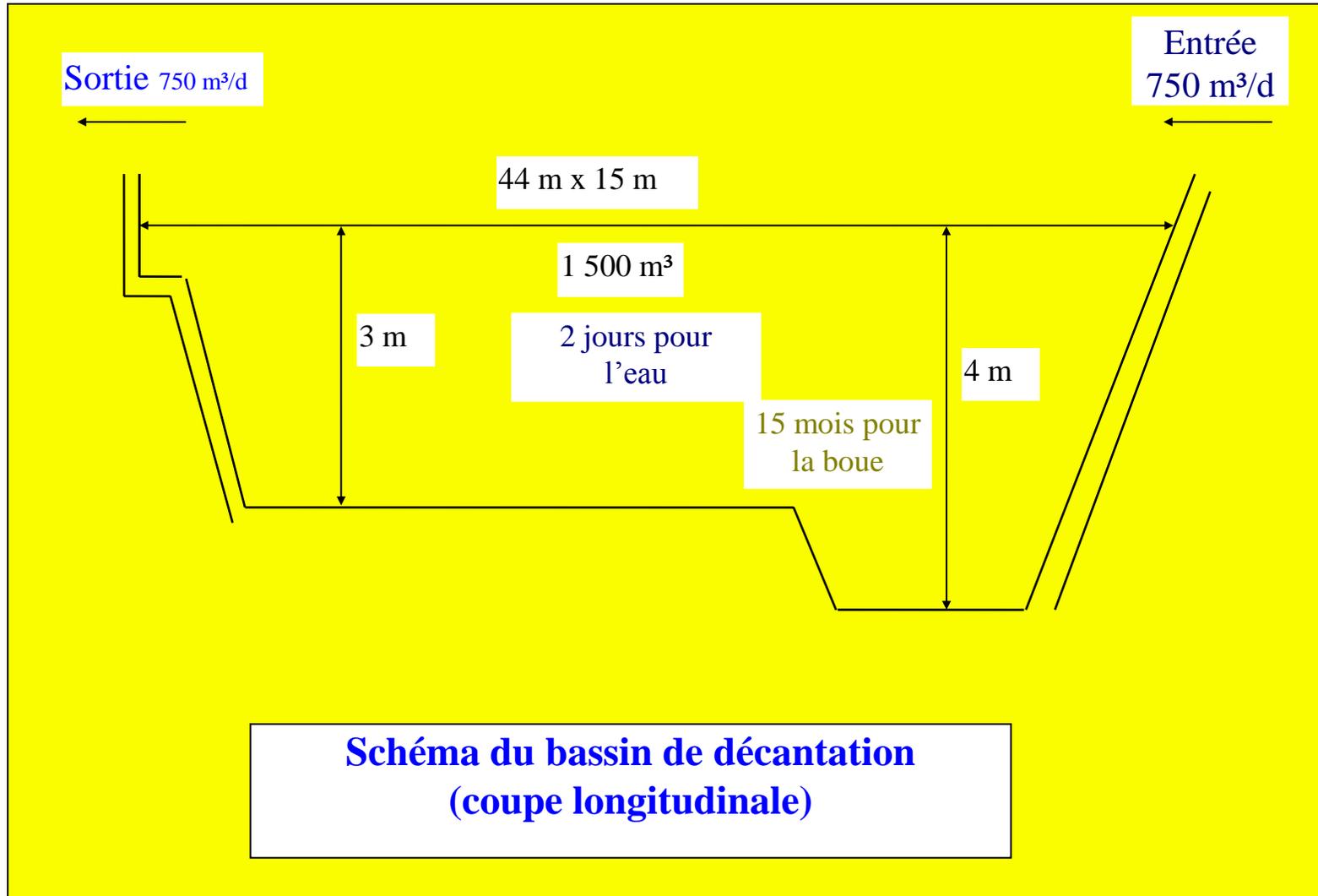
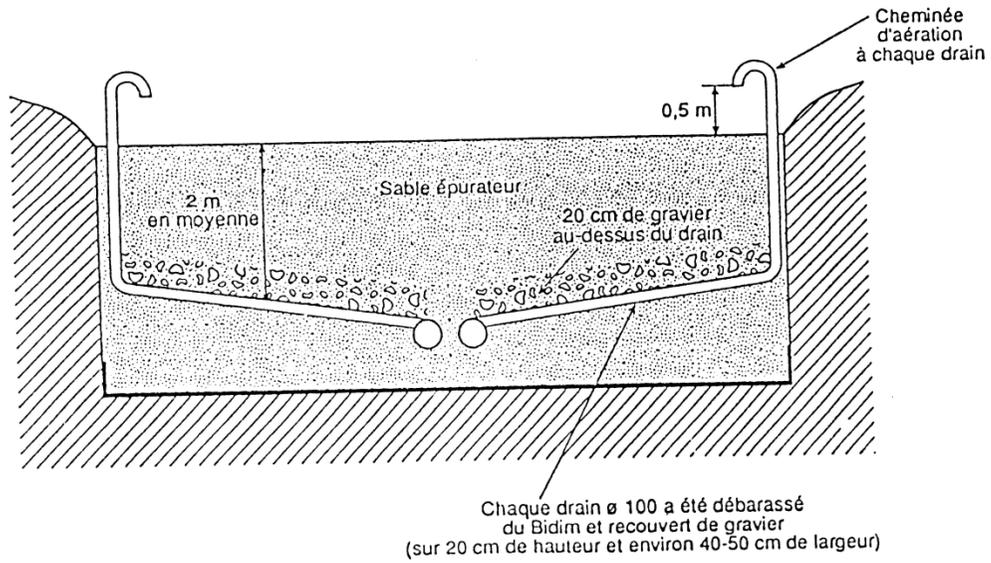


Fig. 5: Cheminées d'aération des bassins à sable



	Eaux brutes	Eaux décantées	Eaux épurées
MES [mg/l]	431	139	2,8
DCO [mg/l]	1 189	505	52
DBO ₅ [mg/l]	374	190	10
NTK [mg N/l]	116	99	17
Nitrates [mgN/l]	0	---	56,7
N _{tot.} [mgN/l]	116		73,7
P _{tot.} [mg/l]	26	24,5	15,8
K [mg/l]	37	---	37
Ca [mg/l]	143	---	238

Toute la station élimine 99,3 % de matière en suspension, 95,6 % de DCO et 97,3 % de DBO.

Tableau des mesures microbiologiques moyennes:

	Eaux brutes	Eaux décantées	Eaux épurées	Taux de réduction
Coliformes fécaux	$6,156 \cdot 10^6$	$4,96 \cdot 10^5$	327	4,27 Ulog
Streptoc. fécaux	$2,09 \cdot 10^7$	$1,603 \cdot 10^6$	346	4,78 Ulog
Oeufs Nématodes [Nbr./l]	139	32	0	100 %
Oeufs Cestodes [Nbr./l]	75	18	0	100 %
Oeufs Helminthes [Nbr./l]	214	47	0	100 %

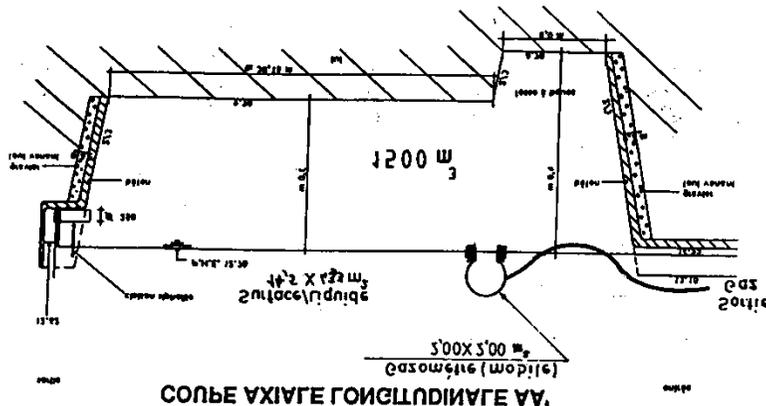
Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

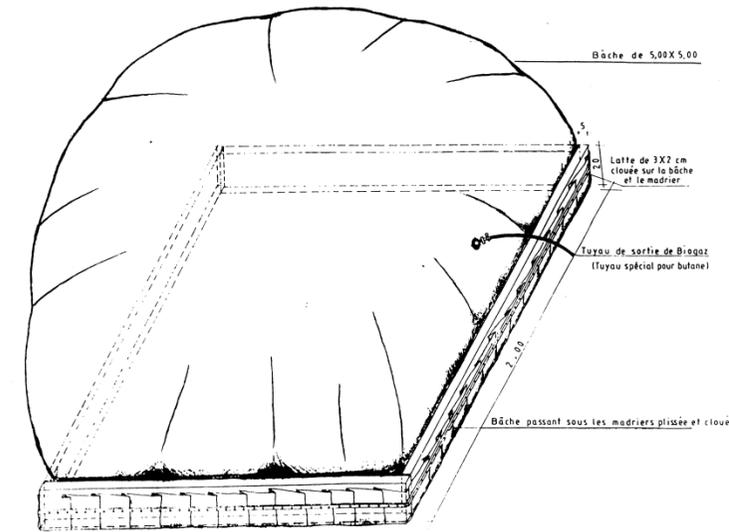
2. PREMIERS ESSAIS DE RECUPERATION DU BIOGAZ.

2.1. TECHNIQUES UTILISEES EN 1993

- COLLECTE D' "ECHANTILLONS" DE GAZ GRACE A UNE BÂCHE FIXEE SUR UN CADRE EN BOIS
 = **GAZOMÈTRE**
- MESURE DES DÉBITS DE GAZ PAR UN COMPTEUR SPÉCIAL
- ANALYSES DU BIOGAZ GRACE A DES APPAREILS DE TERRAIN:
 % d'O₂, CO₂, H₂O, H₂S => % CH₄ et température.
- MESURE DES TEMPERATURES ET pH DES EAUX.



GAZOMETRE FLOTTANT SUR LE BASSIN DE DECANTATION DE LA STATION D'EPURATION DE BEN SERGAO - AGADIR -

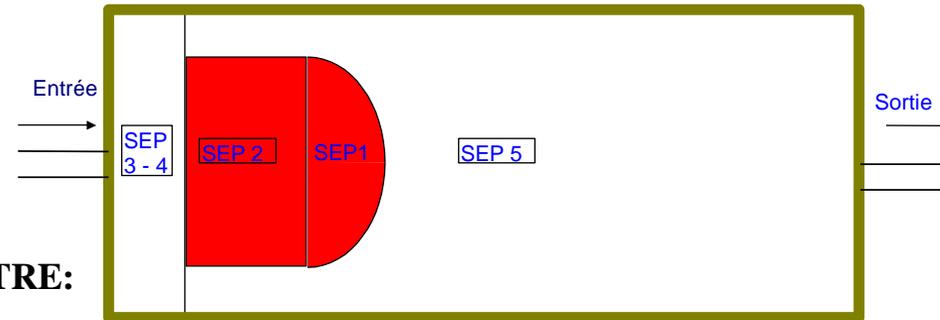


Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

2.2. METHODE POUR LES ESSAIS (1993).

- CHOIX DES DIFFÉRENTS EMPLACEMENTS DU GAZOMÈTRE:
- DEFINITION DE SURFACES D'ÉQUIVALENTES PRODUCTIONS (S.E.P.).
- ==> POSSIBILITES D'EXTRAPOLER AUX S.E.P. LES DEBITS MESURES.
- CALCUL DES PRODUCTIONS DE BIOGAZ PAR L'ENSEMBLE DU BASSIN DE DÉCANTATION.



Surfaces d'équivalentes productions (SEP) de biogaz au niveau du bassin de décantation

SEP	Surface [m ²]	Production en biogaz [m ³ /d]
1	39,27	9,5
2	70	47
3-4	58	7
5	456	42,8
	Production totale	106,3

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

2.3. RESULTATS DES ESSAIS ET DIFFUSION

- pH DES EAUX USEES = 7 à 7,10
- TEMPERATURE des eaux= $\geq 20^{\circ}\text{C}$
FAVORABLES POUR LA PRODUCTION DE BIOGAZ

- CONTENU EN H_2S = ± 1 % (mauvaise odeur)

- LE GAZ EST INFLAMMABLE,
- RICHESSE EN METHANE > 70 %

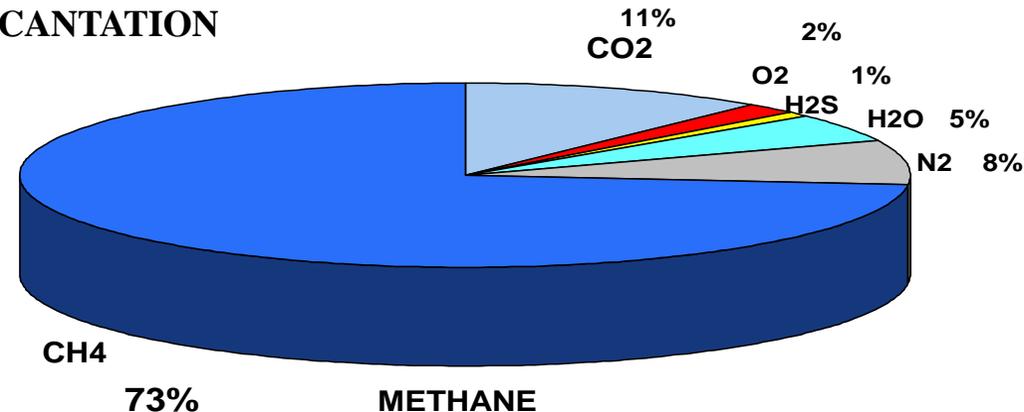
==> P.C.I. Biogaz > 7 kWh/m³

==> PRODUCTION QUOTIDIENNE DU BASSIN DE DECANTATION

= PLUS DE 700 kWh_{th}! (En hiver: froid et pluies !)

- RAPPORTS, REUNIONS, VISITES,
PARTICIPATION AUX SEMINAIRES ET COLLOQUES
POUR PRESENTER LES RESULTATS et
MONTER UN PROJET DE FINANCEMENT.

Composition du biogaz



Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

2.4. POTENTIALITES D'UTILISATION DU BIOGAZ.

- PAR L'ADAPTATION DE MOTEURS DIESELS AU BIOGAZ:

chaque m³ de biogaz remplace 0,6 litre de gasoil

**ECONOMIE DE MIN. 23000 l. DE GASOIL PAR AN : 100.000 Dhs/an
GRACE AUX 106 m³ de BIOGAZ/JOUR**

- **POMPAGE DES EAUX EPUREES PAR UN MOTEUR DE 10 Cv
(1,5 m³ biogaz/h + 0,2 l gasoil/h)**
- **POMPAGE ET AERATION DES EAUX DECANTEES (bassin
ou percolateur)**
- **COMBUSTIBLE POUR LES APPAREILS DE LABORATOIRE ET
DE LA MAISON de la STATION.**
- **PRODUCTION D'ELECTRICITE (groupe électrogène)
REFRIGERATION, CHAUFFAGE D'EAU, ...**

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

2.5. METHODES ET COUTS PREVUS POUR LA RECUPERATION DU BIOGAZ.

- **COLLECTE DE LA TOTALITE DU BIOGAZ:**
(couverture totale du bassin de décantation)

* **SOIT PAR UNE SEULE BÂCHE FLOTTANTE EN PVC DE 1000 m².**

MAIS:

- **CONFECTION D'UNE TELLE BACHE SERAIT DIFFICILE**
- **SYSTEMES D'ATTACHE SOUMIS A DE TROP FORTES TENSIONS**
- **MONTAGES ET DEMONTAGES FASTIDIEUX.**

(Rem.: la bâche devrait être retirée chaque année pour permettre l'extraction des boues décantées à l'aide d'une grue.)

* **SOIT 5 GAZOMETRES FLOTTANTS MUNIS DE BACHES DE 200 m².**

↳ **PLUS MANIABLES, DEPLACES SANS DIFFICULTES.**

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

- + **CONDUITES DE BIOGAZ GALVANISEES EN PE JUSQU'AUX UTILISATIONS (GROUPE ELECTROGENE,.**
- **COUTS PREVUS: 5 GAZOMETRES (75000 Dhs)**
CONDUITES DE BIOGAZ: (10000 Dhs)
ET ADAPTATION du MOTEUR (200 Dhs)

amortissables en moins d'une année grâce aux économies de gasoil pour le moteur.
- **AUTRES POSSIBILITES:**
 - **CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR A BIOGAZ POUR DIGERER LES BOUES POMPEES DU BASSIN DE DECANTATION**
Solution non retenue car non 'nécessaire' et coûts d'investissement et de fonctionnement plus élevés .
 - **MONTAGE D'UN PERCOLATEUR OU D'UN AERATEUR**

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: *"Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"*

3. PROJET de "récupération et d'utilisation du biogaz" (1995-1997)

3.1. Introduction

- * Les tests de 1993 ont montré:
 - que le gaz du bassin de décantation est riche en énergie (> 700 kwh/j) et inflammable
 - qu'il est rentable et écologiquement important de récupérer et d'utiliser le biogaz (> 100 000 Dhs/an)

Demande à la GTZ et accord de budget en 1995

Convention signée en mi-1995 et comprenant plusieurs partenaires et intervenants:

**Wilaya-RAMSA-GTZ/CDER/PSE + Université Karlsruhe
+ ORMVA-SM**

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: *"Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"*

3.2.Objectifs du projet GTZ „Ben Sergao“

- Récupération du biogaz produit par le décanteur anaérobie
- Utilisation du biogaz pour couvrir les besoins en énergie de la station.
- Amélioration de la qualité et de la rentabilité de l'épuration des eaux usées.
- Démonstration de nouvelles techniques de traitement des eaux usées (percolateur,...
- Diffusion des résultats car la station de Ben Sergao = Modèle pour les autres stations d'épuration au Maroc et dans les zones semi-arides.

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: *"Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"*

+ (Objectifs+)

- **Diminution des mauvaises odeurs**
- **Réduction de la pollution par le méthane et le sulfure d'hydrogène**
- **Promotion de l'utilisation des eaux épurées pour l'irrigation**
- **Une baisse significative de la pollution de la mer et des fleuves.**

-

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

3. 3. RESULTATS DU PROJET DANS LE DOMAINE DU BIOGAZ (1995-1997)

3.3.1. RECUPERATION DU BIOGAZ

1995-96:

VIDANGE DU BASSIN DE DÉCANTATION

(vidange de l'eau et enlèvement des boues de fond par une pelle mécanique).

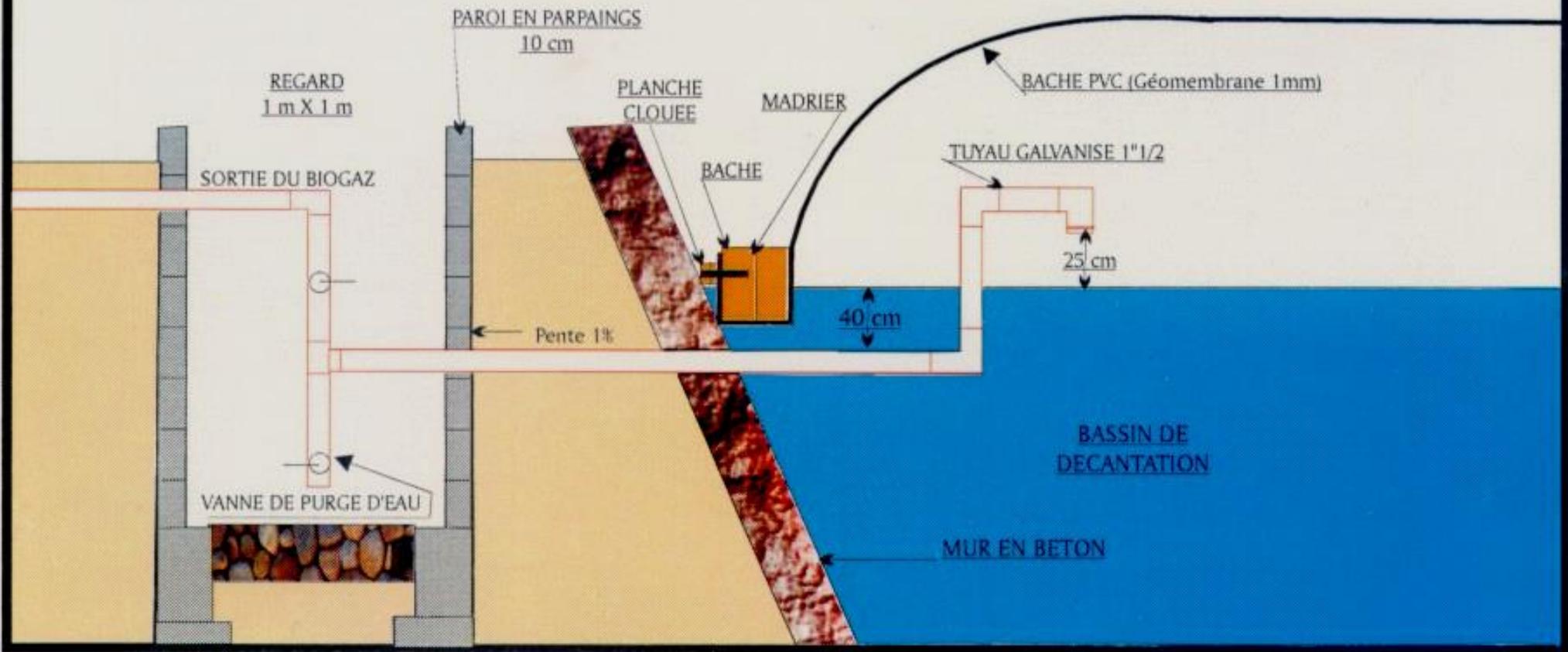
MONTAGE DES TUYAUTERIES DE BIOGAZ (1"1/2) SUR UN CÔTÉ DU BASSIN

CONFECTION ET MONTAGE DE QUATRE GAZOMÈTRES :

- **MADRIERS MONTÉS EN CADRES FLOTTANTS DE 8 m X 14 m**
- **NAPPES EN GÉOMEMBRANE PVC (1 mm D'ÉPAISSEUR)
de 10 m x 16 m achetées et soudées à Casablanca**
- **GARANTIES 10 ANNÉES.**
- **CAPACITE DE STOCKAGE jusqu'à 800 m³ DE BIOGAZ au total (à 1 mbar).**



Gazomètre et tuyauterie à gaz (en coupe)



Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

3.3.2. UTILISATIONS DU BIOGAZ

* 1996 :

CONSTRUCTION D'UN ABRI POUR MOTEUR

**MONTAGE DU RESEAU DE COLLECTE DU BIOGAZ ET
D'UN GROUPE ELECTROGENE:**

- MOTEUR 2 cyl. 16 Cv et ALTERNATEUR de 10 kVA.

ELECTRIFICATION DE LA STATION :

- ÉCLAIRAGE DES BASSINS (3 PROJECTEURS)
- RACCORDEMENT DES BUREAUX et DE LA MAISON.



Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

LE MOTEUR EST UTILISÉ DE 5 A 22 HEURES/JOUR:

- CONSOMMATION AVEC UNE CHARGE DE 3 KW

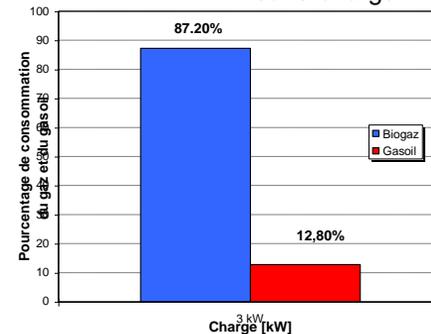
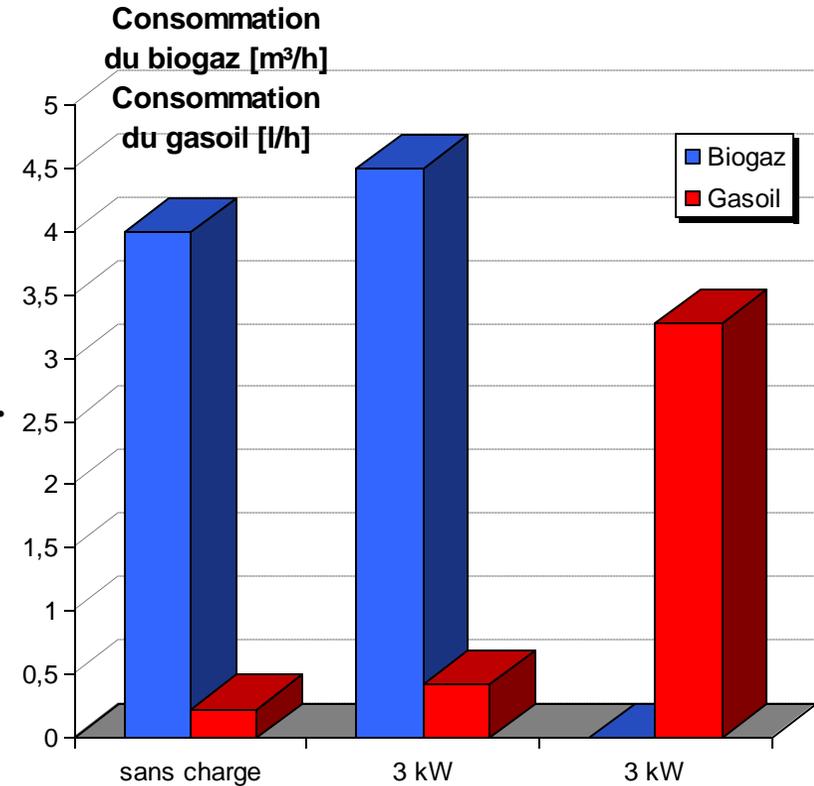
4,5 m³ BIOGAZ PAR HEURE et 0,42 l GASOIL PAR HEURE

= 13 % DE LA CONSOMMATION NORMALE DE GASOIL.

VALEUR FINANCIERE DU BIOGAZ = 0,25 Dhs/ m³ d'eaux usées

LE RESTE DU BIOGAZ POURRA ETRE UTILISE:

- PAR UN GROUPE ELECTROGENE PLUS PUISSANT (pompes électriques, vente d'électricité,..)**
- PAR UTILISATION DE BRULEURS, FOURS,...**



Taux de substitution du gasoil par le biogaz du moteur 16 Cv avec une charge de 3 Kw

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

3.3.4. BILAN DE LA MATIERE ORGANIQUE DU BASSIN DE DECANTATION (1996-97)

- ANALYSES DES EAUX USEES BRUTES ET DECANTEES, DES BOUES DECANTEES, DU BIOGAZ...
- SUIVI DE LA GESTION TECHNIQUE DE LA STATION

RESULTATS:

- Bilan de la DCO
- Production de ca. 100 m³ de boues sur 16 mois (par 500.000 m³ d'eaux usées)
(extraites par une pelle mécanique -> à composter et à réutiliser (à l'étude))
- Temps de séjour (2 j.) des eaux dans le décanteur probablement trop élevé.

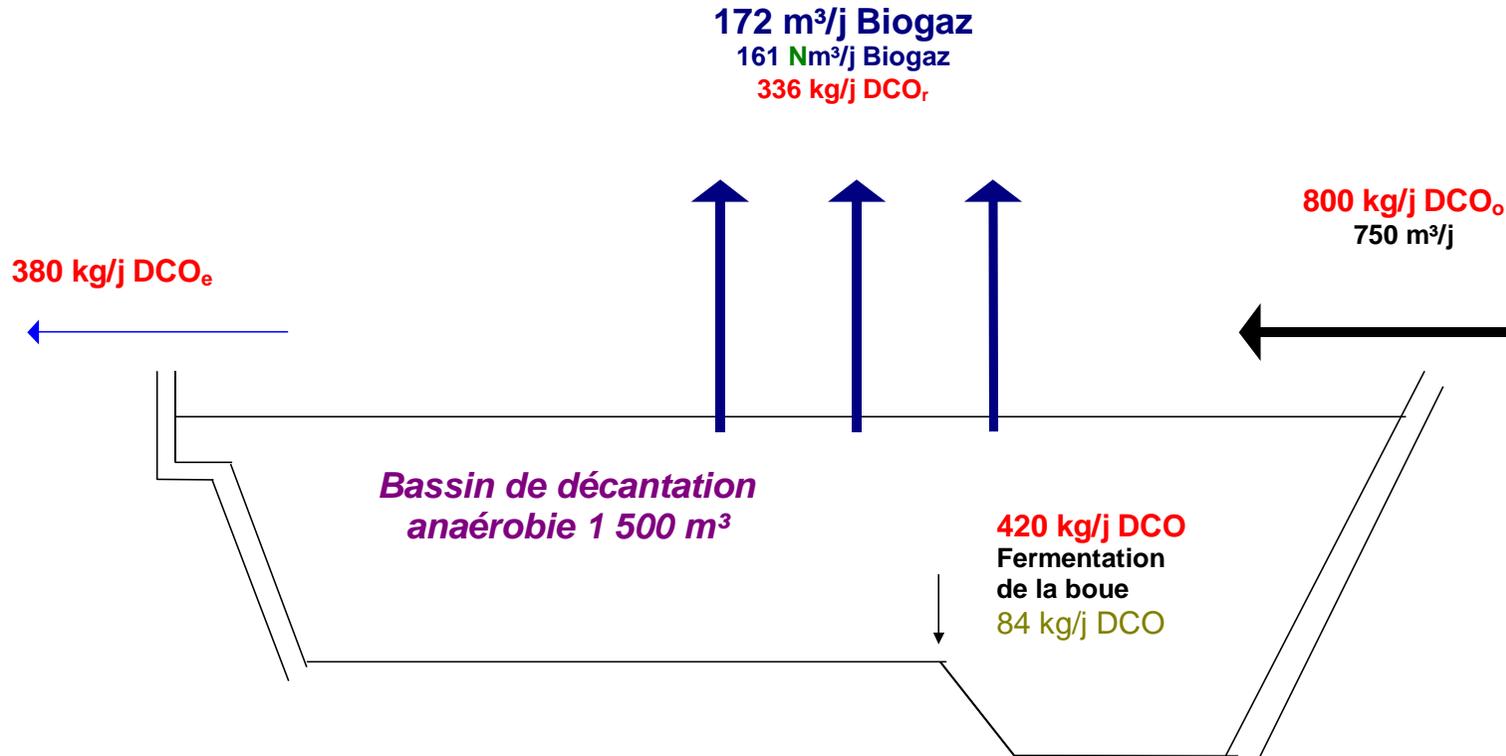
--> Essais à faire pour augmenter le débit,

mais nécessité d'augmenter aussi les filtres à sable

ou d'utiliser des 'filtres' (lits bactériens,...) intermédiaires --> Tests concluants en 1996-97 (+ Doctorat).

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"



Le Bilan de la DCO et la production de biogaz au niveau du décanteur anaérobie

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

4. CONCLUSIONS

- ✓ **Système d'épuration (décantation, percolation-infiltration) :**
 - ✦ très économe en énergie, naturel
 - ✦ très efficace (eaux traitées: classe A (OMS))
 - ✦ adapté pour l'objectif 'réutilisation des eaux en agriculture' (>pathogènes)
 - ✦ approprié pour : - agglomérations 1 à 500000 Eq.-Hab. – zones (semi-) arides
 - ✦ production d'énergie (biogaz): 1250 kWh_{th.} /j pour 10000 Eq.Hab. (encore améliorable)
 - ✦ >volume boues, >pollution et >odeurs si gaz utilisé

Bilan financier:

Coût total traitement: 0,85 Dhs/m³ eaux usées brutes

Profits envisagés: Vente d'eau épurée: 0,35 à 0,5 Dhs/m³

 Production énergie/biogaz : 0,25 Dhs/m³

Coût d'investissement = 4 fois inférieur à celui d'une station à boues activées.

Exemple de combinaison E.R.-EAU (usée)

PROJET: "Utilisation du biogaz à la station d'épuration de Ben Sergao (Agadir)"

4. CONCLUSIONS (Suite)

- Nécessités:

- Gestion rigoureuse (mais par des techniciens)
- Surfaces importantes des filtres à sable (0,75 m²/Eq.hab.) (>si 'insertion' d'un lit bactérien)
- Collecte (tous les 16 mois) et traitement des boues
- Collecte et utilisation du biogaz (mais invest. rentable !)

+ Le système 'Ben Sergao+Biogaz' sera appliqué à:

Drarga (en cours) (5000 Eq.Hab.), Agadir (400 000 Eq. Hab.),
autres pays (Jordanie?, Mexique?,...),

+ L'utilisation du biogaz est appliquée à Rabat (station IAV), est étudiée pour différents projets au Maroc et est intégrée dans des projets 'eaux usées' U.E.-FUSAG-Epuvaleur (+én. Solaire)