

TABLE DES MATIERES

PREFACE ET REMERCIEMENTS

L'école agro-forestière à Nyamishaba a été construite par le gouvernement du Rwanda en collaboration avec la Direction de la coopération au Développement et de l'Aide humanitaire du gouvernement suisse, DDA, qui supporte aussi le fonctionnement de l'école.

L'installation biogaz, projetée en 1983, a été construite en deux étapes dans les années 84 et 85. Le but de ce rapport est de présenter en détail les solutions techniques partiellement nouvelles et de rapporter les expériences pratiques et économiques, ainsi que les données de production.

Nous aimerions remercier cordialement nos amis noirs de l'école à Nyamishaba, les coopérateurs de la DDA au Rwanda - notamment les familles Siegenthaler et Pratz - ainsi que les responsables de la DDA à Berne, Mlle.F.Hurni et Mr.M.Olgiati, pour l'atmosphère coopérative et amicale, qui a contribué beaucoup à la bonne exécution de cette étude. De même, nous remercions Daniel Fridex pour la correction du texte.

Maschwanden, en automne 1987
Werner Edelmann

Les travaux ont été effectués par:

W.Edelmann, Dr.sc.nat.ETH
H.Engeli, sc.nat.ETH, technicien
E.Lüdi, spécialiste réseau gaz
P.Siegl, dipl.bau-ing.HTL

Adresse postale:

ARBI
Arbeitsgemeinschaft Bioenergie
8533 Maschwanden
Suisse

1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	3
1.1 Description globale du système	4
1.2 Le traitement du substrat	8
1.3 Les digesteurs	10
1.4 Le couvercle en plastique des digesteurs	14
1.5 Le système gaz et la "soupape polyvalente"	20
1.6 Les ballons de stockage	24
1.7 Les brûleurs à la cuisine	25
1.8 Autres mesures techniques	29
2. BILAN ENERGETIQUE	34
2.1 Les paramètres de la digestion	34
2.2 Le bilan de la production de gaz	35
2.3 Le bilan énergétique de la consommation de gaz	36
3. BILAN ECONOMIQUE	38
3.1 Les frais de construction	38
3.2 Les frais d'exploitation	40
3.3 Les bénéfices du biogaz	41
3.4 Le calcul de rentabilité	41
4. CONCLUSIONS FINALES	43
4.1 Pour l'école	43
4.2 Pour le pays	44
ANNEXE: pages 2-6 du rapport ARBI 1983	45
Production de biogaz actuelle au Rwanda	A2
Le potentiel biogaz au Rwanda	A3
Le rôle du biogaz pour le développement du pays	A5
Restrictions et limites	A5
PHOTOGRAPHIES	30

RAPPORT DE MISSION:

INSTALLATION DE BIOGAZ A L'ECOLE AGRO-FORESTIERE
NYAMISHABA, RWANDA

1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION:

Dans les années 1984 et 1985, une installation biogaz a été construite à l'école agro-forestière de Nyamishaba sous la direction technique de l'ARBI. Il s'agit d'une installation "batch".

On a choisi le processus de remplissage en discontinu pour plusieurs raisons: D'une part à la ferme de l'école on avait l'habitude de produire un fumier sec, qui s'accumulait dans l'étable et qu'on versait sporadiquement sur les champs. Comme on voulait trouver une solution technique qui changeait les habitudes présentes à l'école le moins possible, il semblait être raisonnable de choisir une digestion en discontinu à haute teneur en matière sèche.

D'autre part - vu que l'installation se trouve dans une école agro-forestière, où des jeunes agriculteurs sont formés - on a voulu trouver une solution qui est aussi applicable par les agriculteurs au Rwanda. Là, les fermes sont dans la plupart des cas au sommet d'une colline ou dispersées sur les pentes des montagnes, où l'eau doit être apportée de la vallée. En plus, les éleveurs n'ont pas l'habitude de produire un purin liquide et d'appliquer celui-ci comme fertilisant pour les champs.

Rapport Biogaz Nyamishaba ARBI

1.1 Description globale du système:

Le système de production de biogaz se compose de trois digesteurs "batch", des conduites pour le gaz, des ballons de stockage et des installations pour l'utilisation du gaz. Des compteurs de gaz permettent de mesurer la production et l'utilisation du biogaz. Le fumier sec est dilué par le purin provenant de la fosse à purin près de l'étable des porcs, dans laquelle sont introduits aussi les excréments des employés de la ferme. Une fosse à purin pour le liquide digéré permet de vider les digesteurs plus efficacement. La figure 1 montre le "Schéma R&I" de l'installation avec les composants les plus importants.

La situation géographique est présentée dans les plans des figures 2 et 3. Les numéros de la figure 3 correspondent à ceux de la figure 1.

Le purin de la fosse (1) dilue le fumier provenant de l'étable des vaches et est digéré dans les fermenteurs (2). Après la digestion, la partie liquide coule dans la fosse (3). Le gaz quitte les digesteurs à travers le mur (voir plus bas) et entre, après avoir passé condenseur (4) et compteur (5), dans la "soupape polyvalente" (7). Après une longue traversée de la vallée et de la colline, le gaz arrive dans les ballons de stockage (11). Avant d'être brûlé à la cuisine (16), le gaz passe par un condenseur (12), une "soupape Chinoise" (13), un compteur pour détermination de la consommation à la cuisine (14) et une boîte de "sécurité anti-flamme" (15), qui sont tous installés dans une armoire au site 12, figure 3. Entre l'étable des vaches et celle des porcs il y a une prise de gaz (8) pour cuire de la soupe aux porcs.

Rapport Biogaz Nyamishaba ARBI

Figure 1: Schema R&I, installation biogaz, Nyamishaba, Rwanda

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 fosse à purin, porcs et WC | 8 brûleur pour chauffer de la soupe aux porcs |
| 2 digesteurs | 11 ballons de stockage |
| 3 fosse pour liquide digéré | 12 soupape chinoise |
| 4, 9, 10, 12 condenseurs | 13 soupape Chinoise |
| 5 compteurs de gaz (digesteurs) | 14 compteur (utilisation cuisine) |
| 6 mesurement composition gaz | 15 sécurité anti-flamme |
| 7 soupape polyvalente | 16 brûleurs cuisine |

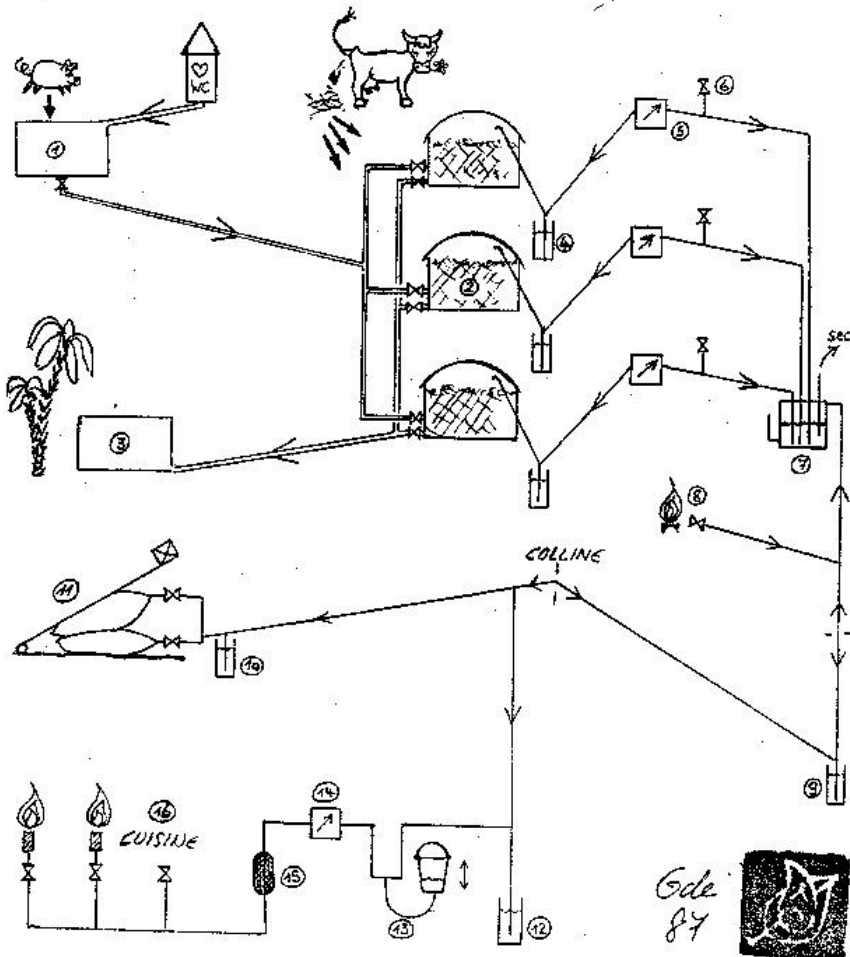


Figure 2: Plan de l'école agro-forestière, Nyamishaba, Rwanda

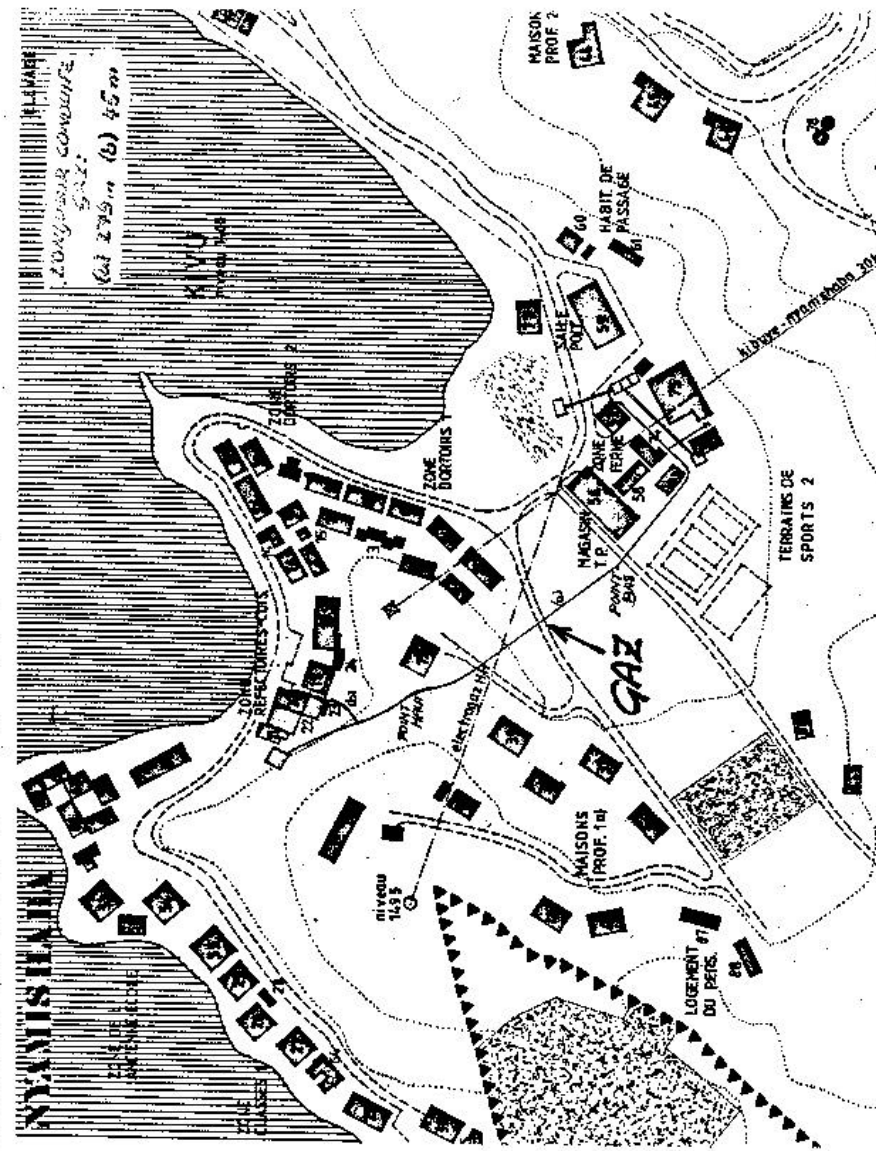
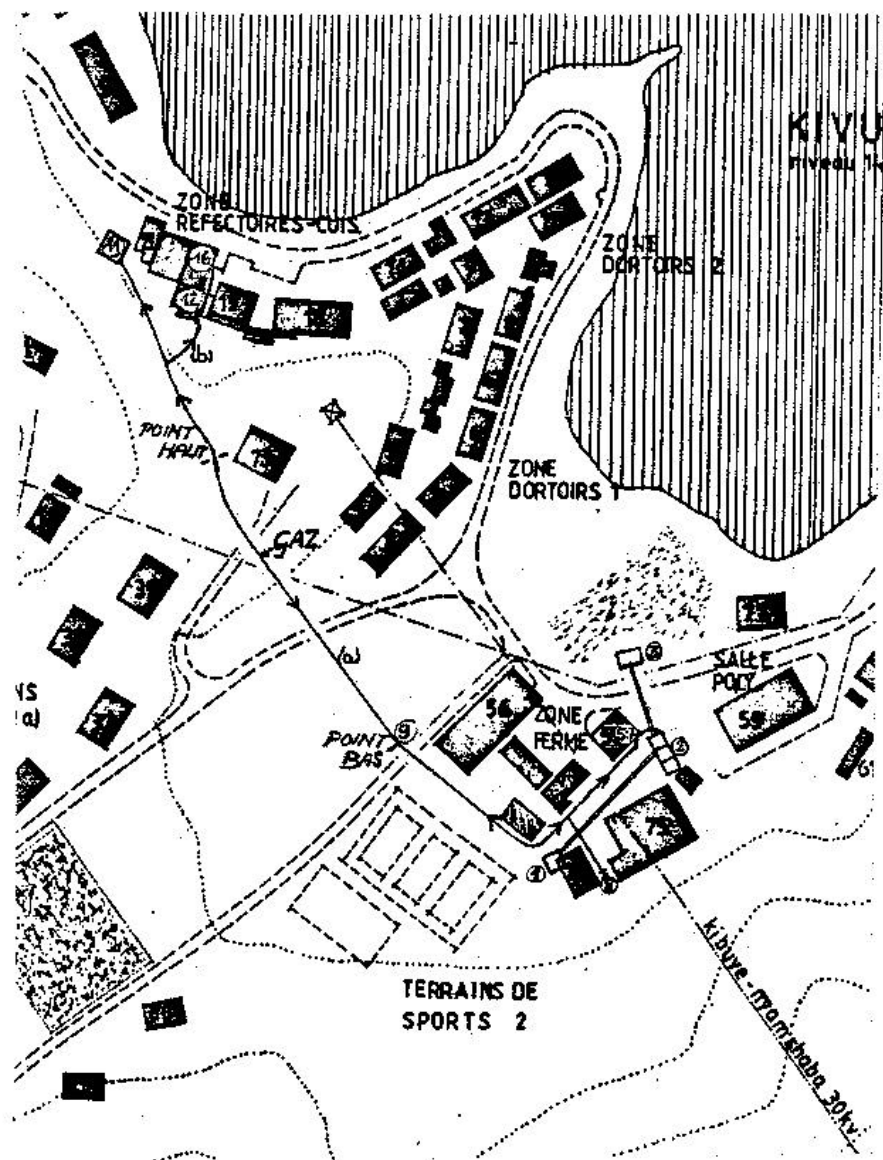


Figure 3: Plan de la section ferme/cuisines, Nyamishaba, Rwanda



1.2 Le traitement du substrat:

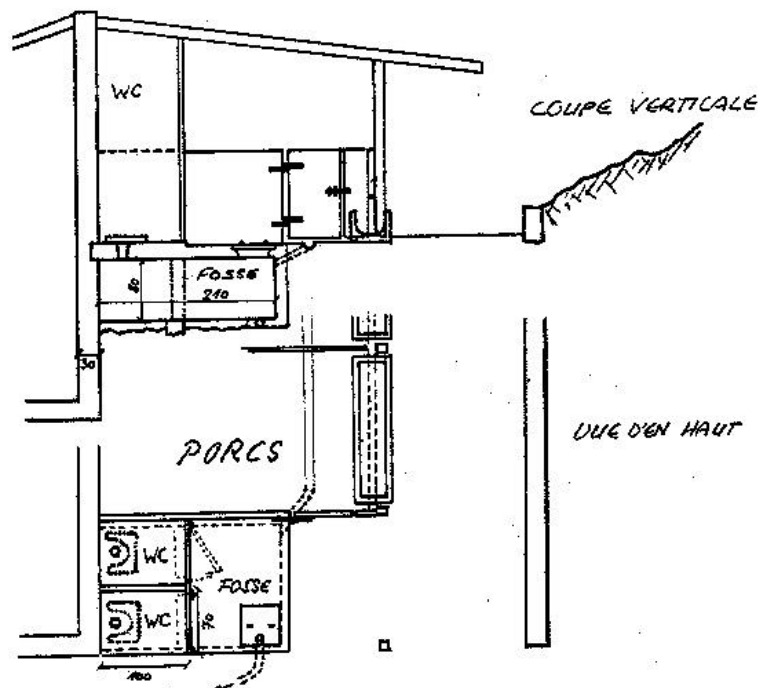
La plus grande partie du substrat provient de l'étable des vaches. Les bêtes ne sont pas entravées et ont la liberté de circuler dans l'étable. Le sol est en terre battue avec une litière (feuilles, matière pailleuse).

Avec le type de stabulation comme présent à Nyamishaba, une digestion en continu d'un substrat liquide n'est pas raisonnable. Le ramassage quotidien des excréments, leur dépouillement de la paille et leur dilution représentent un travail trop grand. Pour la digestion en continu il faudrait changer totalement la méthode de stabulation (bêtes entravées ou système à logettes, si l'on continue d'utiliser de la paille: broyer ou moulinner finement la paille, etc.). Le système en discontinu au contraire ne change pas les habitudes des employés de la ferme.

Pour la digestion, on utilise la couche supérieure de la litière mélangée avec les excréments des animaux. Il ne semble pas être raisonnable de verser toute la litière dans les digesteurs pour deux raisons: D'une part, il est très difficile de prendre toute la litière sans y ajouter de la terre du sol et d'autre part, après la vidange le sol nu devient marécageux avec l'urine des bêtes. Le fait qu'une vieille couche de litière reste en permanence dans l'étable a le désavantage assez important qu'une biocénose bactérienne spécialisée pour la destruction de la litière peut se développer dans la vieille couche (voir plus bas).

La fosse chez les porcs ((1), fig.1 et 3) a une grandeur de environ 3 m³. Deux toilettes "Turquoises" sont situées sur la fosse. Quand un des digesteurs vient d'être vidé, on retire le tampon au fond de la fosse et le mélange de purin de

Figure 4: Situation de la fosse, étable des porcs, Nyamishaba



porc et d'excréments humains peut couler par la force de gravité dans le digesteur à travers un tuyau d'un diamètre de 200 mm. Le tuyau entre 50 cm au-dessus du sol des digesteurs à l'intérieur de ceux-ci. Après le vidage de la fosse, le tuyau peut être fermé à l'intérieur du digesteur par un couvercle.

Dans le digesteur le liquide de la fosse est mélangé avec un reste du liquide de la digestion précédente (hauteur 10-20 cm), qui a la fonction d'inoculer le substrat frais. Dans ce mélange, le fumier sec provenant de la stabulation libre des vaches est introduit à la fourche. Si le liquide ne suffit

pas pour couvrir le fumier jusqu'à la hauteur de la couronne du digesteur, un peu d'eau est ajouté (voir plus bas).

Quand la digestion est terminée, on retire le tampon au point le plus bas des digesteurs (dans un coin, derrière la grille; voir plus bas) et on laisse écouler la plus grande partie du liquide dans la fosse (3) aux fig.1 & 3. On utilise ce liquide, tout comme le fumier digéré et retiré à la fourche des digesteurs, pour fertiliser les champs.

1.3 Les digesteurs:

Les digesteurs sont des fosses rectangulaires d'une capacité de 20 m² de lisier chacun. Les dimensions intérieures sont de 396 x 316 x ca.160 cm (voir figure 6). Les parois sont construites en maçonnerie d'après instruction locale (épaisseur: deux briques) et couvertes à l'intérieur d'un crépis de béton maigre. Le sol consiste en une fondation de pierraille couverte d'un crépis. (Pour les installations de cette grandeur et spécialement pour des installations plus petites il suffirait de construire une fondation avec un coffre de pierraille couvert d'une couche de limon. La pression sur les parois et sur le sol sont de l'ordre de 0,1 kg/cm² (voir lettre au DDA du 11.2.84)). La couronne qui garantit avec sa rigole l'étanchéité au gaz, est construite en béton armé d'après instruction locale (appareil).

Un premier digesteur ("digesteur A") a été construit en 1984 après la visite d'un expert de l'ARBI en 1983. On préférerait obtenir des dates de fonctionnement avant de construire les deux autres ("B" et "C"). Ils datent de l'été de l'année 1985.

Figure 5: Plans des digesteurs, Nyamishaba, Rwanda
(première version)

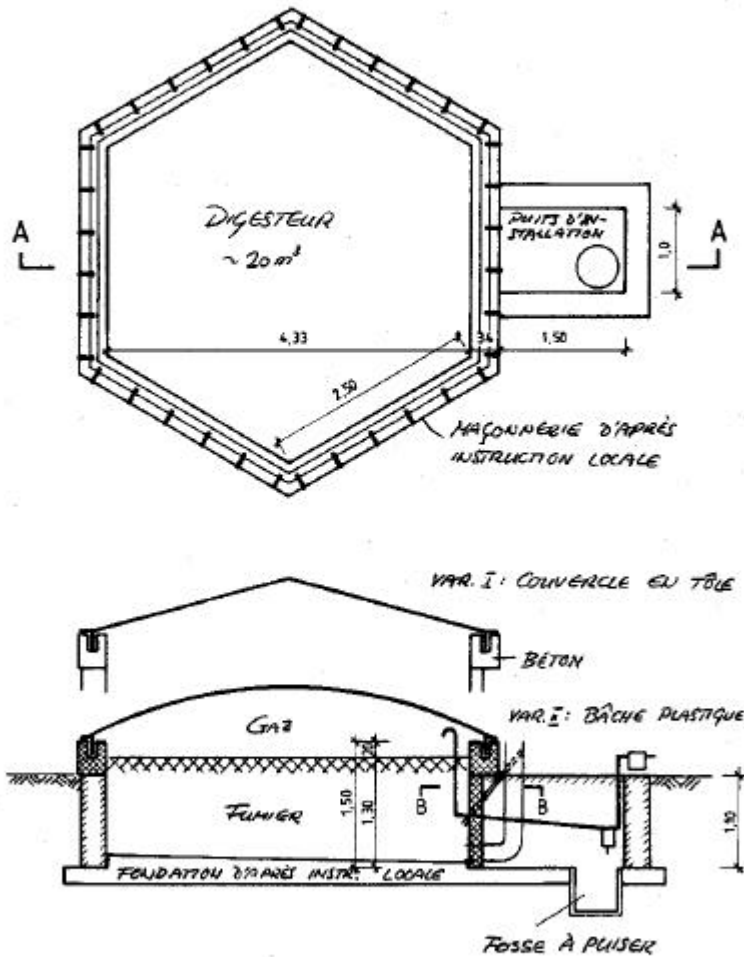
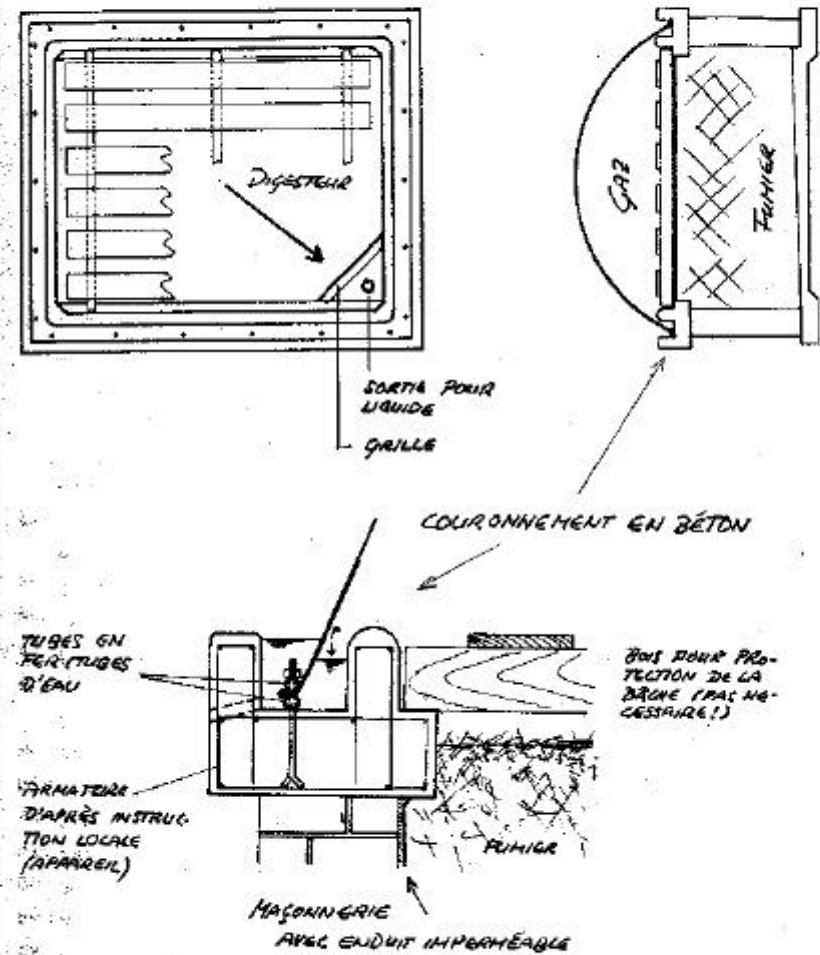


Figure 5: Plans des digesteurs, Nyamishaba, Rwanda
(solution réalisée)



Les solutions techniques proposées dans le rapport: "Possibilités de la Production de Biogaz à l'École Agro-Forestière de Nyamishaba, Kibuye, Rwanda", ARBI, 5.10.1983, diffèrent en quelques points de la solution choisie (voir fig.5):

1. Comme on avait peur que les murs d'un rectangle de cette grandeur et de cette construction ne résistent pas totalement aux pressions variables (digesteur vide/plein, pression de la terre), on a proposé de construire des digesteurs hexagonaux aux cotés équivalents. Comme ça on a voulu éviter la formation de fêlures dans les parois et ainsi des pertes de gaz, si le niveau du liquide n'atteint pas la couronne en béton. Du point de vue statique, une forme ronde est optimale. Si l'on veut épargner du matériel en utilisant les mêmes murs pour deux digesteurs à la fois et si l'on veut des conditions statiques presque optimales, une forme hexagonale est de notre avis toujours préférable. (Un hexagone distribue aussi mieux les tensions dans la bache qui couvre le digesteur). Comme, d'après l'avis de l'architecte local, un hexagone pose des problèmes de construction au Rwanda, on a consenti à construire les digesteurs rectangulaires. Pour éviter d'éventuelles pertes de gaz à travers de minces fêlures dans la partie maçonnée du mur, on a décidé d'ajouter (si nécessaire) de l'eau au purin des porcs, jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne la couronne en béton (voir plus haut).
2. Dans le rapport ARBI de 1983 on a proposé de construire à un côté du digesteur un puits d'installation avec une fosse à puiser et un tuyau fermé par une chambre à air pour l'écoulement du liquide. Les responsables locaux ont préféré séparer à l'intérieur le coin le plus profond par une grille (armature en fer, mailles de 10 à 12 cm) et un grillage plus fin, afin que le fumier solide ne puisse pas entrer dans le coin. Avant d'enlever le fumier par la

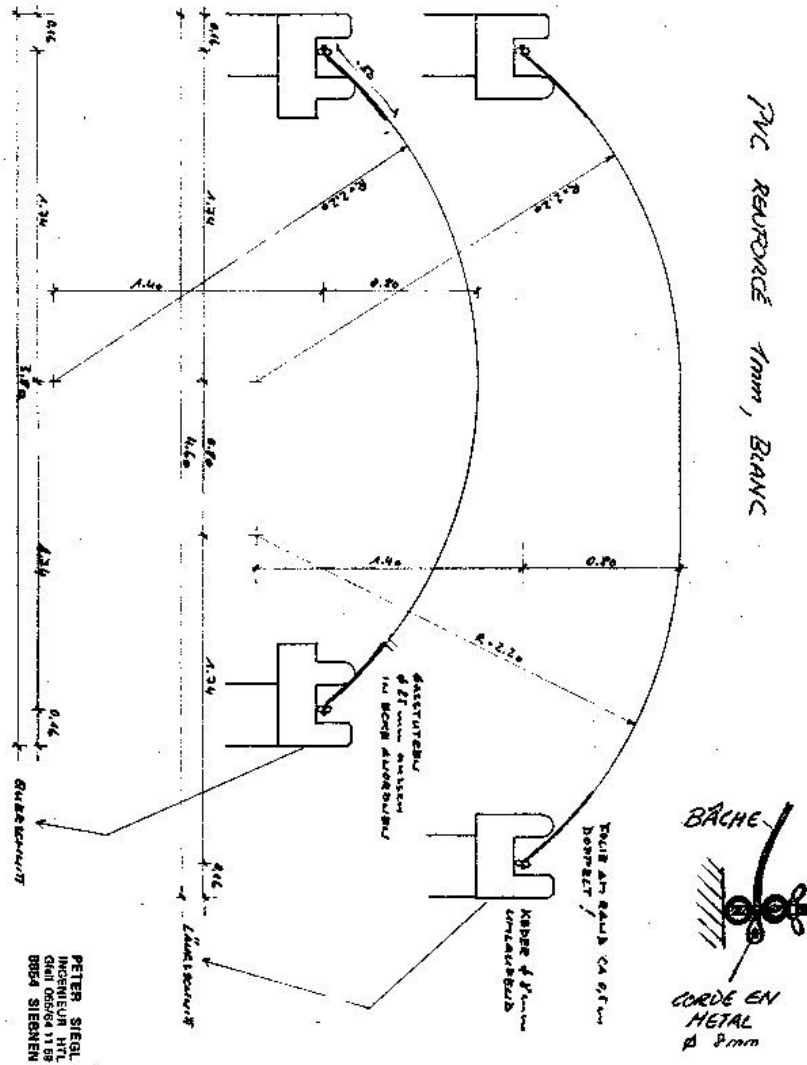
- fourche, on a vidé le liquide par des seaux immergés dans le coin séparé par la grille. Comme on a vu que ça donnait beaucoup trop de travail (voir plus bas), on a construit récemment la fosse à purin du côté du lac ((3) aux fig.123) d'une capacité de 20 m³. Les tuyaux pour le transport du liquide à la fosse sortent au bas des digesteurs à l'intérieur de la grille et sont fermés par un tampon avec une poignée qui dépasse le niveau du liquide.
3. On a proposé que le tuyau à gaz traverse le mur en partie basse du puits d'installation, ça veut dire que le gaz devait sortir du digesteur à travers un tuyau qui traverse le mur et entre dans le réservoir de gaz du digesteur. Comme l'idée du puits d'installation n'a pas été réalisée, on a choisi la solution de faire sortir le gaz à travers la bache. Comme cette solution n'est pas sans problèmes (voir plus bas), on réalise actuellement une prise de gaz comme celle proposée dans le rapport de 1983.

1.4 Le couvercle en plastique des digesteurs:

En 1983 on a décidé de couvrir les digesteurs en plastique. Avec un processus en discontinu, il est nécessaire d'ouvrir régulièrement le digesteur. Un couvercle en métal pèse lourd et pose des problèmes de corrosion.

Au Projekt Biogas des recherches sur l'emploi de matériel plastique pour la production de biogaz ont été effectuées (W.Edelmann: On the use of cheap plastic materials for the digestion of agricultural wastes, ISREI 87, Beijing, China, 1987). On est arrivé à la conclusion, que le PVC renforcé d'un tissu est optimal du point de vue des coûts, de la diffusion du gaz, de la résistance aux tensions, et de

Figure 7: Plan des bâches PVC, installation Nyamishaba



la durabilité (entre autre les rayons UV) et le maintien. Pour cette raison, on a choisi le PVC renforcé d'un tissu et traité contre l'influence des rayons UV. La couleur des bâches est blanche (reflexion des rayons du soleil). La calotte entre dans l'eau de la rigole de la couronne en béton du digesteur. La bâche est fixée par des tuyaux d'eau en métal, comme montré en Fig.5. Les tuyaux sont fixés par des écrous à oreilles. Ce système de fixation a donné des résultats de fonctionnement très satisfaisants. Le gaz passe par un passage à travers la bâche, à ca.30 cm d'un coin de la bâche (tuyau en PVC souple collé dans la bâche). D'après les informations du producteur des bâches, ce passage ne pose pas de problèmes techniques. On a néanmoins eu des fuites de gaz à la sortie du tuyau du digesteur A. L'ARBI a remplacé la sortie par une construction en PVC dur (fig.8).

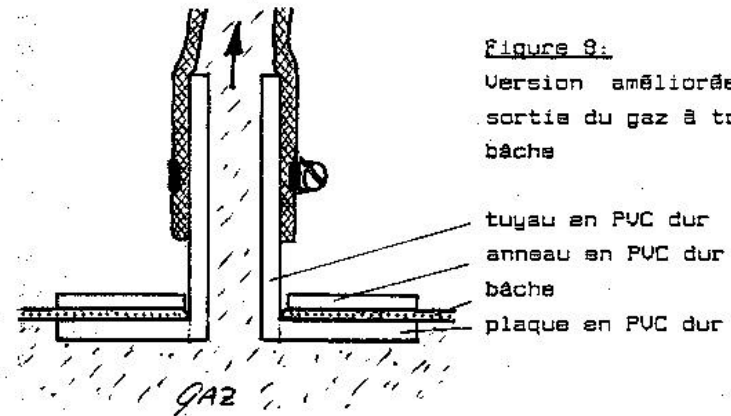


Figure 8:
Version améliorée de la sortie du gaz à travers la bâche

tuyau en PVC dur
anneau en PVC dur
bâche
plaque en PVC dur

Les digesteurs B et C ont été couverts de bâches avec une sortie améliorée par le producteur.

Les résultats des digestions montrent des différences con-

sidérables entre la production du digesteur A et celle des digesteurs B et C (voir tab.1)

Production moyenne Digesteur A		Production moyenne Digesteur B		Production moyenne Digesteur C	
mois	m ³ /jour	mois	m ³ /jour	mois	m ³ /jour
5.86	7,1	7.86	ca.(4)	8.86	4,9
8.86	7,3	10.86	4,7	9.86	2,9
10.86	6,6	12.86	2,2	11.86	5,6
1.87	(5,5)	2.87	2,3	2.87	4,4
moyenne 7,0		moyenne 3,1		moyenne 4,5	

Table 1: Production moyenne des trois digesteurs à Nyamishaba. Valeurs en parenthèses: pertes de gaz considérables à cause de fausses manipulations.

Quand on calcule le potentiel biogaz, des valeurs pareille à celles obtenues dans le digesteur A sont à attendre (voir plus bas). Il est évident que dans les digesteurs B et C il y a eu des pertes de gaz très grandes (Tous les digesteurs sont remplis avec pratiquement la même quantité et qualité de substrat). En moyenne un tiers environ de la production a été perdu.

Si l'on considère la production journalière, les fuites sont aussi évidentes: Normalement la production journalière monte à une valeur de jusqu'à 13 m³/jour après les premiers jours de digestion. Plus tard elle descend continuellement à une valeur de 3 à 4 m³ à la fin du cycle. Pour les digesteurs B et C, la production ne monte pas si haut et tombe assez vite

très fort (quelques fois à zéro, ce qui n'est pas possible!).

Des fuites à travers le mur ne sont pas vraisemblables à cause de la hauteur du niveau du liquide (de minces fissures dans le crépis pouvaient néanmoins être déterminées). Des pertes, observées quelquefois dans la rigole à cause de la bâche incorrectement fixée (voir tab.1), ne peuvent pas être la raison pour les fuites régulières.

Au digesteur C on a déterminé après la digestion du 9.86 une fuite auprès le tuyau pour la sortie du gaz. Après avoir collé le trou, la production montait de nouveau à 5,6 m³.

Des tests avec de l'eau savonneuse ont maintenant démontré qu'il existent toujours des fuites autour des tuyaux de sortie des digesteurs B et C. En même temps, on a déterminé des fuites au raccord du tuyau fixé à la bâche avec le tuyau menant aux compteurs. (Il faut ouvrir ce raccord chaque fois qu'on enlève la bâche pour vider le digesteur).

On peut éliminer les fuites dans la bâche autour du tuyau en utilisant les sorties "ARBI" en PUC dur. Il reste quand même la possibilité de fuites auprès du raccord. Pour éliminer toute possibilité de fuites, on recommande de réaliser la solution proposée en 1983, ça veut dire de traverser le mur des digesteurs en bas avec la conduite pour le gaz et de monter à l'intérieur du digesteur avec le tuyau jusqu'au ballon de gaz (dans le coin protégé par la grille). A l'extérieur du digesteur il faut placer un condenseur dans la terre au point le plus bas. Avec cette solution, la conduite de gaz est fixée sans raccord qui doit être ouvert et refermé régulièrement.

Contrairement des promesses du producteur des bâches, la solution de passer avec la conduite à travers la bâche peut

seulement être recommandée pour les installations "plug - flow" en continu, où la bâche reste constamment sur le digesteur (là, elle doit être enlevée peut-être une fois par année pour des travaux de maintien).

La bâche du digesteur B a été déchirée par les rats avant le premier montage (Elle était stockée dans un grenier et n'avait pas encore le "goût du biogaz"...! - Avec les bâches déjà utilisées, les rats ne semblent pas être un problème). Les rats provoquaient une douzaine de trous assez vilains, qui ont été réparés. Il est possible qu'il y ait aussi des pertes auprès des rapiécages. On recommande de réparer la bâche à l'intérieur encore une fois (Actuellement les réparations sont faites à l'extérieur, ce qui a le désavantage, que la pression du gaz a un effet négatif sur les morceaux rapiécés). Des fuites à travers quelques rapiécages peuvent contribuer à la production extrêmement faible du digesteur B.

Conclusion: La bâche du digesteur A, qui fonctionne impeccablement depuis trois années, montre que la décision de fermer les digesteurs par un matériel plastique n'était pas fautive. Néanmoins, il faut amener les conduites de gaz dans le digesteur à travers le mur. Les sorties des tuyaux de gaz dans la bâche sont à fermer à l'intérieur de la bâche de la manière proposée pour les trous produits par les rats. Ces mesures vont augmenter la production des digesteurs B et C au niveau de celle du digesteur A, ça veut dire que la production totale augmentera de 50%. Pour un bon fonctionnement de l'installation il est important, qu'il y ait toujours de la colle PVC (Balco, Tangit, etc.) à la ferme. La colle livrée de la Suisse a disparu actuellement. Il est évident que les réparations à l'aide d'une colle inadéquate ne tiennent pas bon.

1.5 Le système de gaz et la "soupape solévalante".

En comparaison avec une installation biogaz "normale", les conduites de gaz sont extrêmement longues à Nyamishaba. Comme il fallait traverser une petite plaine et une colline afin d'arriver avec le gaz à la cuisine, il était nécessaire de placer plusieurs condenseurs d'eau, pour éviter l'embouchement des parties basses des tuyaux avec de l'eau condensée (voir Fig.1 et 3). Les condenseurs sont des simples "T" dans la conduite, entrant avec la partie inférieure dans un tuyau plus grand, rempli d'eau. La hauteur de l'eau dans les condenseurs doit être assez grande pour donner résistance à la pression du système de gaz. Normalement les condenseurs se remplissent eux-mêmes avec de l'eau condensée; il est quand même raisonnable de les contrôler périodiquement.

Lorsqu'on avait construit le digesteur A, on a utilisé le couvercle en plastique du digesteur comme réservoir de gaz. Comme il faut un poids très grand pour obtenir une pression assez élevée sous une surface de 12 m², on a établi la pression avec une pompe à gaz Chinoise.

Après la décision de construire les deux autres unités et le ravitaillement en gaz de la cuisine, on voulait éviter des parties mécaniques. Pour cette raison on a pris la décision de ne pas utiliser les bâches sur les digesteurs comme réservoirs, mais seulement comme couvercles, et d'installer des ballons de stockage près de la cuisine (où le cuisinier peut regarder, si oui ou non le gaz suffit pour chauffer un autre plat...). La pression nécessaire pour les brûleurs est créée par un poids sur les ballons (voir plus bas), avec le grand avantage qu'on peut éviter les poids sur les bâches des digesteurs (il n'est pas pratique d'enlever chaque fois une tonne et demie de poids avant de pouvoir retirer la bâche).

Les bactéries dans les digesteurs produisent la pression nécessaire pour le fonctionnement de l'installation. Comme déjà mentionné, le gaz sort du digesteur par un tuyau à travers le mur. Pour éviter un endommagement de la bâche et un embouchement par le fumier, ce tuyau est recourbé à l'intérieur du digesteur. Au contraire des condenseurs (4) à la figure 1, qui sont enterrés, les compteurs (5) sont exposés au soleil et peints en noir pour empêcher l'accumulation de l'eau dans ceux-ci. (Les compteurs sont endommagés par l'eau de condensation en combinaison avec le H₂S du gaz).

La "soupape polyvalente" a, comme l'exprime son nom, plusieurs fonctions (voir fig.9):

1. Placée à l'ombre, elle sert de condenseur après les compteurs.
2. Les tuyaux arrivant des trois digesteurs entrent dans l'eau pour empêcher que le gaz puisse rentrer en direction des digesteurs. Quand un digesteur est évacué, la soupape est fermée automatiquement (il ne faut pas fermer un robinet quelque part!). Ainsi il est garanti qu'il n'y a pas de pertes de gaz à partir du ballon de stockage ou des autres digesteurs encore en fonction.
3. La soupape est aussi une protection pour les compteurs, parce que ceux-ci n'aiment pas du tout tourner en arrière.
4. La soupape de sécurité du système est intégrée dans la boîte dans laquelle entrent les tuyaux de gaz. Quand le ballon de stockage est plein, la pression augmente jusqu'à ce que le gaz puisse échapper par la boîte extérieure (fig.9,(b)). Le volume de celle-ci est de huit fois plus grand que celui de la boîte intérieure. Ceci a l'avantage que la hauteur de l'eau ne monte pas considérablement à l'extérieur en cas de surpression et que l'eau reste dans le système.

Pour réduire l'évaporation, la boîte extérieure est couverte d'un couvercle. Si cette construction est placée à une place froide elle est auto-régulante (l'eau condensée de trop peut échapper par un petit trou).

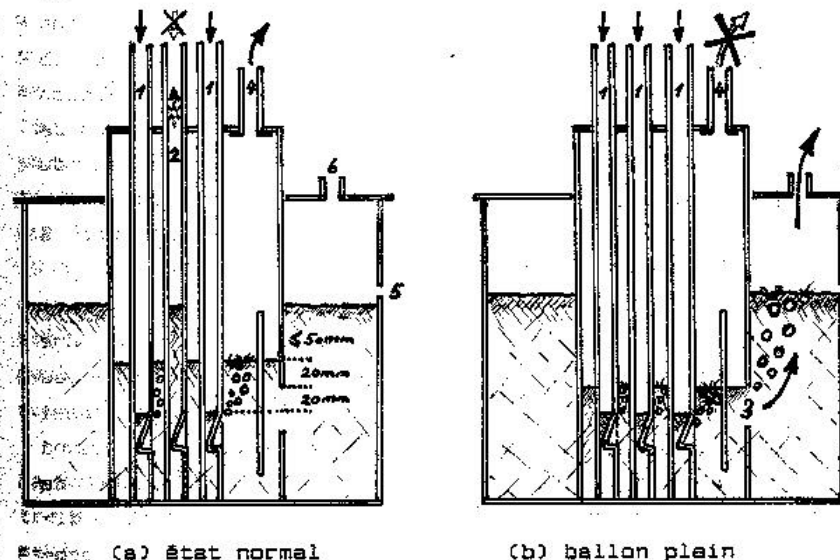


Figure 9: La "soupape polyvalente" en PVC dur transparent

- 1 tuyaux arrivants des digesteurs en fonction
- 2 tuyau arrivant d'un digesteur ouvert
- 3 soupape de sécurité
- 4 sortie du gaz vers le ballon de stockage
- 5 sortie pour l'eau condensée
- 6 entrée pour remplacer l'eau évaporée (si nécessaire)

pression du gaz aux digesteurs: (max.)	90 mm
pression à la sortie de la soupape polyvalente: (max.)	50 mm
perdre de pression jusqu'aux ballons de stockage: (max.)	10 mm
pression dans les ballons de stockage: (ca.)	40 mm
pression d'ouverture de la soupape de sécurité:	70 mm
pression aux brûleurs à la cuisine: (ca.)	35 mm

Dans les digesteurs actifs, il y a une pression de seulement 90 mm. Aux brûleurs, il faut une pression de 35 mm, ce qui est extrêmement peu (voir plus bas). Entre la soupape polyvalente et la cuisine, les pertes de pression sont petites; on les a estimées à 15 mm au maximum. (diamètre de la conduite: 1 pouce; vitesse du gaz lors d'une production de 1 m³/heure: 0,48 m/sec; pertes de pression surtout au compteur de gaz et à la sécurité anti-flammes). La pression à la sortie de la soupape polyvalente est donc au maximum de 50 à 60 mm. Quand le ballon est plein, la pression monte du côté des utilisateurs et l'eau est pressée dans la boîte extérieure. A une pression de 70 mm, le gaz peut échapper à travers la boîte extérieure.

On avait d'abord installé une soupape polyvalente avec une boîte intérieure à diamètre large et avec un petit tuyau au lieu de la boîte extérieure. Cette soupape pouvait aussi servir de soupape de sécurité en cas de sous-pression quand on utilisait un moteur à gaz au moment où les ballons de stockage étaient vides. Elle évitait que la rigole des digesteurs ne laisse passer de l'air dans les digesteurs produisant ainsi un mélange explosif. Le désavantage de cette solution est que, dans le cas de surpression, une partie de l'eau est pressée par le tuyau à l'extérieur. Il fallait donc contrôler régulièrement la hauteur de l'eau dans la boîte. Comme on n'utilise plus de moteur, on a décidé de la remplacer par le modèle présenté qui nécessite moins de maintien. A la même occasion, on a transféré la soupape de sécurité dans la boîte de la soupape polyvalente. (D'abord le condenseur (10) auprès des ballons fonctionnait comme soupape de sécurité; cette solution n'était pas pratique, car le condenseur est totalement enterré et les gens responsables de l'installation se rendaient rarement aux ballons).

La conduite de gaz entre digesteurs et cuisine est un tuyau en PVC (1 pouce) enterré à une profondeur de 30 à 50 cm.

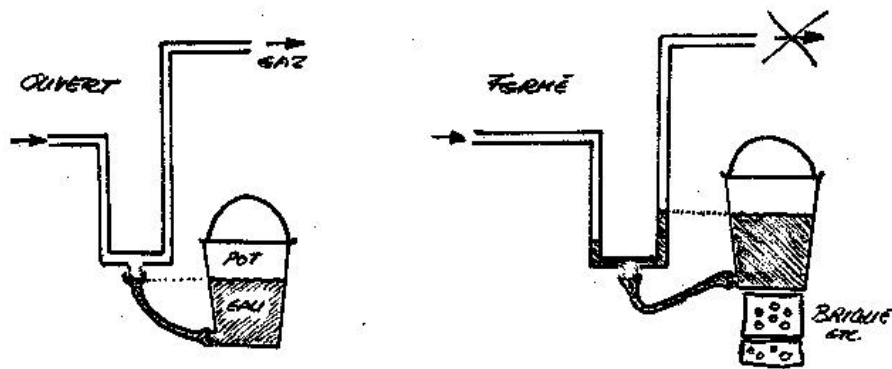
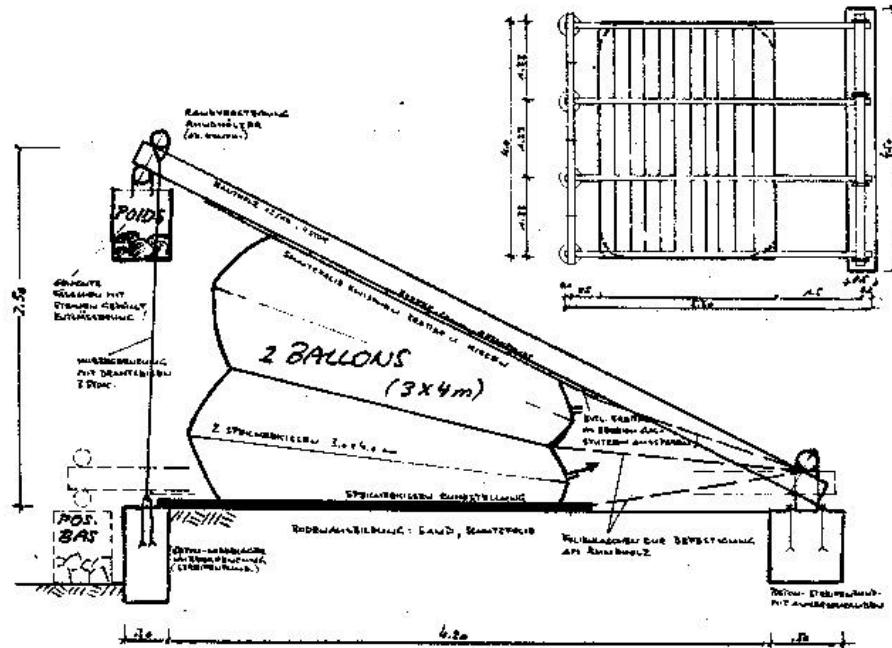
Une valve Chinoise est installée auprès de la cuisine (voir fig.10). Cette valve n'est pas absolument nécessaire, vu qu'il y a aussi des valves dans la cuisine. Elle est montée surtout à titre éducatif pour les élèves de l'école, car dans les installations plus petites, il n'y aura qu'un brûleur seul. Dans ce cas une soupape Chinoise est idéale, parce qu'elle ne coûte pas cher et n'a pas besoin de maintien. Si l'on utilise un tuyau transparent (comme c'est le cas à Nyamishaba), on peut également observer la pression dans le système. A Nyamishaba, cette valve apporte une sécurité additionnelle: Quand les chaudrons ne sont pas en fonction, la valve est fermée. Ainsi on évite des fuites de gaz accidentelles, si quelqu'un ouvre une valve à la cuisine.

La sécurité anti-flammes est une pièce de tuyau d'un diamètre de ca. 12 cm rempli de sable. Elle n'est pas indispensable non plus, étant donné que la probabilité de la formation d'un mélange explosif est minime grâce à toutes les précautions prises ailleurs.

1.6 Les ballons de stockage:

Les deux ballons ont chacun une capacité de stockage de environ 10 m³ (grandeur: 3m x 4m x ca.1m). La pression nécessaire pour faire la cuisine est générée par un poids qui pèse sur les ballons. Comme le guidage d'un poids sur un ballon est problématique, on a choisi une solution avec un levier (voir fig.10). Ce guidage à l'avantage que d'une

Figure 10: Les ballons de stockage et la valve "Chinoise"



part le guidage du poids est optimal et que de l'autre il ne faut pas fixer autant de poids à l'extrémité du levier comme il faudrait en mettre directement sur les ballons.

On a choisi une solution à deux ballons séparés pour ne pas avoir des interruptions dans le ravitaillement en gaz de la cuisine en cas de réparation d'un ballon. A l'état vide, le levier s'arrête avant de toucher le sol, ce qui permet de remplacer les ballons sans enlever le levier. Au sol et entre le ballon supérieur et les planches du levier, il y a une bâche de plastique bon marché pour protéger les ballons. Comme les couvercles des digesteurs, les ballons sont construits avec une bâche en PVC renforcé.

Actuellement on a enlevé les poids attachés au levier, car le poids du levier lui-même (poids des planches) suffit pour générer la pression extrêmement basse de 35 mm, nécessaire pour faire la cuisine.

1.7 Les brûleurs à la cuisine:

Des chaudières à bois "MOUVERO" de 100, 150 et 300 litres sont installées à la cuisine. On a cherché une solution pour les ravitailler au bois et au gaz alternativement. Pour cette raison, on a construit des brûleurs à quatre buses qu'on peut introduire dans le foyer (voir fig.11) et qu'on peut facilement monter et démonter.

Les buses des brûleurs sont différentes des brûleurs connus en technologie biogaz. Elles sont faites d'un matériel inoxydable, poreux comme les pierres utilisées pour l'aération d'un aquarium. Normalement les buses sont installées par les

ferblantiers pour permettre l'échappement sans bruit de la surpression d'un système. Ils sont d'une forme cylindrique (diamètre: 22 mm, hauteur 27 mm).

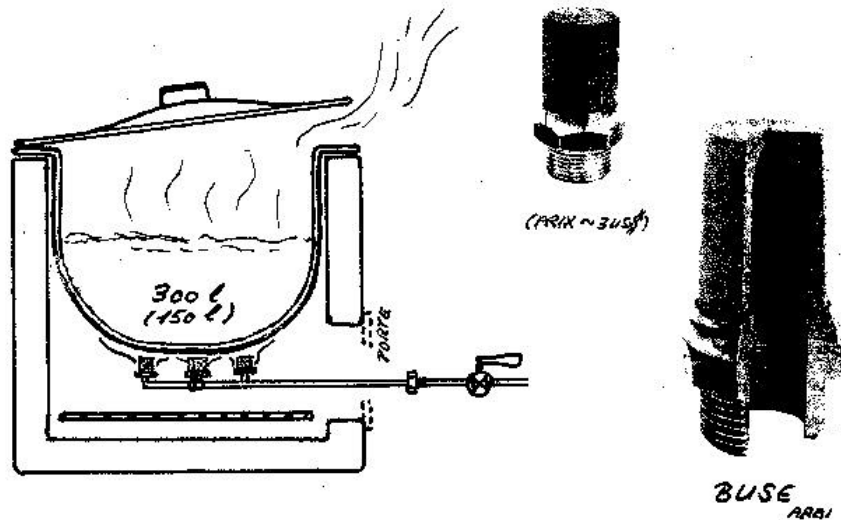


Figure 11. Les chaudières MDOVERO avec les brûleurs ARBI à Nyamishaba, Rwanda.

Les buses utilisées à Nyamishaba fonctionnent sans air primaire. Ils ont deux très grands avantages:

1. Ils fonctionnent à de très basses pressions de gaz et
2. comme ils fonctionnent avec de l'air secondaire uniquement, ils garantissent une brûlure optimale du gaz aussi à des taux de CO₂, où les brûleurs conventionnels ne marcheraient plus.

Maintenant, les brûleurs ont été en opération depuis deux années sans poser des problèmes. Comme on avait versé de la soupe sur une buse d'un brûleur, elle était partiellement embouchée. Après l'avoir lavée avec de l'eau et de l'essence, elle laissait de nouveau passer le gaz d'une manière satisfaisante.

Pour deux raisons, le gaz n'était quand-même pas utilisé de manière optimale dans la cuisine:

1. La distance entre les buses et le fond des chaudrons était trop grande (ca. 5 cm), parce que la pression du gaz avait été plus haute (90 mm) auparavant. Lors de la pression basse (35 mm) qui règne actuellement, les buses sont à lever jusqu'à ce qu'elles touchent le fond des chaudrons pour éviter des pertes d'énergie. Alors les flammes couvrent le fond des chaudrons d'une couche uniforme et épaisse d'un bleu clair.
2. Les cuisiniers n'ont pas du tout l'habitude de régler les flammes. Pour eux, il existe seulement deux positions du robinet: Ouvert ou fermé. Pour faire bouillir de l'eau il faut bien sûr ouvrir la valve du gaz totalement. Mais quand il faut seulement tenir la nourriture au point d'ébullition (comme par exemple les haricots pendant cinq (1) heures), il est absolument nécessaire de réduire le flux du gaz drastiquement - ce qui n'était jamais le cas jusqu'à présent. (La même observation a été faite pour le bois: Les charnières des portes pour régler le flux de l'air étaient totalement enrouillées, preuve que celles-ci ne sont jamais utilisées pour obtenir une brûlure optimale

Le fait que les buses travaillent bien à une pression tellement basse est une découverte très positive, car cela permet d'opérer les installations biogaz à des pressions

moins élevées réduisant ainsi le poids nécessaire sur le couvercle, ainsi que l'usure du matériel et les pertes de gaz dues à de minces trous.

1.8 Autres mesures techniques:

En 1984 on a recommandé de construire des serres simples au-dessus des digesteurs pour

1. augmenter la température moyenne dans les digesteurs de 2 à 3 degrés,
2. tempérer les changements de température (réduire l'effet du vent dans la nuit, etc.),
3. mieux protéger le matériel PVC des couvercles des digesteurs contre les rayons UV (en supplément aux additifs chimiques dans le PVC).

On a proposé de couvrir une simple construction en bois d'une bâche en polyéthylène bon marché, fabriquée à Kigali. Jusqu'à maintenant la serre n'a pas été réalisée. Néanmoins on pense qu'il peut être avantageux de la réaliser en vue de la durée de vie des couvercles et de l'augmentation (pas très grande) de la production de gaz.

De même il convient à considérer la réalisation des étangs pour les Tilapia entre la fosse pour le purin digéré et le lac comme il a déjà été proposé auparavant. Les étangs existant actuellement sont traités avec le purin non digéré. Cette solution a le désavantage que les poissons sentent un peu le purin et sont plus difficiles à vendre que les poissons du lac. Dans le purin digéré, au contraire, les substances putréfiantes et malodorantes sont dégradées. Pour cette raison, la matière digérée est convenable à la culture des poissons.

LEGENDES POUR LES PHOTOGRAPHIES: (pages 31-33)

Page 31: travaux de construction

- en haut: construction des digesteurs; les compteurs à gaz auprès de la maison au fond
 moitié: le crépis à l'intérieur
 en bas: les digesteurs en fonction; à la droite une pile de fumier digéré

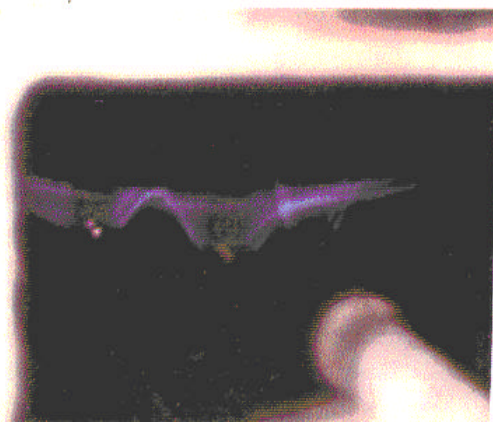
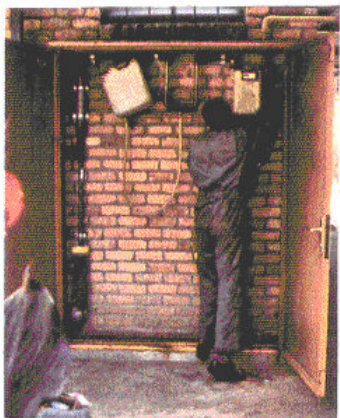
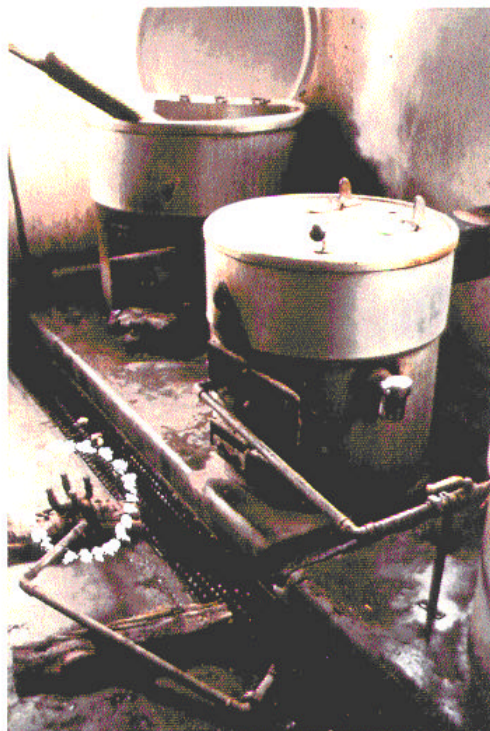
Page 32: fonctionnement des digesteurs

- en haut: la jointe hydrolique sans de l'eau (à l'occasion d'un vidage du digesteur)
 en bas: la grille pour séparer le liquide et le fumier à l'intérieur d'un coin du digesteur; la poignée du tampon sortant du purin

Page 33: utilisation du gaz

- en haut: Les chaudières MOUVERO: celle par devant opérée au biogaz; dans le cercle un brûleur pas utilisé au moment de la photographie; à la droite: valve et raccord des tuyaux gaz
 en bas: (à la gauche) valve chinoise, compteur à gaz, sécurité anti-flammes, condensation (auprès de la cuisine)
 en bas: (à la droite) les flammes dans les chaudières





2. BILAN ENERGETIQUE.

2.1 Les paramètres de la digestion:

Dans le rapport "Possibilités de la Production de Biogaz à Nyamishaba" l'ARBI a proposé en 1983 de faire la vidange d'un des trois digesteurs toutes les trois semaines. Ainsi le temps de rétention du substrat est de neuf semaines.

Les expériences pratiques montrent que ce rythme de vidange est optimal: Si l'on augmente le temps de rétention à 12 semaines (ce qu'on a fait au commencement, parce qu'on avait l'habitude de vider les étables tous les mois), la production journalière moyenne diminue de ca. 15%. Cette diminution est due à des décompositions survenant dans l'étable. Comme mentionné plus haut, on laisse au sol une couche de vieille litière. Celle-ci est pleine de bactéries anaérobies adaptées à la dégradation de litière lors d'une température ambiante moyenne de 20 à 25 degrés, dont les variations saisonnières sont beaucoup moins importantes que celles entre jour et nuit. En combinaison avec les microorganismes semi-aérobies et anaérobies déjà présents dans les excréments des ruminants, les bactéries de la vieille couche commencent aussitôt à décomposer la litière fraîche dans l'étable.

Lors de l'hydrolyse et de l'acidogénèse, il est formé surtout du CO₂ (bactéries fermentantes et bactéries acéto-gènes). Le fait que la production de biogaz à des taux élevés de méthane commence très vite dans les digesteurs prouve que des processus de décomposition importants ont déjà eu lieu dans l'étable. (dans ce contexte voir aussi: W.Edelmann, J.M. Besson, H.Engeli: Gas production of stored manure compared with the digestion of immediately digested fresh manure, Tribune de Cébédéau, Nr.456, 34, pp.111, Liège,1981.)

Il serait éventuellement possible d'augmenter la production journalière en diminuant le temps de rétention à six semaines. Dans ce cas, la litière reste deux semaines dans l'étable seulement, réduisant ainsi la dégradation inconvenable. Mais d'autre part, une grande partie du substrat n'est pas encore digérée après six semaines. L'augmentation de production, probablement très petite, ne justifie pas le travail supplémentaire qui consiste à réduire le rythme de vidange de trois à deux semaines. Ou les températures ambiantes de Nyamishaba et la haute teneur en matière sèche, le temps de rétention proposé de neuf semaines est raisonnable. (Il serait plutôt désirable d'installer la serre que de vider plus souvent les digesteurs).

2.2 Le bilan de la production de gaz:

A Nyamishaba les excréments des bêtes suivantes sont digérés actuellement:

<u>Grand bétail:</u>	8 vaches, 2 taureaux, 1 boeuf, 3 génisses,	UGB
	3 veaux: au total 10,8 UGB (tenant compte de la grandeur des bêtes);	
	Pâturage: 8 heures par jour.	
	UGB à l'étable:	7,2
<u>Porcs:</u>	3 truies grandes	0,9
<u>Moutons:</u>	à l'étable	ca. 2,5
<u>Total:</u>		<u>10,6</u>

Actuellement la production de biogaz est de ca. 7 m³/digesteur (voir tab.1 et chapitre 1.4) ou en moyenne de 21 m³/jour. Dans le rapport ARBI de 1983 on a calculé une production de 25 à 30 m³/jour. La différence s'explique par les faits que

1. il y a moins de porcs que prévu (problèmes de santé)

2. les excréments des poules (qui sont très convenables à la digestion) sont compostés au lieu d'être digérés
3. le grand bétail et les moutons se trouvent sur les champs plus longtemps que prévu.

En 1983 on est arrivé à un nombre de 15,9 UGB (Unité Grand Bétail) restant à l'étable. Si l'on corrige la production actuelle (15,9 au lieu de 10,6 UGB), on arriverait à une production d'à peu près 30 m³/jour, ce qui correspond bien à la prévision de 25 à 30 m³/jour en 1983.

Comme attendu auparavant, la paille et les feuilles de la litière sont difficiles à dégrader. Elles sont très fortement lignifiées et la structure des tiges reste intacte pendant la digestion (ce qui permet de vider le digesteur à la fourche!). On estime qu'un tiers de la production de gaz provient des plantes de la litière.

2.3 Le bilan énergétique de la consommation de gaz:

Comme les dates exactes manquent, il est très difficile de faire un bilan énergétique de la consommation à la cuisine. Néanmoins, on peut estimer la demande d'après la nourriture cuite pendant une semaine (voir.Tab.2). En moyenne il faut chauffer au point d'ébullition 1'075 kg de nourriture ("eau") par jour. De même, il faut garder chaque jour 1 m³ d'eau au point d'ébullition pendant 1,7 heures (surtout pour cuire les haricots).

D'après l'opinion des cuisiniers, un tiers (ou même un peu plus) de la consommation d'énergie des chaudières a été fourni par le biogaz.

Table 2: Habitudes de cuisson à l'école de Nyamishaba

eau (litres)	nourriture (t) fois par semaine	poids (kg)	poids total (kg/semaine)	ébullition (h/fois, h/MJ.sea.)	
300	thé (sauf le dimanche)	---	1'800	---	
450	thé (le dimanche)	---	450	---	
175	haricots (7)	75	1'750	3,0	8,7
90	riz (4)	60	600	0,5	0,3
60	patates douces (3)	250	930	1,0	0,9
40	pommes de terre (3)	250	875	1,0	0,9
145	manioc (3)	90	705	0,75	0,5
80	viande (3)	60	420	2,0	0,8
Total par semaine:			7'525	12,1	
Moyenne par jour:			1'075	1,7	

Pour échauffer 1'075 kg de nourriture de 20 à 95 degrés, il faut 510 MJ (supposition: un tiers de l'énergie du biogaz perdu dans les chaudières). Pour garder au point d'ébullition une tonne d'eau pendant 1,7 heures, il faut encore environ 250 MJ; c'est à dire qu'il faut théoriquement environ 760 MJ/jour, si le feu est réglé optimalement.

Pendant une année scolaire (10.9.86-5.5.87, 270 jours) on a utilisé environ 80 ster de bois (eucalyptus) pour cuisiner. Si l'on déduit la moitié (il semble plutôt être plus) pour cuire le pain dans le four, on arrive à une consommation moyenne des chaudières de 0,15 stère par jour. On peut estimer la valeur calorifique à 0,15 ster/jour x 7'000 MJ/stère = 1050 MJ/jour. (7'000 MJ/ster = arbre à feuilles, sec à 20%; peut-être la valeur exacte est moins grande.)

En même temps on a brûlé 14,6 m³ de biogaz/jour (viz.tab.1, page 17). En moyenne, on a mesuré un taux de CH₄ d'environ 65%. Le biogaz équivalait donc à 14,6 m³/jour x 22 MJ/m³ = 320 MJ/jour.

Si l'estimation des cuisiniers est juste, on a substitué par 320 MJ sous forme de biogaz environ 500 MJ sous forme de bois (cuisson: un tiers de biogaz, deux tiers de bois). Une raison pour la consommation de bois élevée est le mode d'utilisation très inefficace (une autre explication serait que la consommation du bois était moins grande, c'est à dire qu'une partie importante du bois a été brûlée ailleurs (dans le four à pain, dans des fours privés?)).

En éliminant les pertes de biogaz (voir 1.5; page 19), on peut augmenter la production à une valeur de 450 à 500 MJ/jour. En améliorant la régulation des flammes, l'efficacité de l'utilisation est augmentée. On peut estimer qu'il est possible de couvrir à peu près deux tiers de la demande en énergie des chaudières par le biogaz. En 1983 on a cru pouvoir couvrir la demande entière, parce qu'on avait des dates de consommation plus petites (ébullition de 340 litres de nourriture par jour seulement. Entre-temps le nombre d'étudiants a triplé).

3. LE BILAN ECONOMIQUE:

3.1 Les frais de construction:

L'installation de Nyamishaba est un cas spécial pour plusieurs raisons: D'une part, on a voulu trouver une solution bon marché, simple et qui peut servir comme modèle pour d'autres installations dans le pays. De l'autre part, l'installation a un caractère expérimental dans le sens qu'on a réalisé beaucoup de solutions techniques pas encore testées auparavant (fixation des bâches, soupape polyvalente, poids sur le ballon de stockage, ravitaillement des chaudières au

bois avec le biogaz, buses des brûleurs, détails techniques concernant la digestion etc.). Pour pouvoir mieux surveiller l'installation, on a monté des éléments -comme les compteurs à gaz ou les prises pour déterminer la composition du gaz - qui ne sont pas nécessaires pour une installation "normale". En addition, il fallait construire des conduites à gaz extrêmement longues à cause de la grande distance entre la ferme (digesteurs) et la cuisine, ce qui normalement n'est pas le cas.

En Suisse, on obtient les frais d'investissement d'une installation complète si l'on calcule avec 2'000.- sfr le mètre cube de volume du digesteur. Quand on additionne tous les coûts de l'installation de Nyamishaba, on arrive presque au même chiffre. Pour le calcul coûts/bénéfice d'une installation pour la digestion sèche, toutefois, ce chiffre n'est pas réaliste, vu que la plus grande partie des coûts a été dépensée pour des travaux non typiques pour une installation construite dans les collines (étude de la situation au Rwanda, développement d'éléments techniques appropriés, cas spécial de Nyamishaba).

Pour un paysan Rwandais, il faut des récipients (digesteurs) couverts de bâches chargées de poids, une conduite avec une valve Chinoise qui amène le gaz à la cuisine et un brûleur. Malheureusement les décomptes séparés pour le matériel et les travaux de l'installation biogaz à Nyamishaba manquent.

Pour la fosse à purin d'une grandeur de 27 m³ ((3) dans la figure 1) on a payé 120'000.-Frw, c.a.d. 4'400/m³ (ciment, sable, briques, armature, pierres, travail; matériel 80'000.- et travail 40'000.-Frw). Pour une installation biogaz il faut ajouter la couronne en béton (pour les petits digesteurs éventuellement en briques seulement). Si l'on

épargne de l'argent en construisant la fondation en pierre et limon, il doit être possible de construire le digesteur pour 6'000.-Frw/m³. La bache Suisse coûte 3'500.-Frw/m² (confectionnée, prête à l'usage, transport en avion inclus, sans frais de douane) ou 2'350.-Frw/m³, si la profondeur de l'installation est de 1,5 m (Avec la fabrication en série, une réduction du prix semble être possible.). Si l'on ajoute 1'000.-Frw/m³ pour conduites et brûleurs, on arrive à un prix de construction qui est nettement moins de 10'000.-Frw par m³ de digesteur.

En comparaison, les digesteurs de la prison de Karubanda ont coûté déjà à l'époque 12'000.- et 14'000.-Frw/m³.

3.2 Les frais d'exploitation:

Le travail additionnel pour la vidange des digesteurs cause la plus grande partie des frais d'exploitation. Auparavant, quand le liquide était évacué par bidons, il fallait plus de 200 heures de travail. Aujourd'hui, avec la fosse pour le liquide, le travail est fait en seulement 48 heures. Les ouvriers sont payés à la tâche. Une vidange coûte 1'000.-Frw. Dans ces 1'000.-Frw le vidage de l'étable est inclus, ça vaut dire que les frais supplémentaires causés par l'installation sont un peu moins grands.

Si l'on prend la différence entre les 1'000.-Frw et les coûts supplémentaires effectifs pour remplacer les éléments perdus (par exemple des écrous à oreilles) et pour les réparations, on peut estimer les frais d'exploitation à 12'000.-Frw/année scolaire (en été l'installation fonctionne d'une manière réduite).

3.3 Les bénéfices du biogaz:

Pendant une année scolaire on produit 270 jours x 21 m³/jour = 5670 m³ de biogaz. Avec les pertes de gaz à la sortie des bâches (production journalière seulement de 14,6 m³, voir tab.1, p.17) on a substitué un tiers de la consommation d'énergie des chaudières ou environ 0,75 stère de bois par jour. Par l'élimination des pertes et les améliorations à la cuisine, il devrait être possible de substituer le double (1,5 stère/jour) ou 40 stère par année scolaire.

Au Rwanda, le prix officiel du bois est de 500.-Frw/stère. Il semblerait cependant que le prix est tenu bas artificiellement. Il y a des régions où le bois coûte plus cher et, de l'autre part, il est possible d'acheter le bois (humide, non coupé) mieux marché au Zaïre. Pour couper le bois à l'école, il faut un travail énorme, car l'eucalyptus est beaucoup plus difficile à couper que les bois connus en Europe. Malheureusement, il n'existe pas de données sur les jours de travail nécessaires. Il est bien possible que le stère de bois sec, coupé coûte finalement nettement plus que 500.-Frw.

Si l'on calcule avec 500.-Frw/stère on obtient un bénéfice brut de 20'000.- Frw par année scolaire. (Quand on peut substituer le mazout d'un moteur, le bénéfice serait à peu près dix fois plus grand !)

3.4 Le calcul de rentabilité:

Par année scolaire, on obtient un bénéfice de 8'000.-Frw (frais d'exploitation - bénéfice brut). Si l'installation

peut être utilisée pendant toute l'année, le bénéfice est 10'700.-Frw. Avec cette somme, il faut amortir les frais de construction de 500'000.- à 600'000.- Frw (installation de 60 m³). Il est évident qu'au prix officiel du bois, il n'est pas possible d'amortir l'installation en substituant le bois. Quand on substituera le mazout, l'installation sera amortie après une période de cinq à sept années.

Néanmoins, il faut considérer le calcul de rentabilité avec réserve:

D'une part, il y a des données qui sont seulement estimées. Pour un bilan exact, il faut mesurer la consommation de bois et de gaz précisément, et se baser sur un prix du bois qui inclut le travail nécessaire pour préparer le bois pour les chaudières.

De l'autre part, il n'est pas juste de faire le bilan de rentabilité sans y inclure les autres avantages du biogaz, tels que

- La facilité pour les cuisiniers (il est plus commode d'ouvrir (et de régler!) un robinet que d'aller chercher du bois dehors)
- La valeur fertilisante du substrat digéré (le purin digéré ne "brûle" plus la terre, tous les éléments nutritifs et les substances produisant l'humus sont encore présents, il est bon pour la pisciculture etc.)
- L'indépendance énergétique (ravitailllement et fluctuations du prix du bois)
- La valeur écologique (contribution contre le déboisement et l'érosion)

Ce dernier point est moins important pour le bilan économique d'une entreprise (parce qu'une entreprise ne reçoit normalement pas de l'argent, si elle se comporte bien du point de vue écologique). Cependant, il est très important pour le bilan économique d'un pays.

4. CONCLUSIONS FINALES:4.1 Pour l'école:

A l'exception de quelques détails techniques qui vont être changés actuellement, l'installation de biogaz à Nyamishaba fonctionne d'une manière satisfaisante. En tenant compte du fait qu'il y a moins de bêtes que prévu auparavant, la production de gaz suit les prévisions.

Après quelques difficultés au commencement, l'acceptation du biogaz à l'école semble être bonne aujourd'hui. (Les cuisiniers préfèrent même le gaz au bois, surtout pendant la nuit.) De même, il ne semble pas être un problème de manger de la nourriture cuite avec gaz provenant partiellement de la digestion d'excréments humains.

Même s'il n'est pas possible de rendre rentable l'installation au prix du bois actuel, il semble être raisonnable d'avoir construit l'installation pour des motifs d'éducation et d'écologie.

Comme l'installation est un don de la Confédération Suisse et ne doit donc pas être amortie, la production de biogaz est très rentable pour l'école. Il est important, cependant, que la direction de l'école désigne un responsable qui continue à surveiller le maintien de l'installation après le départ des coopérants suisses. (On propose de désigner monsieur Carega, qui a déjà beaucoup de connaissances techniques du processus) De même, il est nécessaire d'informer les employés de la ferme et éventuellement les élèves afin de répandre les connaissances de la technologie biogaz et d'empêcher de fausses manipulations (on a fermé par exemple un tuyau à gaz avec du papier enroulé!).

4.2 Pour le pays:

Au Rwanda, le biogaz ne semble pas avoir fait grand progrès depuis 1983. Au contraire, les activités de l'AIDR et du CEAER (voir annexe: extrait du rapport ARBI, 1983) sont réduites pratiquement à zéro. Actuellement, un nouveau programme du MINITRAPE en collaboration avec le groupe BORDA de Brème, RFA, démarre. Là, on met la priorité sur la construction d'installations pilotes pour vulgariser surtout des installations à cloche flottante (digestion liquide).

Pour la vulgarisation de la technologie biogaz au niveau des petits paysans, il y a deux entraves d'après notre opinion: 1.) Le prix officiel du bois est trop bas et 2.) même si le prix était plus haut, le paysan n'aurait pas beaucoup d'intérêt à installer un digesteur, car c'est lui qui sera responsable des choses techniques, tandis que ce sont sa femme et ses enfants qui seront responsables pour chercher le bois. Le bois, en effet, est "gratuit" pour la plupart des paysans tant qu'il y a des arbres.

Néanmoins, il semble être raisonnable de construire des installations sur les grandes fermes (voir annexe, page 4) et pour la digestion de déchets de l'industrie agro-alimentaire. L'expérience à la ferme de Nyamishaba nous a convaincus que la digestion sèche est une bonne solution dans beaucoup de cas, vu qu'elle est relativement bon marché et s'intègre bien dans le contexte du pays (voir annexe, page 6). S'il est désiré, il faut essayer de réduire encore les coûts de construction pour les installations agricoles en collaboration avec le gouvernement Rwandais. De l'autre part, il est nécessaire que le gouvernement trouve une solution afin de porter un appui à ceux qui construisent des digesteurs, vu non seulement le problème de rentabilité, mais aussi l'importance du biogaz pour le pays (voir annexe, p.5).