Institut de Recherches Agronomiques Tropicales
et des cultures vivrières
Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)

Sous-Direction des Ressources Naturelles
Programme "Climat - Sol - Plante - Production"

LA VALORISATION ENERGETIQUE DES SOUS-PRODUITS AGRICOLES DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL

Filière biogaz / compost

MEMOIRE DE CARRIERE PRESENTE PAR

JL. FARINET - Assistant de recherches IRAT / CIRAD

JUIN 1989
02/DRN/CLISOPP/89

Avenue du Val de Montferrand, Montferrier-sur-Lez, BP 5035 - 34032 Montpellier Cedex - Tél. : 67 61 58 00 - Télex : 480762 F

Sous-Direction des Ressources Naturelles
Programme "Climat - Sol - Plante - Production"

LA VALORISATION ENERGETIQUE DES SOUS-PRODUITS AGRICOLES DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL

Filière biogaz / compost

MEMOIRE DE CARRIERE PRESENTE PAR

JL. FARINET – Assistant de recherches IRAT / CIRAD

JUIN 1989
02/DRN/CLISOPP/89

A V A N T - P R O P O S

Ce mémoire de carrière, présenté au CIRAD en vue de l'obtention de la qualification d'Ingénieur de recherches débutant", est très largement extrait du rapport final d'une étude menée avec la SAED(*) au Sénégal de Septembre 88 à Mai 89 dans le cadre d'un accord entre cette société et le GIE AGRIFORCE (IRAT/SOMDIAA). A bien des égards ce travail, mené en partie sur le terrain, peut être considéré comme le fruit de 8 années d'expérience de la filière biogaz/compost en tant qu'assistant de recherches. Expérience technique d'abord, acquise à l'issue d'un diplôme universitaire de technologie (génie chimique), au cours de 2 années de travaux au laboratoire de recherches sur les fermentations de la SCPA(**) à Mulhouse (1980/82). Expérience de terrain ensuite, acquise au cours de 6 années de travaux à l'IRAT (1983/88), dont près de 40 mois sur le terrain en Afrique de l'Ouest principalement.

La filière biogaz/compost, basée sur le processus biologique de fermentation méthanique, est une filière de valorisation énergétique de la biomasse adaptée aux conditions spécifiques des pays tropicaux. Cependant, elle met en oeuvre une technologie qui bien que peu complexe, exige pour être performante le respect de paramètres bien précis, d'où les importants travaux de recherche-développement entrepris dans les années 70 à la suite du choc pétrolier.

En 1980 à l'IRAT, Francis FOREST, a mis au point dans les laboratoires de Montpellier le procédé de fermentation méthanique en continu "TRANSPAILLE" qui a été breveté en 1983. Mon intervention au sein de ces recherches a débuté en Février 1983 au CNRA de Bambey (Sénégal) en tant que VSNA responsable de la première expérimentation en milieu contrôlé du procédé.

Le référentiel technique mis au point à cet époque a ensuite permis d'accéder à la phase de recherche-développement et de démonstration du procédé en milieu réel, phase qui se poursuit actuellement, tant au niveau des exploitations agricoles que des sites agro-industriels en Afrique.

Bien qu'un peu marginaux au sein des recherches de l'Institut, puis du Département IRAT, ces travaux ont fait l'objet d'un intérêt constant qui s'est concrétisé en 1986 par la liaison indispensable recherche-industrie, avec la création du GIE AGRIFORCE qui regroupe l'IRAT/CIRAD et la SOMDIAA(***). La dimension industrielle nous étant donnée, les études de diagnostic et d'identification peuvent maintenant aller jusqu'à la mise en oeuvre des projets qui, dans le secteur considéré, implique toujours une composante technologique assez lourde et surtout très spécifique.

---

* Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres de Delta et des vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémie.

** Société Commerciale des Potasses et de l'Azote.

*** Société d'Organisation de Management et de développement des Industries Alimentaires et Agricoles.

L'étude qui suit en est un exemple : après un diagnostic et une identification menés au cours d'une mission de 20 jours sur le terrain, un inventaire des technologies disponibles sur le "marché" justifie le choix du procédé "Transpaille" qui fait ensuite l'objet d'une présentation détaillée. En dernier lieu, des recommandations sont données quant à la mise en place d'une opération de recherche-développement. Le GIE AGRIFORCE devrait en assurer la mise en oeuvre en 1990, en collaboration avec la SAED.

Dans ce mémoire, les aspects "expérimentaux" ont été volontairement écartés ou simplement présentés succinctement. Ils ont en effet fait l'objet d'un grand nombre de rapports et publications au cours de ces dernières années (cf. publications et communications) et mes fonctions au sein du GIE AGRIFORCE sont maintenant très orientées vers le transfert de la technologie.

Si l'on considère que la technologie TRANSPAILLE est au point, son développement, et par-là-même l'avenir du GIE AGRIFORCE, passeront nécessairement par l'étude approfondie des conditions techniques et socio-économiques du transfert de la technologie dans les différents secteurs concernés. Ces secteurs sont au nombre de 3 dans les PVD de la zone soudano-sahélienne qui nous concernent plus particulièrement :

- secteur domestique,
- secteur agricole,
- secteur agro-industriel.

Le transfert de la technologie dans les secteurs domestique et agro-industriel est appelé à se développer rapidement de par les contraintes extérieures qui pèsent actuellement sur ces secteurs :

- dans le secteur domestique, la pénurie de bois de feu est une réalité quotidienne et des énergies de substitution sont d'ores et déjà proposées et parfois subventionnées par les Etats dans le cadre de financements internationaux. Le recours au biogaz pour l'alimentation des foyers en milieu rural ne requiert qu'une faible quantité de sous-produits souvent disponibles sur l'exploitation et les temps de travaux sont semblables, sinon inférieurs, à ceux consentis pour la collecte du bois. L'appropriation du matériel devra faire intervenir essentiellement les femmes. On peut considérer que la prise de conscience des Etats par rapport au problème de déforestation permettra de mettre en place des conditions de financement avantageuses, avec comme objectif de limite le recours à des combustibles importés.

- le secteur agro-industriel va des gros élevages intégrés aux abattoirs et sucreries. A ce niveau, la technologie intervient d'abord comme un moyen de lutte contre les nuisances et la pollution, et ensuite comme système de production d'énergie autonome souvent concurrentiel par rapport au prix des énergies des réseaux nationaux de distribution. L'objectif dans ce secteur consiste à rentabiliser par le vecteur énergétique l'investissement consenti et parfois obligatoire pour le traitement des sous-produits. La protection de l'environnement étant à l'ordre du jour, des crédits industriels spéciaux peuvent être obtenus pour ce type d'investissement.

En zone soudano-sahélienne, le secteur agricole est d'une approche beaucoup plus compliquée, le transfert de la technologie relevant essentiellement de la motivation de l'exploitant, elle-même fonction des contraintes de son propre système de production. Dans cette zone le faible niveau de mécanisation est par ailleurs un frein pour le développement des techniques de production d'énergie. A ce jour, quel exploitant peut réellement être motivé par ces techniques ? Il faudrait d'abord que cet exploitant ait déjà acquis les techniques d'alimentation en eau et les techniques culturales , en ayant recours à l'irrigation, aux engrais et aux produits phytosanitaires, ce qui réduit considérablement le nombre des intéressés dans la zone considérée. Il faudrait ensuite qu'il ait résolu les problèmes de commercialisation de ses produits afin que son bilan d'exploitation annuel mette en évidence les charges en carburant et en fertilisants importantes.

A ce stade de réflexion, on s'aperçoit que le transfert de la technologie ne concernerait actuellement qu'une minorité d'exploitants. Minorité certes, mais minorité tournée vers l'avenir, qui démontre la nécessité de poursuivre les actions de recherche appliquée et de recherche-développement relatives à la valorisation des sous-produits agricoles. La technologie doit être prête et ses applications démontrées sur le terrain afin de préparer cet avenir.

Le cas particulier des exploitants riziculteurs du delta du fleuve Sénégal reflète tout à fait cet état des choses. Les enquêtes sur le terrain ont permis d'identifier une minorité de gros exploitants privés, d'ores et déjà susceptibles d'intégrer une technologie de production d'énergie et de fertilisant sur leurs exploitations. L'accès à cette technologie est du ressort des sociétés de développement et surtout des instances nationales de crédits agricoles. Parallèlement à cette minorité, les petits exploitants riziculteurs encadrés par la SAED se regroupent en groupements de producteurs, ou en groupements d'intérêt économique, afin d'atteindre la taille critique d'exploitation. C'est dans la précision de ces regroupements qu'une action de recherche doit être menée, d'abord en milieu contrôlé, afin de disposer en temps voulu du référentiel technique et ensuite en milieu réel, afin d'en évaluer les contraintes d'exploitation et les performances économiques de la technologie.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

1982 - AUBART C., BULLY F., FARINET JL., Anaérobic digestion of pig manure, poultry wastes and rabbit wastes on a conventional digester (completely mixed) - "Energy from biomass", 2nd EC Conference, BERLIN 20-23 Sept., Ed. Applied Sciences Publishers, pp 604-608.

AUBART C., BULLY F., FARINET JL., Anaérobic digestion fo pig manure, experiments on a 200 m^3 digester (completely mixed) - "Energy from biomass", 2nd EC Conference, BERLIN 20-23 Sept., Ed. Applied Sciences Publishers, pp 599-603.

1983 - AUBART C., FARINET JL., Anaérobic digestion of pig and cattle manure in large scale digesters and power production from biogas, IGT Symposium "Energy from biomass and wastes VIII", Orlando (USA) 24-28 Janvier.

FARINET JL., Fermentation méthanique des résidus agricoles. L'unité Centrale d'expérimentations du CNRA Bambey - Présentation et résultats actuels - 1er salon international sur les énergies nouvelles et renouvelables en Afrique, DAKAR 7 - 13 Novembre.

1984 - FARINET JL., SARR PL., La filière compost biogaz au Sénégal, Résultats acquis et perspectives - Rencontres internationales Energie et développements, MARSEILLE Setso 22-26 Mai.

FOREST F., LIDON B., FARINET JL., Installations de biogaz à partir de substrats pailleux, procédés continu et discontinu - rencontres internationales Energie et Développement, MARSEILLE Setso 22-26 Mai.

FOREST F., FARINET JL., Méthanisation en continu des résidus agricoles tropicaux - Performances du digesteur Transpaille installé au CNRA de Bambey - Séminaire AFME biomasse méthanisation, Saint Rémy des Chevreuses 15-16 Novembre.

FARINET JL., BOCQUIEN CY., Le module intégré élevage-biogaz-petite irrigation du CNRA Bambey - Revue du MIRCEN de l'Afrique de l'Ouest, vol.1 n°2 Décembre 1984, pp 9-11.

1985 - FARINET JL., Production de biogaz - Généralités et applications industrielles et agricoles dans les PVD - Cours au séminaire de formation à la planification énergétique en Afrique, ENDA/IDEP, DAKAR 1-3 Avril.

FARINET JL., Le programme AFME/IRAT "Production continue de biogaz pour la petite motorisation rurale" - 2ème session post-universitaire de l'AUPELF, Université du Burundi - BUJUMBURA 10-24 Juillet.

1987 - FARINET JL., FOREST F., BOCQUIEN CY., Valorisation énergétique des résidus lignocellulosiques hétérogènes par le procédé en continu TRANSPAILLE. IVème Conférence Européenne "Biomass for Energy and Industry" Orléans 11-15 Mai. Ed. Applied Sciences Publishers, pp 898-903.

FARINET JL., FOREST F., Compost and biogas production for small dual engines and agricultural development. 2nd International Conference "Small engines and their fuels in developping countries". University of reading UK -23-24 September.

1989 à paraître -

CUZIN N., FARINET JL., SEGRETAIN C., Anaérobic fermentation of solid cassava wastes in a continuous pilot scale fermenter. 5th European Conference "Biomass for Energy and Industry" Lisbon-Portugal 9-13 October.

FARINET JL., SARR PL., Bilan de 5 années d'expérimentation d'un système continu de production de biogaz et de compost à Bambey (Sénégal). Journées scientifiques "Energies renouvelables et zones arides". Dakar Sénégal 11-15 Décembre.

S O M M A I R E

PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE 1

I - DIAGNOSTIC ET CRITERES D'APPLICATION DE LA FILIERE BIOGAZ/COMPOST DANS LA ZONE DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL. 3

I.1 - Formulation des problèmes prioritaires 4

I.1.1 - Le problème énergétique
I.1.2 - Le problème du maintien de la fertilité des sols 5
I.1.3 - La filière biogaz/compost : une alternative crédible.

I.2 - Présentation des contraintes liées à la filière biogaz/compost 6

I.3 - Considérations socio-économiques 8

I.3.1 - Les petits exploitants
I.3.2 - Les gros exploitants 10

II - IDENTIFICATION DES CHAMPS D'APPLICATIONS ET DES TECHNOLOGIES DISPONIBLES 12

II.1 - Caractérisation précise de sites présélectionnés 13

II.1.1 - Fiches techniques
II.1.2 - Récapitulatif des sites présélectionnés 14

II.2 - Présentation générale des procédés de production de biogaz et de compost disponibles 17

II.2.1 - Les différents procédés
II.2.2 - Analyse comparative générale 23
II.2.3 - Critères de choix d'un procédé dans la zone considérée. 24

III - PRESENTATION DETAILLEE DE LA TECHNOLOGIE TRANSPAILLE 27

III.1 - Description du procédé 28

III.1.1 - Principe de fonctionnement
III.1.2 - Eléments constitutifs, construction et assemblage 31
III.1.3 - Infrastructures annexes 32
III.1.4 - Performances 33

III.2 - Transférabilité de la technologie dans la zone considérée 36

III.2.1 - Fabrication et maintenance
III.2.2 - Particularité des éléments constitutifs par rapport aux équipements conventionnels et implications sur les choix techniques 37
III.2.3 - Typologie des applications possibles et éléments de rentabilité économique 38
III.2.4 - Formation 43

IV - CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS 44

BIBLIOGRAPHIE 51

DOCUMENTS IRAT/ISRA ET AGRIFORCE A CONSULTER 52

ANNEXES.

PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

Le bassin du Fleuve Sénégal s'étend sur environ 300.000 km^2, depuis la Guinée jusqu'au Sud de la Mauritanie.

A l'aval de Bakel, la moyenne vallée a de tout temps été le siège d'une activité agricole intense, mais ce n'est que récemment qu'une mise en valeur systématique a été amorcée sous forme d'aménagement de casiers irrigués.

La zone du delta du fleuve, communément appelée "le delta", commence à Daganna et s'étend jusqu'à St Louis, à l'embouchure. Près de la moitié des aménagements hydro-agricoles de la moyenne vallée sont situés dans le delta, essentiellement sous forme de grands périmètres irrigués qui occupent 7000 ha.

La SAED (*) est une Société d'Etat Sénégalaise créée en 1965 et qui régit depuis 1975 pratiquement tout le développement rural de la moyenne vallée avec essentiellement des fonctions d'aménagement, d'exploitation et d'encadrement. Dans le delta, la politique d'aménagement de la SAED a vu l'installation de colons et l'insertion des paysans des villages riverains suivant diverses modes. Sous le contrôle de la SAED, les exploitants des périmètres sont organisés en sections villageoises et en groupements de producteurs. Chaque paysan dispose dans le delta d'une surface qui varie de 1,1 ha à Daganna à 2,5 ha à Boundoum. Les cultures pratiquées sous irrigation sont essentiellement le riz et la tomate, avec parfois le maïs.

Au cours de ces dernières années, l'intensification agricole sur les périmètres irrigués était suspendue, du fait du faible débit de crue, à la régularisation du débit du fleuve et à la maîtrise complète de ses eaux. La mise en service récente des barrages de Diama et Manantali devrait permettre d'irriguer en toutes saisons les terres de la moyenne vallée.

A partir de ce constat des résultats et des perspectives d'évolution de la culture irriguée, un important programme dénommé "Irrigation IV", associant la SAED à plusieurs bailleurs de fonds et institutions a été mis en place en 1988 dans la zone du delta. Les objectifs de ce programme sont de plusieurs ordres :

- intensifier la mise en valeur dans le delta sur les 7000 ha d'aménagements hydro-agricoles existants par passage à la double culture possible grâce aux barrages ;

- promouvoir la responsabilité des producteurs et accélérer le désengagement effectif de la SAED ;

- promouvoir le développement d'opérateurs indépendants de la SAED en matière d'approvisionnement, de maintenance, de façons culturales et de crédit.

Compte tenu de ces objectifs, le programme comporte, outre la réhabilitation de 3 périmètres (Thiagar, Boundoum et Daganna), la conduite d'une action globale étendue à l'ensemble du delta, avec diverses composantes :

- formation, vulgarisation,
- recherche-développement, pré-vulgarisation,
- action d'accompagnement : reboisement, production de semences,
- santé humaine,
- suivi - évaluation, études,
- crédit agricole.

La présente étude a été menée dans le cadre du volet "Energie-matière organique" qui fait partie de la composante recherche-développement, pré-vulgarisation.

Elle a fait l'objet d'une mission de diagnostic et d'identification sur le terrain en Septembre 1988. Au cours de cette mission, les objectifs en matière de valorisation énergétique des sous-produits agricoles ont été définis avec la SAED et sont repris et développés dans cette étude.

I - DIAGNOSTIC ET CRITERES D'APPLICATION DE LA FILIERE BIOGAZ/COMPOST DANS LA ZONE DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL

I.1 - Formulation des problèmes prioritaires

I.2 - Présentation des contraintes techniques liées à la filière biogaz/compost

I.3 - Considérations socio-économiques

I.1 - FORMULATION DES PROBLEMES PRIORITAIRES

La zone du Delta du Fleuve Sénégal a connu de profondes modifications liées aux aménagements hydro-agricoles depuis 1960, et à une période de sècheresse très marquée depuis 1968. Ces modifications sont d'abord d'ordre démographique, l'introduction de la culture irriguée dans le delta ayant fait largement appel au départ à des colons venus du Jeeri ou d'autres régions.

Elles sont également d'ordre socio-économiques, de part l'évolution des systèmes de production liée à la maîtrise du fleuve et à une gestion de l'espace particulière sous forme de grands aménagements et de périmètres irrigués villageois (PIV).

Avec la mise en service des barrages de Diama et Manantali, l'eau douce sera disponible toute l'année pour l'irrigation et devrait permettre le passage à la double-culture du riz sur les aménagements. Ce niveau d'intensification agricole en cultures irriguées nécessitera à très court terme la prise en compte de 2 problèmes spécifiques :

- le problème énergétique,
- le problème du maintien de la fertilité des sols.

I.1.1 - Le problème énergétique

Ce problème se pose d'abord au niveau des aménagements, consommateurs d'énergie importée (fuel) pour le pompage et la distribution de l'eau d'irrigation.

A titre indicatif, sur une maille hydraulique de 30 ha avec une motopompe de reprise en tête et une double culture de riz avec un coefficient d'intensification de 1,5, la consommation annuelle de fuel s'élèvera à 4450 litres, **soit près de 950.000 FCFA.** Cette charge financière pose certains problèmes et peut dans certains cas entraîner un espacement des irrigations.

Le problème des disponibilités énergétiques se pose également par rapport à la pression démographique qui accentue les besoins en bois de feu, avec les conséquences que l'on sait sur la déforestation et l'équilibre écologique du milieu naturel. En 1984, la consommation a été estimée pour la région du Fleuve à **171.000 tonnes de bois de feu et 18.000 tonnes de charbon de bois.** En considérant que seulement 25 % de cette consommation est issue de la coupe de bois vert, et correspond donc à une déforestation effective, la surface atteinte par la déforestation serait de **5200 ha pour la seule année 1984.** On rappellera que la région du Fleuve ne dispose que de 6 % des ressources en bois du Sénégal, et que, pour l'ensemble du pays, la déforestation atteint environ 120.000 ha/an. D'autre part, l'augmentation relative du revenu agricole, conjugué aux revenus des activités extra-agricoles importantes dans cette zone, élève le niveau de vie des exploitants et par conséquent leurs besoins en énergie domestique (éclairage, radio, télévision...). Le recours à des petits groupes électrogènes essence ou diesel a pu être observé dans certaines concessions. Si le raccordement à un réseau de distribution d'électricité est prévu pour les grosses stations de pompage, il est peu probable que des lignes de distribution individuelles soient mises en place à moyen terme.

I.1.2 - Le problème du maintien de la fertilité des sols

Sur les aménagements hydro-agricoles sous culture intensive, 3 processus essentiels sont surtout à l'origine de la dégradation des sols :

- la destructuration des sols,
- la diminution du taux de matières organiques,
- l'acidification.

L'irrigation accentue le processus de destructuration et les eaux de drainage entraînent les éléments les plus mobiles avec une tendance à l'acidification. Les engrais minéraux ont eux-mêmes une action acidifiante, et la mécanisation des travaux agricoles concourt à la destructuration et à la compaction du sol. Le stock organique du sol diminue avec la mise en culture et les pertes peuvent dépasser 50 % sous culture intensive sous l'effet du déséquilibre minéralisation/humification.

Par rapport à ces processus de dégradation, de nombreux travaux ont démontré que le maintien de fertilité des sols à long terme ne peut être obtenu qu'à la condition d'associer fertilisation minérale et restitutions organiques. La matière organique humifiée à des effets notables sur la nutrition des microorganismes et de la faune du sol ; elle constitue par ailleurs un apport d'éléments minéraux non négligeable et permettant dans certains cas, des économies d'engrais. La matière organique agit également sur les propriétés physiques du sol, notamment la stabilité structurale et la capacité de rétention en eau. L'apport de matières organiques peut également favoriser la résistance des plantes aux maladies parasitaires (nématodes) et ceci essentiellement au niveau des maladies racinaires.

La plupart des grands aménagements hydro-agricoles en zone soudano-sahélienne sont, ou seront confrontés à ce problème de dégradation de la fertilité des sols à moyen terme (exemple des périmètres de l'Office du Niger au Mali). Pour le cas particulier des aménagements du delta du Fleuve Sénégal, le passage à la double culture risque d'accélérer le processus dans les années à venir, d'autant que le désengagement progressif de la SAED contribuera, du moins dans un premier temps, à une diminution des fumures minérales appliquées.

Par rapport à la culture spécifique du riz, on notera qu'en Chine **des augmentations de rendement de 10 à 15 %** ont été observées en présence de matière organique compostée, par rapport à un enfouissement direct des résidus de récolte.

I.1.3 - La filière biogaz/compost : une alternative crédible

Par rapport aux problèmes énergétiques et de fertilité précédemment évoqués et mis en exergue par le passage prévu à la double culture, on peut mettre en parallèle l'augmentation des quantités de résidus de récolte consécutive à l'intensification. En 1984, cette quantité a été évaluée pour la région du Fleuve à 47.000 tonnes, tous résidus de récolte confondus ; les prévisions pour 1990 font état d'une production voisine de 78.000 tonnes. Pour le cas particulier de la culture du riz au niveau de la délégation de Daganna, et dans le cadre de la 3ème lettre de mission de la SAED, les quantités de paille de riz disponibles seraient de l'ordre de 32.000 tonnes en 1987/88, et passeraient à 49.000 tonnes en 1989/90. Ces chiffres ont été calculés sur la base d'un rapport paille/paddy de 0,8 qui tient compte des pertes à la récolte.

Le passage à la double culture devrait également favoriser l'intégration de l'élevage, ce dernier ayant déjà considérablement évolué dans la zone sous l'influence des aménagements et de la sècheresse. L'élevage a en effet dû s'adapter à la disparition ou la réduction des parcours traditionnels, et devra encore évoluer compte tenu de la réduction des possibilités de pâturage sur les casiers dans l'hypothèse d'un calendrier de double culture. Actuellement, l'évaluation par l'ISRA du troupeau sur le delta fait état d'environ 30.000 têtes de bovins. Le troupeau des Wolofs et des Peulhs, estimé à 20.000 têtes, est en relation étroite avec l'activité rizicole (résidus de récolte, parcage), tandis que le troupeau Maure garde un caractère très extensif avec de longues transhumances. Compte tenu de l'évolution constante de l'élevage, 2000 têtes de bovins sont susceptibles d'être stabulés à moyen terme (troupeau Wolof). Pour les petits ruminants, l'estimation sur le delta porte sur 55 à 60.000 têtes, dont 50 % sont intégrés à la concession (70 % pour les ovins).

Les disponibilités en résidus de récolte et l'intégration de l'élevage sont les 2 paramètres essentiels pour le développement d'une activité de valorisation des sous-produits parfaitement compatible avec les impératifs énergétiques et de fertilité des sols. Dans cette perspective, la filière biogaz/compost semble une alternative crédible puisqu'elle permet, à partir de la fermentation anaérobie des sous-produits agricoles, de produire :

- le biogaz : gaz combustible composé de 60 % de méthane et 40 % de dioxyde de carbone, utilisable comme carburant pour les moteurs et les brûleurs,

- le compost : matière organique humifiée facilement restituable à la parcelle.

D'autres filières énergétiques pourraient être envisagées, notamment au niveau de la valorisation des résidus de récolte (paille). Ces filières, dites filières sèches, telles que la carbonisation, la pyrolyse où la gazéification, ont cependant l'inconvénient de détruire complètement la matière organique et l'azote minéral, ce qui est difficilement compatible avec une politique d'intensification agricole et de conservation des sols.

I.2 - PRESENTATION DES CONTRAINTES LIEES A LA FILIERE BIOGAZ/COMPOST

La fermentation anaérobie des sous produit est réalisée dans une installation centralisée comprenant :

- fermenteur,
- dispositif de stockage et de distribution du biogaz,
- brûleur et/ou moteur alimenté au biogaz,
- fosses de finition du compost.

Afin d'éviter de trop grandes longueurs de distribution du biogaz, l'installation doit être aménagée à proximité du lieu d'utilisation de celui-ci. Le lieu de parcage des animaux pourra avantageusement être situé aux environs immédiats afin de réduire le temps de transport du fumier.

Pour la fermentation des sous produits agricoles, un taux minimum de 20 % de déchets animaux (fécès) garantit une bonne stabilité du processus. La fermentation de résidus végétaux seuls est possible, mais doit faire l'objet d'une attention et d'un suivi soutenu plus compatible avec le secteur agro-industriel.

Au niveau du delta, on signalera la présence importante de plantes aquatiques (îles flottantes) qui pourraient avantageusement remplacer les fécès animaux et assurer la stabilité de la fermentation.

La collecte des résidus de récolte nécessite en moyenne **10 hommes heure/ tonne** pour le ramassage et le transport par charrette asine. Cette durée peut être diminuée de moitié dans le cas d'une collecte et d'un transport mécanique. On doit également prévoir une charge de travail sensiblement équivalente pour le transport et l'épandage du compost sur les parcelles. Ces résidus de récolte sont stockés sur la concession et constituent l'alimentation et la litière des animaux en stabulation ou en parcage de nuit.

La récupération du fumier et le chargement du fermenteur nécessite **1 homme-heure/100 kg de fumier.** A noter que pour un fermenteur continu cette demande est journalière et de l'ordre d'une heure, alors qu'elle est concentrée sur une journée par quinzaine pour les fermenteurs de type discontinus, avec une opération simultanée déchargement/chargement complet de la cuve. En fermenteur continu, le déchargement des effluents de fermentation est réalisé une fois par semaine ; la charge de travail est de l'ordre de **1 homme heure/200 kg d'effluents.**

En résumé, les principales contraintes techniques liées à la filière biogaz/compost au niveau d'une exploitation agricole sont les suivantes :

- procéder à la collecte, au transport et au stockage des résidus de récolte (paille, fanes de maraîchage, etc...).

- intégrer l'élevage sur l'exploitation avec au minimum un parcage de nuit des animaux (bovins, petits ruminants) et avec si possible la mise en place d'une litière sur le lieu de parcage. En absence d'élevage intégré la collecte de plantes aquatiques pourra être effectuée.

- disposer d'une main d'oeuvre suffisante et disponible pour les opérations de collecte (résidus de récolte), de conduite du fermenteur et de restitution du compost à la parcelle.

Ces contraintes sont à mettre en rapport avec les pratiques en vigueur au niveau des systèmes de production de la zone considérée. Au delà de ces contraintes purement techniques la prise en compte des aspects socio-économiques du transfert de technologie est nécessaire et notamment par rapport :

- au besoin réel des exploitants vis à vis de la filière, qui se répercutera sur leur niveau de motivation et sur les performances économiques.

- au mode d'attribution et de gestion des équipements qui pourra être individuel ou communautaire.

- au mode d'acquisition des équipements qui fera appel à la participation des exploitants, au crédit et/ou aux subventions.

Le besoin réel des exploitants doit être déterminé à partir de leurs contraintes énergétiques, l'aspect restauration des sols n'étant pas encore directement ressenti, sauf si l'apport de compost peut se traduire par des économies d'engrais minéraux. Le mode d'attribution et de gestion des équipements

est à établir en fonction de la structuration professionnelle de l'activité agricole, en évitant de créer artificiellement une communauté pour les besoins de la filière et en s'appuyant plutôt sur des groupements pré-existants, ou sur des privés réunissant toutes les conditions techniques et économiques.

Le mode d'acquisition des équipements se fera en fonction, d'une part, des performances économiques attendues, et d'autre part, de la politique agricole nationale en matière d'énergie, de conservation des sols, de protection de l'environnement et de crédit à l'équipement.

Par delà ces contraintes techniques et socio-économiques, la formation des exploitants au fonctionnement et à la maintenance des équipements est une composante primordiale pour le succès du transfert de technologie.

I.3 - CONSIDERATIONS SOCIO-ECONOMIQUES

Dans le delta du fleuve Sénégal, le peuplement est essentiellement représenté par les ethnies Wolof, Peulh et Maure qui se différenciaient, avant les aménagements hydro-agricoles, par leurs systèmes de production respectifs, basés sur l'élevage pour les Peulhs et sur la pêche et la culture pluviale et de décrue pour les wolofs. Les aménagements ont considérablement bouleversé, surtout depuis 1964, le fonctionnement des systèmes traditionnels et ont offert à tous les paysans du Delta et aux colons, la possibilité de cultiver en irrigué. A partir de 1968, la pluviométrie très faible dans le delta a également contribué à l'évolution de ces systèmes traditionnels, surtout au niveau de l'élevage, les pasteurs étant dépendants de la pluie pour l'exploitation des pâturages naturels (Jeeri, plaines basses). Globalement, l'évolution des systèmes de production se traduit par un déclin des cultures pluviales et un début d'intégration de l'élevage, intégration qui s'accentuera d'autant plus vite que se développera la double culture.

Si l'on exclue les pasteurs Maures, peu concernés par l'agriculture, et dont le caractère itinérant des activités n'est pas compatible avec notre objectif, la typologie des exploitations agricoles fait ressortir 2 grandes catégories d'exploitants autour de l'activité rizicole, qui concerne pratiquement tous les villages à l'intérieur du delta :

- les petits exploitants des casiers SAED, mettant en commun un certain nombre de facteurs de production, et encore dépendants de la SAED pour leur approvisionnement.

- les gros exploitants, producteurs privés ou groupements de producteurs totalement autonomes, disposant de leur propre aménagement ou de casiers SAED.

Les études et enquêtes réalisées au cours de la mission montrent une perception différente des problèmes énergétiques et de fertilité et des contraintes différentes selon le type d'exploitant.

I.3.1. Les petits exploitants

Ils disposent en moyenne de 0,5 à 2 ha de casier SAED et de quelques hectares de cultures pluviales sur le Jeeri. Ces exploitants sont regroupés au sein de groupements de producteurs (GP) qui dépendent des sections villageoises (SV). Les productions sont essentiellement le riz, le mil et le maraîchage ; le troupeau est bien souvent limité aux petits ruminants intégrés à la concession et à quelques bovins dans certains cas (Thiagar). L'alimentation du troupeau dépend

de la pluviométrie, avec l'exploitation des parcours naturels de Juillet à Février en année pluviométrique normale, et le parcage sur les casiers rizicoles après la récolte. En année très sèche, les sous-produits constituent la base de l'alimentation des troupeaux toute l'année. Pour ces exploitants, la perspective de la double culture réduira les possibilités de pâturage sur les casiers, et nécessitera la collecte des résidus de récolte. Actuellement, l'exploitation des résidus de récolte sur les casiers et le Jeeri passe par 3 phases successives après la récolte :

- prélèvement du nécessaire pour la provision en fourrage et les besoins de la concession (palissades, toitures),
- pâturage par les animaux,
- brûlis avant les façons culturales.

La collecte des résidus de récolte est donc déjà pratiquée pour les besoins de l'élevage, et pourrait donc être intensifiée en cas de motivation des exploitants pour la production d'énergie et de compost. En conditions normales, un disponible **de 1,5 à 2 tonnes de paille de riz à l'hectare sur les casiers** et de **1tonne de paille de mil à l'hectare sur le Jeeri** pourrait être mobilisé. Pour les déchets animaux, les petits ruminants et les bovins sont souvent parqués, du moins pour la nuit. La paille de riz et de mil, peu apprêtée, pourrait être fournie en excès pour constituer une litière sur le lieu de parcage. En condition de parcage de nuit uniquement, les quantités de déchets disponibles sont de l'ordre de 300 g MS/tête pour les petits ruminants et 1200 g MS/tête de bovin (MS : matière sèche).

Pour ce qui est de la motivation de cette catégorie d'exploitant par rapport aux problèmes d'énergie et de fertilité, elle est à mettre en rapport avec la structure des GP et leur dépendance vis à vis de la SAED.

Sur les aménagements rizicoles, les GP représentent parfois une maille hydraulique, mais la plupart du temps les paysans sont groupés simplement par affinité.

Ces GP n'ont pas encore conscience des coûts énergétiques de l'irrigation, le désengagement de la SAED n'étant pas encore effectif et la redevance étant globalisée. Par contre nos entretiens avec les exploitants ont mis en évidence le problème des disponibilités en bois de feu. Le bois est de plus en plus acheté et cette charge grève considérablement le budget des familles, avec des dépenses de l'ordre de **3000 FCFA/mois pour 20 personnes à Ndombo Thiago et Thiagar et jusqu'à 15.000 FCFA/mois pour 45 personnes à Boudoum.** Outre cette dépense, la collecte représente encore 50 % du bois consommé et est de plus en plus difficile : **4 heures/jour à Savoigne et jusqu'à 6 heures/jour à Thiagar.**

Certains producteurs, notamment ceux pratiquant la culture maraîchère (tomate à Ndombo Thiago) sont conscients des problèmes de fertilité et connaissent l'utilisation du fumier ou du compost.

Pour la catégorie des petits exploitants, les disponibilités en résidus de récolte et d'élevage et les pratiques actuelles devraient permettre de répondre à **leur problème énergétique immédiat qui est la cuisson des repas.** La filière biogaz/compost peut également assurer à ce niveau **une production significative de compost,** de l'ordre de 3 tonnes MS/an, qui sensibilisera les exploitants si elle est correctement utilisée, et en priorité sur les cultures maraîchères. De par l'utilisation ménagère du biogaz et la taille réduite des installations de production, les activités liées à la gestion du fermenteur seront prises en charge, à terme, par les femmes et les enfants, et sans incidence donc sur les temps de travaux agricoles. A priori, aucune opposition n'a été constatée par rapport à l'utilisation domestique du gaz.

I.3.2. Les gros exploitants

Ce sont des privés ou des groupements très structurés (GIE) qui disposent de surfaces aménagées de 30 à plus de 100 hectares. La gestion est autonome et la SAED intervient surtout au niveau du conseil agricole. La production est centrée sur le riz avec parfois une activité maraîchère. L'élevage est intégré comme activité à part entière et sous diverses formes :

- production laitière et embouche bovine :

Plus de 30 têtes affouragées à l'étable en saison sèche ; pâturage diurne et parcage nocture en saison des pluies.

- aviculture :

150 à 500 individus en permanence avec une répartition variable en poulets de chair et poules pondeuses.

- ovins :

Opérations d'embouche spéculatives lors des fêtes et évènements religieux.

Compte tenu des superficies exploitées et des pratiques d'élevage, les disponibilités en déchêts sont importantes. Une gestion des résidus de récolte est parfois pré-existante et induite par l'élevage intensif : bottelage et stockage de la paille de riz, récupération du son lors du décorticage. D'une façon générale, le brûlis de la paille avant les façons culturales est très largement pratiqué et montre que le principe de la litière pourrait être introduit en accentuant la collecte.

Sur le plan énergétique, ces exploitations sont confrontées à 2 types de besoin :

- énergie productive :
  * fuel pour le pompage de l'eau d'irrigation et parfois pour les travaux post-récolte.
  * électricité pour l'éclairage et le chauffage des poulaillers et pour la réfrigération du lait.

- énergie domestique :
  * bois et charbon de bois achetés pour la cuisson des repas, les besoins sont accentués par le grand nombre d'actifs et la taille des familles.
  * électricité pour l'éclairage et les appareils domestiques, ces besoins sont consécutifs à l'augmentation du niveau de vie.

Au niveau de cette catégorie d'exploitation, le potentiel de développement de la filière biogaz/compost est important et peut induire **une véritable politique d'économie d'énergie importée et de maintien de la fertilité des sols sur les aménagements hydro-agricoles.** Cependant, ces exploitations sont souvent récentes et le transfert de technologie devra respecter leurs capacités d'investissement et de réceptivité à l'innovation, en procédant par phases successives.

II - IDENTIFICATION DES CHAMPS D'APPLICATION ET DES TECHNOLOGIES DISPONIBLES

II.1 - Caractérisation de sites pré-sélectionnés

II.2 - Présentation générale des procédés de production de biogaz et de compost disponibles

II.1 - CARACTERISATION PRECISE DE SITES PRESELECTIONNES

II.1.1 - Fiches techniques

A partir des éléments de diagnotic et des critères d'application de la filière biogaz/compost dans le delta, des sites et exploitation ont été présélectionnés en vue de leur caractérisation précise. Ces sites et exploitations se répartissent en 2 groupes représentatifs de la typologie précédemment évoquée :

- **petits exploitants individuels** : des visites et entretiens ont été réalisés au niveau des SV et GP de Thiagar, N'dombo Thiago et de l'agglomération de Richard Toll.

- **exploitations agro-pastorales importantes** : visites et entretiens avec 2 exploitants privés à Boundoum et Kassack Nord, et avec le représentant d'un groupement de producteurs à Daganna.

Les visites des petits exploitants ont été organisées par les chefs de périmètre avec les conseillers agricoles affectés dans les villages. L'objectif des visites étaient de préciser les systèmes d'exploitation en vigueur, de vérifier la situation par rapport au bois de feu et d'identifier des candidats potentiels pour une opération de démonstration. Sur l'agglomération de Richard Toll, il est apparu intéressant de vérifier les problèmes d'approvisionnement en bois de feu et charbon de bois en zone urbaine, et ceci au niveau d'un petit GIE pratiquant l'aviculture. Pour les grosses exploitations agropastorales, des rendez vous ont été pris avec les responsables, les objectifs étant dans ce cas d'évaluer les résidus agricoles disponibles, de quantifier les besoins énergétiques au niveau de la motorisation et d'évaluer le degré de motivation pour une opération de démonstration constituant une première phase d'équipement.

La situation sur le delta des villages et exploitations visités et les résultats techniques de ces investigations sont présentés dans les fiches techniques numérotées de 1 à 6 (en annexe 1).

II.1.2 - Récapitulatif des sites présélectionnés

La rapidité et le caractère très informel de ces enquêtes n'ont bien sûr pas permis d'apprécier le fonctionnement détaillé des exploitations. Les questions ont été ciblées en fonction des éléments de diagnostic et permettent simplement d'évaluer les possibilités de mise en place d'actions de démonstration de la filière biogaz/compost.

a/ résidus agricoles mobilisables et besoins énergétiques

Pour chaque site, les conclusions techniques donnent les quantités de résidus agricoles potentiellement mobilisables (cf. tableau II.1) et qui, en fonction de la technologie de fermentation choisie, permettront de situer l'autonomie énergétique par rapport aux besoins exprimés. Ces besoins énergétiques peuvent être évalués sur les bases suivantes dans la zone du delta :

- besoins domestiques :

  * cuisson : 0,8 à 1,2 kg bois/équivalent adulte.j (1 enfant = 0 7 équivalent adulte). Le rendement des foyers est évalué à 15 %.
  * éclairage : 4 à 6 heures/jour à pleine puissance et 10 heures/jour en veilleuse, soit environ pour une chambre 180 à 260 watt/j.

- besoins motorisation (éclairage poulailler, mouture, exhaure) :

  * moteur diesel : 0,24 1 fuel/CV-h
  * moteur essence petite puissance : 0,4 1.essence/cv.h

Tableau II.1 - Cultures, élevage et résidus agricoles sur les sites présélectionnés.

N°	Lieu	Type	surf.totale (ha)	Elevage		Résidus agricoles (tMS/an) disponibles		
				bovins	petit rum.	paille*	déch.anima.	Total
1	N'DOMBO	Petits exploitants	1,5	-	6	2,5 - 3	0,5 - 1	3 - 4
2	THIAGAR	petits exploitants	2	5	2	4	0,6 - 3	4,6 - 7
3	RICHARD TOLL	GIE zone urbaine	en cours attribut.	aviculture : 360 individus		?	3	?
4	KASSACK Nord	Exploitation privée	100	70	-	200 - 220	45	250 - 270
5	BOUNDOUM	Exploitation privée	120	45	8	300	15	315
6	DAGANNA	Projet intégré-groupement	200 - 300	10	aviculture 450 ind.	250	9	260

* la quantité de paille disponible a été évaluée à partir d'un rendement de 3 t MS/ha, en défalquant les besoins pour les animaux de la concession (récolte) et/ou les pâturages éventuels sur les casiers.

Si les données relatives aux petits exploitants peuvent être considérées comme relativement représentatives de la situation, il n'en est pas de même pour les 4 exploitations agro-pastorales pré-sélectionnées. En effet ces 4 exploitations restent relativement marginales par rapport à la situation la plus souvent rencontrée, qui se limite à un périmètre rizicole, ou du moins une maille hydraulique, sans intégration de l'élevage et pour laquelle les seuls résidus agricoles disponibles sont la paille de riz et éventuellement les plantes aquatiques collectables sur les bras du fleuve et les canaux d'irrigation.

b/ Economies réalisables

La comparaison de ces données avec les niveaux de dépense des exploitants montre que le coût du kg de bois est voisin de 15 FCFA à N'Dombo Thiago et Thiagar, et 18 FCFA à Boundoum. Le prix du kg de charbon de bois est voisin de 35 FCFA à Richard Toll. Ces prix sont compatibles avec les statistiques de 1984 qui établissaient le prix du bois de feu entre 5 et 20 FCFA/kg (moy. 10 FCFA/kg) et du charbon de bois en sac à 25 FCFA/kg. Les prix du fuel et de l'essence sont respectivement de 210 et 350 FCFA/l.

Ces chiffres permettent d'évaluer pour chaque site la consommation énergétique substituable par la filière biogaz/compost et les économies y afférant. Le récapitulatif est donné tableau n° II.2.

On peut constater que des économies non négligeables sont possibles, d'abord au niveau des petits exploitants par la simple substitution du bois de feu qui nécessite actuellement des dépenses et du temps de collecte. Pour les 3 exploitations agro-pastorales présélectionnées, les économies sur le carburant des moteurs sont importantes et en rapport avec le produit de ces exploitations (riz irrigué, embouche, aviculture).

Ces économies potentielles sont à mettre en rapport avec le niveau d'investissement requis par la filière biogaz/compost qui dépend de la technologie employée de par ses performances et son coût.

Tableau II.2- Economies et substitution d'énergie par la filière biogaz/compost sur les sites pré-sélectionnés.

N°	Lieu	T Y P E	Consommation énergétique substituable par an				Economie annuelle possible
			bois de feu	charbon	fuel	essence	avec substitution à 100 %
1 2	N'DOMBO THIAGO THIAGAR	Concession 20 pers.	6,6 t	-	-	-	99.000 FCFA
3	RICHARD TOLL	Concession 20 pers.	-	3,7 t	-	-	130.000 FCFA
4	KASSACK Nord	Exploitation agro-pastorale 15 personnes,	5 t	-	-	-	75.000 FCFA
		groupe électrogène diesel	-	-	18.000 l	-	3.780.000 FCFA
5	BOUNDOUM	Exploitation agro-pastorale 40 personnes,	10,2 t	-	-	-	184.000 FCFA
		groupe électrogène essence	-	-	-	3000 l	1.050.000 FCFA
6	DAGANNA	Projet intégré de Gaya Simulation groupe élec. diesel pour décorticage et exhaure de l'eau	-	-	2000 l	-	420.000 FCFA

II.2 - PRESENTATION GENERALE DES PROCEDES DE PRODUCTION DE BIOGAZ ET DE COMPOST DISPONIBLES

II.2.1 - Les différents procédés

Dans le secteur agricole, différents procédés de production et types de fermenteurs ont été développés dans certains pays, les programmes les plus vastes ayant été réalisés en Chine et en Inde. En Afrique, et au Sénégal en particulier, on peut considérer que 5 types de fermenteurs ont fait l'objet d'essais et de tentatives de vulgarisation :

- **fermenteur chinois,** semi-continu sur déchets mixtes solide/liquide avec chargement journalier et vidange de la cuve tous les 6 mois ; essai au CNRA de Bambey (ISRA).

- **fermenteur indien,** continu sur déchets liquides avec chargement journalier ; essai à Ndiouk Fissel (CARITAS).

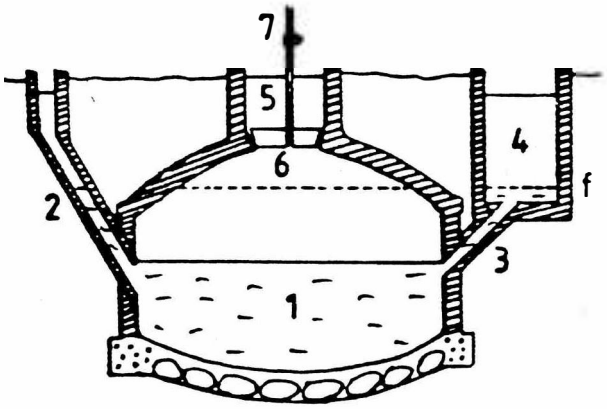
- **fermenteur Zaïrois modifié ISRA,** continu sur déchets liquides avec chargement journalier, très faible capacité utile ; essai à Bambey Sérère (ISRA).

- **fermenteur type Saria/CIEH,** discontinu sur déchets solides avec chargement/déchargement complet d'une cuve tous les 15 jours, essai en Casamance (ENDA).

- **fermenteur type Transpaille,** continu sur déchets solides avec chargement journalier ; essais au CNRA de Bambey et à Thieudem (ISRA).

Une présentation générale de ces fermenteurs est donnée dans les figures II.1 à II.5.

FIGURE II.1 - FERMENTEUR TYPE CHINOIS



1 cuve de fermentation
2 tuyau d'alimentation
3 tuyau de sortie
4 bassin de compensation
5 trou d'homme
6 couvercle amovible
7 conduite de gaz
f niveau maximum de remplissage

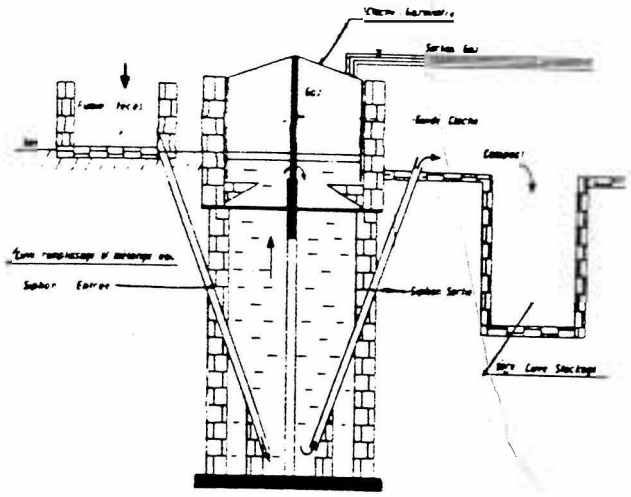
Construction : En béton, nécessite un savoir-faire pour l'étanchéité au gaz du dôme supérieur - réparations délicates.

Fonctionnement : Introduction de déchets pailleux par le trou d'homme (5) ; mise en eau et alimentation journalière par un mélange liquide(eau + fécès)en (2), vidange parallèle des effluents en (4). Tous les 3 à 6 mois, nécessite de vidanger entièrement la cuve pour réintroduire des déchets végétaux frais. Le biogaz produit est stocké dans la partie supérieure du dôme.

Avantages : Principe simple, pas d'éléments en mouvement ; production de biogaz élevée si la vidange complète est effectuée tous les 2 à 3 mois autrement production très moyenne ; maintenance très réduite si l'étanchéité est bonne.

Inconvénients : Construction délicate au niveau de l'étanchéité ; pression du biogaz variable en fonction du niveau liquide ; volumes d'eau journaliers importants ; travaux de vidange complète très pénibles car l'accessibilité est réduite.

FIGURE II.2 - FERMENTEUR TYPE INDIEN



Construction : En béton, avec cloche supérieure en tôle pour le stockage du biogaz. Canalisations entrée/sortie et support de cloche en tube acier ou PVC.

Fonctionnement : Uniquement avec un mélange dilué fécès/eau et de type continu avec introduction d'une charge par jour et évacuation parallèle d'une charge d'effluents. Le biogaz produit est stocké directement dans la cloche supérieure qui s'élève en fonction du volume stocké.

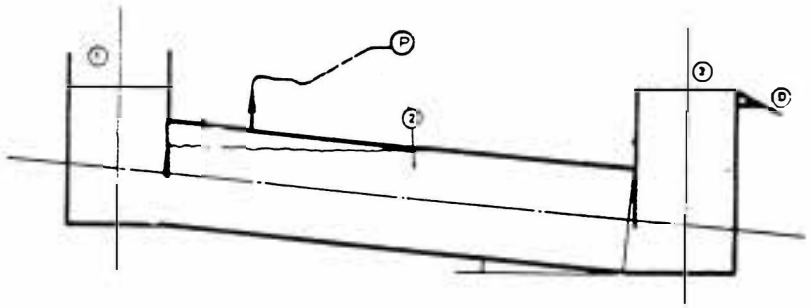
Avantages : Biogaz stocké directement à pression constante dans le fermenteur, accés facile en enlevant la cloche.

Inconvénients : Liquide uniquement, donc consommation importante d'eau et production de biogaz faible.

Corrosion extérieure de la cloche métallique à l'interface joint hydraulique /air ;

Risque de bouchage fréquent des tubulures d'admission et d'évacuation.

FIGURE II.3 - FERMENTEUR TYPE ZAIROIS MODIFIE ISRA



① CHAMBRE D'ENTREE OU DE CHARGEMENT
② CORPS DU FERMENTEUR
③ CHAMBRE D'EVACUATION
Ⓓ DEVERSOIR (TROP - PLEIN)
Ⓟ STOCKAGE BIOGAZ SOUS PRESSION

Construction : Métallique à partir de fûts de 200 litres mécano soudés.

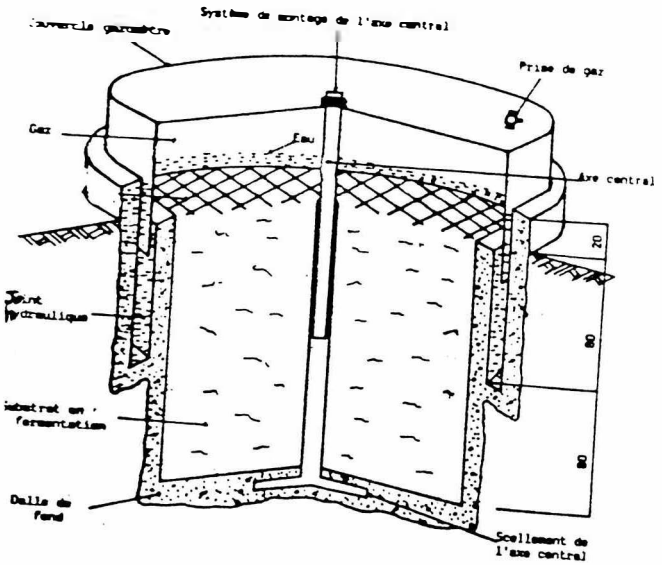
Fonctionnement : Uniquement avec un mélange dilué eau/fécès et de type continu (1 charge par jour). Le biogaz produit est stocké dans un réservoir extérieur. Un dispositif d'agitation axial peut être ajouté pour éviter les bouchages. Le biogaz produit est évacué par un piquage supérieur.

Avantages : Investissement modeste ;
Facilité d'utilisation.

Inconvénients : Liquide uniquement, donc consommation d'eau et production de biogaz faible ;

capacité utile limitée à quelques centaines de litres ; nécessité d'un stockage extérieur du biogaz.

FIGURE II.4 - FERMENTEUR TYPE SARIA/CIEH



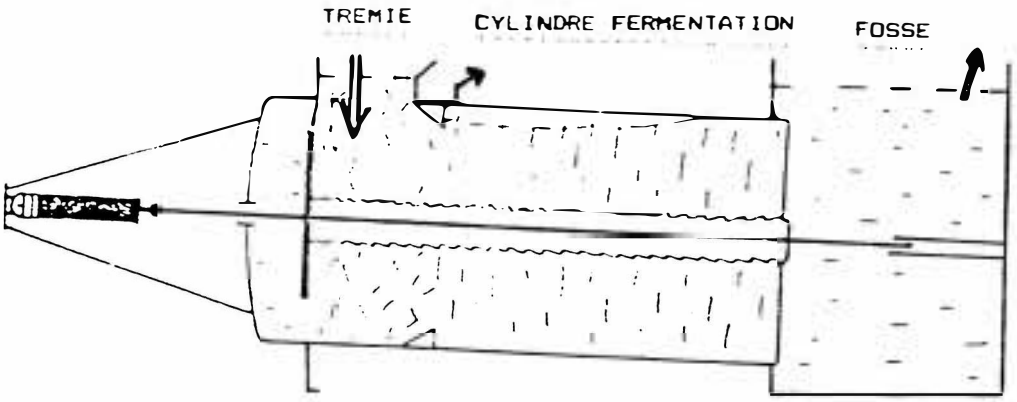
Construction : Mixte, béton pour la cuve, métallique pour la cloche gazogène supérieure. Support de cloche en tube acier.

Fontionnement : La cuve est chargée avec un mélange de déchets végétaux et animaux immergé dans de l'eau. La durée de fermentation varie de 30 à 45 jours ; on vidange alors la cuve et on relance une nouvelle fermentation. Pour obtenir une production continue de biogaz, il faut disposer de 3 cuves en parallèle et faire une opération de chargement/déchargement d'une cuve tous les 15 à 20 jours.

Avantages : Construction facile ; possibilité d'utiliser des déchets végétaux ; biogaz stocké directement à pression constante dans la cloche supérieure.

Inconvénients : Production de biogaz très moyenne ;
Système discontinu, temps de travaux de l'ordre d'un jour pour vidanger et remplir une cuve ;
Corrosion extérieure de la cloche métallique à l'interface joint hydraulique/air.

FIGURE II.5 - FERMENTEUR TRANSPAILLE



Construction : Mixte, avec fermenteur métallique et fosse en béton, où entièrement métallique. Un vérin de série actionne l'axe central.

Fonctionnement : Remplissage au départ avec de l'eau, puis introduction de résidus végétaux et animaux par la trémie en continu avec un chargement par jour. L'action du vérin pousse le substrat dans le cylindre de fermentation. L'axe central denté évite les bouchages. En régime continu, à chaque chargement correspond une évacuation d'effluents qui flottent à la surface de la fosse et qui peuvent être évacués une à deux fois par semaine. Le biogaz produit est évacué par un piquage supérieur.

Avantages : Possibilité d'utiliser des déchets végétaux en continu avec une production de biogaz élevée ;
temps de travaux réduits de l'ordre d'1/2 heure/j ;
industrialisation possible de la construction.

Inconvénients : Coût d'investissement en petite série,
nécessité d'un stockage extérieur du biogaz.

II.2.2 - Analyse comparative générale

Ces fermenteurs se différencient essentiellement par :

- la nature des déchets : solide ou liquide ;
- les matériaux de construction : métal, béton...
- les performances de production : biogaz,
- le coût d'investissement rapporté au m3 de gaz produit,
- les coûts de maintenance,
- les temps de travaux pour le chargement/déchargement qui s'effectue soit en continu (1 fois/jour), soit en discontinu ou semi continu.

Pour une capacité utile (cu) de l'ordre de 10 m3, représentative des applications qui nous concernent, la comparaison des différents fermenteurs est donnée dans le tableau II.3. Le fermenteur Zaïrois modifié ISRA a été éliminé, sa capacité ne pouvant dépasser quelques centaines de litres de par sa construction. Les résultats de cette comparaison montrent que :

- les fermenteurs CHINOIS et INDIEN sont pénalisés au niveau des performances par leur alimentation essentiellement liquide,

- les coûts d'investissement rapportés au m3 de biogaz produit sont semblables pour les types CHINOIS et TRANSPAILLE, alors que plus élevés pour les types INDIEN et SARIA/CIEH.

- les types INDIEN et SARIA ont des coûts de maintenance plus élevés à cause des problèmes de corrosion de la cloche métallique.

- les types INDIEN et CHINOIS nécessiteront des temps de travaux plus élevés pour la dilution et le mélange des fécès ; les temps de travaux pour les types SARIA et TRANSPAILLE sont semblables mais fractionnés en deux fois par mois pour le premier, et journaliers pour le second.

Tableau II.3 - Comparaison des différents types de fermenteur pour une capacité utile de l'ordre de 10 m3.

Type fermenteur	Nature déchets	Matériaux construct.	Performan (m3biogaz/ m3 cu/j)(1)	Investi.(2) (FCFA/m3 biogaz)	Maintena. en % invest/an	temps de travaux
CHINOIS	mixtes sol/liq.	béton	0,30	82	2	3h/j pour liquide 1 sem./6mois solide
INDIEN	liquide	béton/tôle	0,20	150	5	2h/jour
SARIA/CIEH	solide	béton/tôle	0,35	123	5	1jour/15 jours
TRANSPAILLE	solide	béton/tôle ou tôle	0,90	95	2	0,5h/j chargem. 2x1h/sem.déchar

(1) observées sur site au Sénégal, Niger et Burkina Faso,
(2) sur la base d'un amortissement sur 10 ans sans intérêt avec production de biogaz sur 350 jours/an.

coût 1988 : CHINOIS 85.500 FCFA/m3 cu
INDIEN 105.000 FCFA/m3 cu
SARIA/CIEH 151.000 FCFA/m3 cu
TRANSPAILLE 300.000 FCFA/m3 cu

Dans le cas particulier du type CIEH en discontinu, la productivité d'une cuve est de 0,5 m3 biogaz/m3 cu.j. La nécessité d'utiliser 3 cuves pour obtenir une production continue ramène cette performance au 2/3 soit 0,35 m3 biogaz/m3 cu.j.

II.2.3 - Critères de choix d'un procédé dans la zone considérée

a/ Type de substrat disponible

Pour les applications qui nous concernent dans le delta du fleuve Sénégal, et compte tenu des éléments du diagnostic et de la caractérisation des sites, les disponibilités en résidus agricoles sont constituées en grande partie de paille, étant donné le faible développement de l'élevage intensif. Cet aspect particulier exclut les fermenteurs type CHINOIS et INDIEN, pour lesquels la seule alimentation en fécès liquéfiés ne seraient pas suffisante pour envisager, dans la zone considérée, une production de biogaz et de compost significative. De plus, l'approvisionnement en eau de dilution au niveau même de la concession peut poser des problèmes pour certains villages.

b/ Investissement initial et gestion du temps de travail

Pour les 2 types de fermenteur SARIA/CIEH, et TRANSPAILLE alimentés à partir de déchets solides, donc de fumier pailleux et/ou de plantes aquatiques dans notre cas, le choix s'effectuera en prenant en compte 2 paramètres :

- l'investissement initial et le rapport investissement/performance :

L'investissement initial est inférieur de 50 % pour le type SARIA/CIEH, mais le rapport investissement/performance est à l'avantage du type TRANSPAILLE avec un coût du m3 de biogaz inférieur de 23 %. Si on considère, surtout dans le cas des petits exploitants, que la quantité de déchets est limitante, il convient, à priori, de choisir le type de fermenteur le plus performant par rapport à sa capacité utile.

- la gestion du temps de travail :

Les 2 types de fementeurs requiert des temps de travaux sensiblement identiques. La gestion et la nature du travail est cependant différente, avec des travaux lourds sur 2 journées par mois pour le type SARIA/CIEH, et des travaux moins pénibles mais journaliers pour le type TRANSPAILLE. Si on considère qu'au niveau des petits exploitants utilisant le biogaz pour la cuisson, les activités de gestion du fermenteur seront à terme prises en charge par les femmes et les enfants, le type TRANSPAILLE serait plus adapté. Au niveau des exploitations agro-pastorales utilisant une main d'oeuvre salariée, le choix s'effectuera en fonction du calendrier d'exploitation et des conditions de disponibilité du personnel au cours des campagnes agricoles.

A partir d'une certaine taille des installations, le type SARIA/CIEH nécessitera absolument le recours à la mécanisation des opérations de chargement/déchargement qui seraient trop consommatrices de main d'oeuvre.

En conclusion, les fermenteurs types INDIEN et CHINOIS utilisant des déchets liquides ne sont pas adaptés à la zone considérée, l'élevage intensif n'y étant pas assez développé et le recours à des déchets lignocellulosiques solides étant impératif pour arriver à des productions significatives de biogaz et de compost.

Au niveau des petits exploitants, et dans l'objectif d'assurer uniquement l'autonomie énergétique de la cuisson des aliments en substituant le bois de feu par le biogaz, le type continu TRANSPAILLE semble le plus adapté compte tenu de la gestion de temps de travail y afférant, qui est plus adaptée à une prise en charge par les femmes et les enfants en lieu et place de la corvée de bois journalière.

Pour les grosses exploitations agro-pastorales, et dans la perspective d'assurer l'autonomie énergétique de la petite motorisation (pompage, post-récolte), nous verrons plus loin que la quantité de biogaz requise est voisine de 50 m^3/j en période de pointe, (cf.III.2.3.b). Pour assurer cette production on peut comparer les caractéristiques des types SARIA/CIEH et TRANSPAILLE.

CARACTERISTIQUES	TYPE SARIA/CIEH	TYPE TRANSPAILLE
Production de pointe	50 m3 biogaz/j	50 m3 biogaz/j
cuverie	3 cuves de 50 m3	1 fermenteur 55 m3
Investissement	22.650.000 FCFA	16.500.000 FCFA
Manipulation de déchets		
- chargement	7,5 tonnes/15 j	500 kg/j
- déchargement	7,5 tonnes/15 j	500 kg/j
Temps de travaux totaux déchargement/chargement	150 hommes.heure/ 15 j	10 hommes heure/j

Les temps de travaux sont équivalents par rapport à l'unité de temps, cependant dans l'hypothèse de l'emploi d'une main d'oeuvre salariée, il semble a priori plus aisé de monopoliser régulièrement 2 personnes pendant 1 journée afin d'assurer la stabilité de la production de biogaz. Des précautions particulières sont à prendre lors du rechargement du type SARIA/CIEH, ce qui nécessite le recours à une équipe formée, par forcément disponible au bon moment. D'autre part, sur le strict plan économique, on observera que le type SARIA/CIEH nécessite un investissement plus important pour une même production de biogaz journalière.

III - PRESENTATION DETAILLEE DE LA TECHNOLOGIE TRANSPAILLE

III.1 - Description du procédé,

III.2 - Transférabilité de la technologie dans la zone considérée,

III.1 - DESCRIPTION DU PROCEDE

Les études sur la filière biogaz-compost-motorisation à l'échelle de la petite exploitation rurale procédent d'une démarche coordonnée initiée en 1977 par le CIEH et l'IRAT au Burkina Faso. La diversité des problèmes rencontrés a milité pour une coordination précise des actions visant à répartir les tâches dans un souci de plus grande efficacité. La technologie de production de biogaz en discontinu et les premiers travaux sur la valorisation agronomique des composts ont été étudiés par l'IVRAZ et le CIEH au Burkina Faso. Au Niger, dans le cadre des recherches menées en coopération avec l'INRAN, la faisabilité et l'acceptabilité socio-économique de la filière était analysée dès 1981.

A partir de 1983, le programme de recherche s'est adapté aux réalités étudiées, en s'orientant sur l'expérimentation d'une filière de production continue de biogaz.

Le procédé de fermentation TRANSPAILLE, a été conçu et breveté en 1983 par l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales (IRAT), Département du Centre International de Recherches Agronomiques pour le Développement (CIRAD). Le procédé est basé sur un dispositif de transfert des déchets solides. Ce fermenteur est associé à un dispositif de stockage du biogaz en bâche souple, et le cas échéant à un moteur adapté au biogaz. Cet ensemble constitue l'installation de base qui a été testée au Sénégal en 1983/84 au niveau d'un périmètre irrigué de 3 ha, intégrant l'élevage et la gestion des résidus agricoles. La collaboration avec l'ISRA a permis d'aboutir à la constitution du référentiel technique préalable au lancement de toute opération de prédéveloppement.

A partir de 1985, d'autres installations complètes ont été implantées dans différents pays, pour des applications essentiellement agricoles (irrigation, élevage, transformation des récoltes). Le développement et la commercialisation du procédé Transpaille est pris en charge depuis 1986 par le GIE AGRIFORCE.

III.1.1 - Principe de fonctionnement

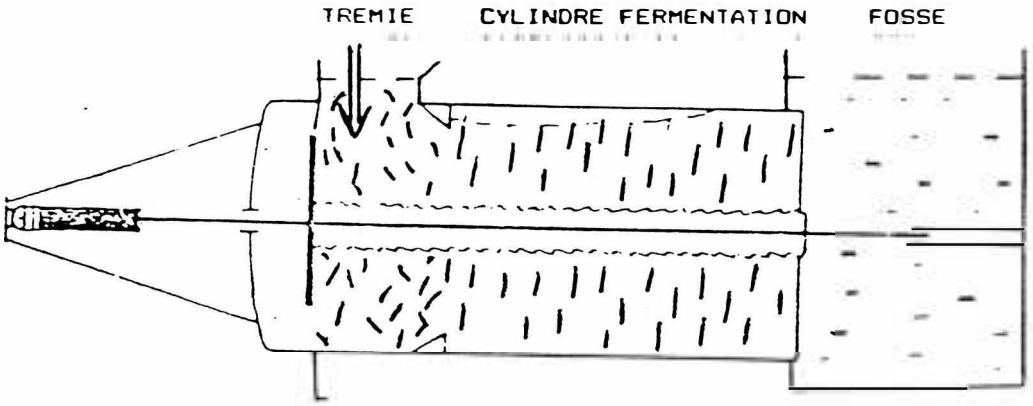
La technique Transpaille est essentiellement basée sur un dispositif original de transfert des substrats pailleux hétérogènes en immersion dans une cuve cylindrique horizontale. La charge spécifique élevée à l'intérieur de la cuve permet une productivité supérieure à celle des procédés traditionnels en discontinu sur ce type de substrat.

Le dispositif de chargement est partiellement mécanisé, et le fumier fermenté est évacué dans une fosse de réception.

Le dispositif de transfert du substrat est essentiellement constitué d'un vérin double effet, relié mécaniquement à un arbre traversant longitudinalement le cylindre de fermentation, et muni d'un bouclier de poussée. Le vérin est alimenté par une pompe hydraulique actionnée manuellement, ou mécaniquement à partir de la motorisation biogaz. Un distributeur à commande manuelle permet l'aller et le retour du vérin.

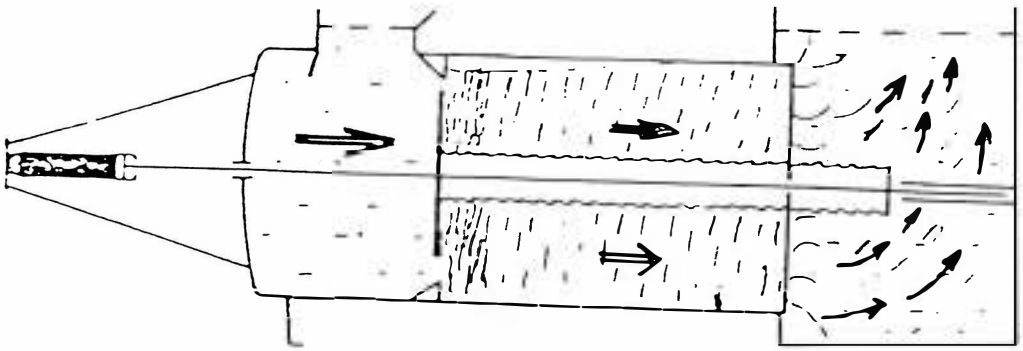
Pour l'opération de chargement, la chronologie des opérations est la suivante :

INTRODUCTION DU SUBSTRAT A FERMENTER



Le distributeur est mis en position retrait. En actionnant la pompe le bouclier est retiré en position arrière par l'intermédiaire du vérin. Le substrat est alors chargé et immergé dans la trémie, puis tassé par des outils en bois afin de remplir le volume au maximum.

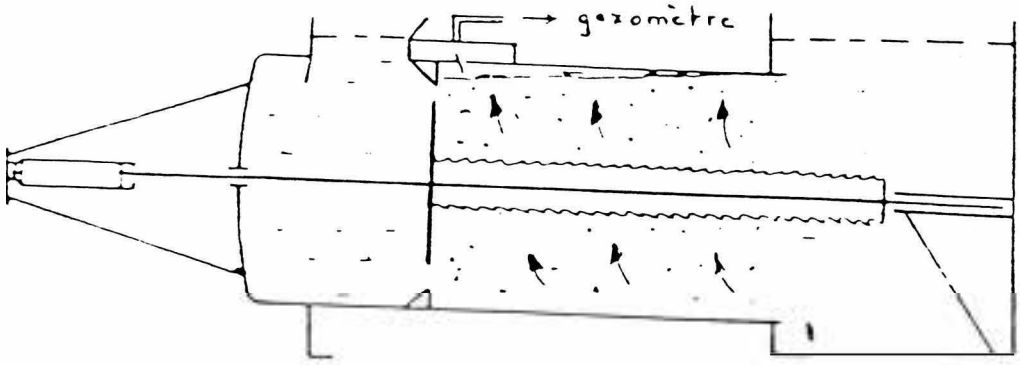
COMPRESSION ET POUSSEE DU SUBSTRAT



Le distributeur est mis en position poussée. Le vérin fait avancer le bouclier qui compresse le substrat dans un premier temps et le pousse ensuite dans le cylindre de fermentation.

A l'intérieur du cylindre la masse de substrat avance par l'action conjointe du bouclier et de l'arbre de transfert. Une masse de substrat digéré, approximativement égale à celle introduite, est alors évacuée dans la fosse de réception. Le substrat se décompresse puis vient flotter à la surface de la fosse. Il est ensuite évacué manuellement une ou deux fois par semaine.

RECUPERATION DU BIOGAZ



L'inclinaison du cylindre de fermentation à 4 % évite la formation d'une croûte sous la partie supérieure du cylindre.

Le biogaz monte puis s'évacue le long de la portion de cylindre supérieure. Le joint à eau empêche le biogaz de s'échapper par la trémie et oriente celui-ci dans le collecteur, en communication avec l'intérieur du cylindre. Une conduite, rapportée sur le collecteur, évacue ensuite le biogaz dans un gazomètre, lieu de stockage.

III.1.2 - Eléments constitutifs, construction et assemblage

La trémie et le cylindre de fermentation sont entièrement réalisés en tôle d'acier doux, de même que tout le dispositif de transfert constitué de l'arbre et du bouclier de poussée. L'étanchéité arbre/fond de cuve est réalisé à partir d'un presse étoupe. La fosse d'évacuation, en bout du cylindre de fermentation, peut être réalisée en tôle d'acier ou en béton. Dans ce dernier cas, elle est pré-montée sur le site en laissant libre l'accès du cylindre. La liaison cylindre/fosse est effectuée par coulage de béton et armature. Le support métallique de l'arbre axial situé dans la fosse est coulé après ajustement axial de l'ensemble fermenteur-fosse.

Le vérin de type standard est d'une conception simple et robuste. Il est couplé mécaniquement à l'arbre de transfert ; le mouvement de va et vient est obtenu lors du chargement par l'intermédiaire d'un distributeur double effet. Pour les petits fermenteurs, on notera que le dispositif hydraulique peut être remplacé par un système simple crémaillère/manivelle démultipliée.

La construction et l'assemblage mécano-soudé de toutes les parties métalliques sont effectués en atelier. Le transport de la cuverie est possible sur camion-plateau et la dépose sur site par grutage ou utilisation d'une "girafe" avec palands.

Les plans de définition sont donnés annexe 2.

III.1.3 - Infrastructures annexes

Les infrastructures annexes sont constituées par :

- le réseau de distribution du biogaz,
- le dispositif de stockage du biogaz,
- la centrale hydraulique de commande du vérin,
- les fosses de finition du compost,
- éventuellement, la motorisation biogaz.

a/ Le réseau de distribution du biogaz

Le réseau est réalisé en tuyauterie galvanisée enterrée. Au niveau du fermenteur un tuyau souple fait la liaison avec le réseau par l'intermédiaire d'un compteur à gaz et le cas échéant, pour les gros débits, d'un vase de condensation.

b/ Le dispositif de stockage du biogaz

Le stockage est réalisé dans un ballon souple posé sur un lit de sable est lesté par une charge. Le matériau de fabrication du ballon est normalisé pour une pression maximale de stockage de 45 mbars. La connexion au réseau de distribution se fait par manchons souples. Un bouchon de purge permet d'évacuer l'eau de condensation accumulée dans le ballon.

e/ La centrale hydraulique de commande du vérin

Pour les petites unités elle est uniquement constituée d'une pompe hydraulique manuelle avec réservoir et distributeur aller-retour, connectée au vérin par des flexibles HP. A partir d'une cu de 10 m3, une pompe hydraulique est montée directement en série sur la motorisation biogaz et est connectée, par l'intermédiaire d'un distributeur double effet, sur le vérin par des flexibles HP.

d/ les fosses de finition du compost

Elles sont de capacité variable en fonction de la cu du fermenteur et éventuellement bétonnées pour éviter les pertes en éléments minéraux par lessivage.

e/ la motorisation biogaz

Des moteurs de type biogaz-fuel adapté au biogaz ont été expérimentés au Sénégal, Niger et Burkina Faso depuis 2 ans. Ces moteurs Kilorskar SCHULE, sont caractérisés par des vitesses de rotation lentes (1500 à 2000 tr/mn) et une construction simple et robuste adaptée à une utilisation en zone tropicale. L'adaptation au biogaz de ces moteurs a été effectuée en Inde, au sein des programmes de développement du "gobar gas". La combustion complète du mélange biogaz-air est assurée grâce à l'injection constante d'une petite quantité de fuel (15 à 20 % en équivalent énergétique). Le passage au fuel s'effectue automatiquement en cas d'interruption de l'alimentation biogaz.

La gamme actuellement disponible va de 5 à 14 cv. Pour des puissances supérieures, le principe dual fuel/biogaz peut être conservés ; des moteurs performants sont disponibles en série au niveau des grands constructeurs. le GIE AGRIFORCE développe également une motorisation 100 % biogaz ; la vitesse de rotation supérieure (3000 t/mn) la destine plutôt à des applications industrielles.

III.1.4 - Performances

a/ Production de biogaz

La mise en oeuvre du procédé Transpaille nécessite :

- 5 kg de matières sèches (MS)/m3 cu/jour,

constitués au minimum de 10 % de résidus d'élevage (fécès, fientes, etc...) et 80 % de résidus lignocellulosiques divers (paille, herbe...) qui constitueront la litière des animaux.

La charge sera introduite journalièrement dans le fermenteur et pour une charge donnée, la production de biogaz dépendra de la température de fermentation dans la cuve, et donc de la température extérieure et des conditions d'isolation thermique du fermenteur. En zone tropicale, la cuve sera semi-enterrée et revêtue d'une couche de peinture noire. Dans ces conditions, les productivités en biogaz seront les suivantes pour une charge de 5 kg MS/m3 cu/jour :

t° extérieure (°C)	26	29	33	37
Productivité (m3 biogaz/m3 cu/j)	0,45	0,60	0,85	1,10

Un extrait du référentiel sur la production de biogaz est donné figure III.1.

Sur la première courbe, on notera, pour une charge donnée, la réponse de la production de biogaz à la température de fermentation. Cette réponse est linéaire avec une forte incidence dans la gamme 25 - 35°C.

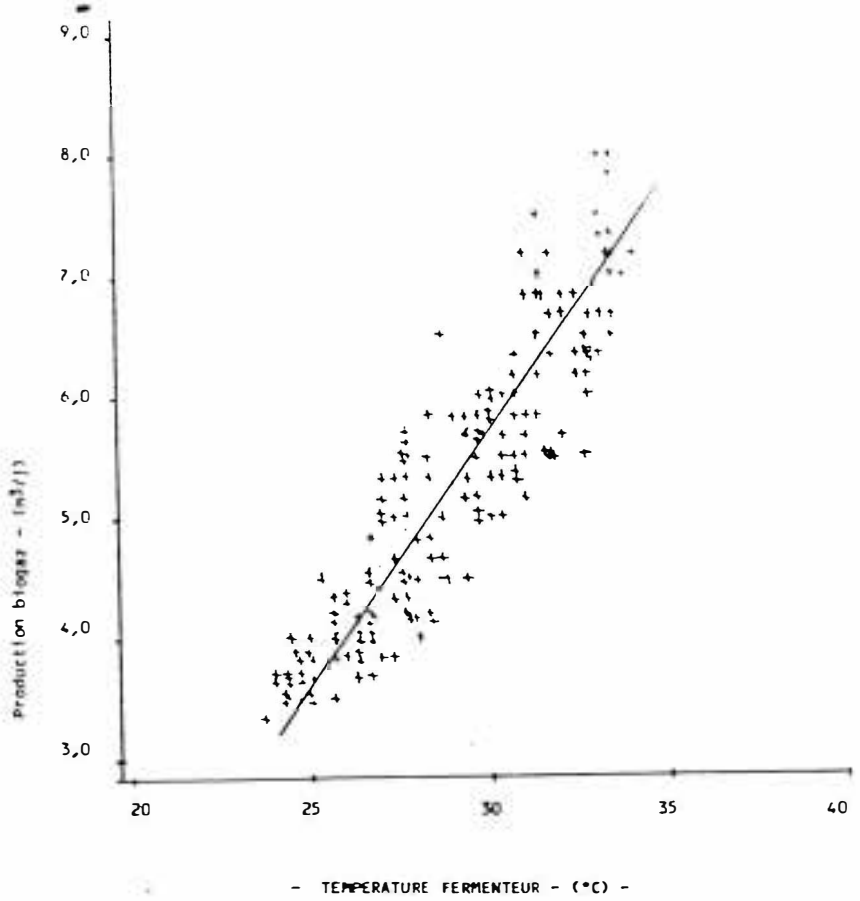
Sur la deuxième courbe, on peut apprécier, en prenant garde aux échelles, l'influence de la charge du fermenteur sur la production de biogaz à une température moyenne donnée.

FIGURE III.1

EXTRAIT DU REFERENTIEL SUR LA PRODUCTION DE BIOGAZ -
IRAT / ISRA SENEGAL
IRAT / INRAN NIGER

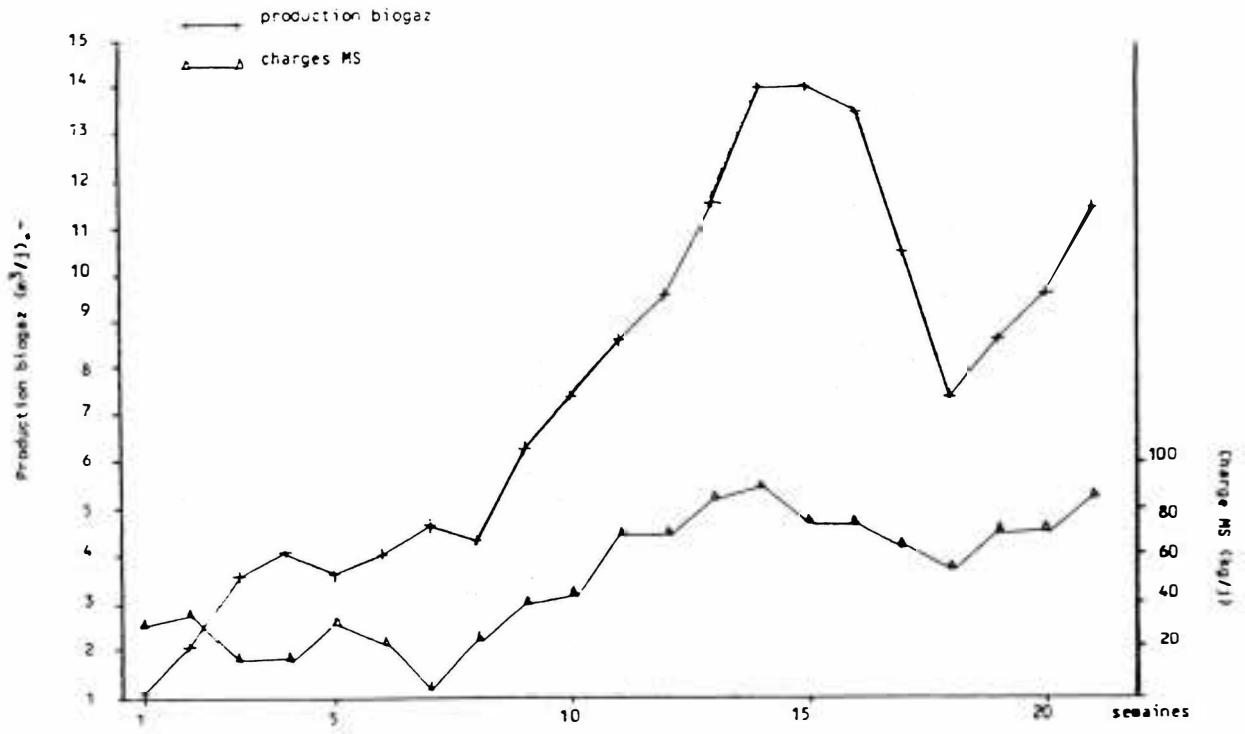
1. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA PRODUCTION DE BIOGAZ -

. Transpaille 9 m3 sans réchauffage - Bambey/Senégal.



2. DEMARRAGE DE LA FERMENTATION ET REPONSE DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ A LA CHARGE EN MATIERES SECHES (MS) -

. Moyennes hebdomadaires - Transpaille 20 m3 - Lossa/Niger.



b/ Production et valeur du compost

Le bilan matière montre que la quantité de compost final, après fermentation et finition en fosse est équivalente à 60 % (en MS) de la quantité de fumier initiale. La composition minérale moyenne est la suivante :

Eléments	N	P	K	Ca	Mg	S
Fumier étable	0,96	0,16	1,3	0,49	0,49	0,21
Fermenteur Transpaille - temps de séjour 25 à 30 jours						
Effluent	1,56	0,26	1,15	1,62	0,68	0,22
Fosse finition - durée finition 3 à 4 mois						
Compost	1,88	0,37	0,6	2,1	0,8	0,37

La valeur agronomique du compost issu du fermenteur Transpaille est testée sur culture de mil au CNRA de Bambey. La figure II.2 montre l'évolution des rendements au cours de 3 années d'apport de compost par rapport à un témoin recevant une fumure minérale uniquement.

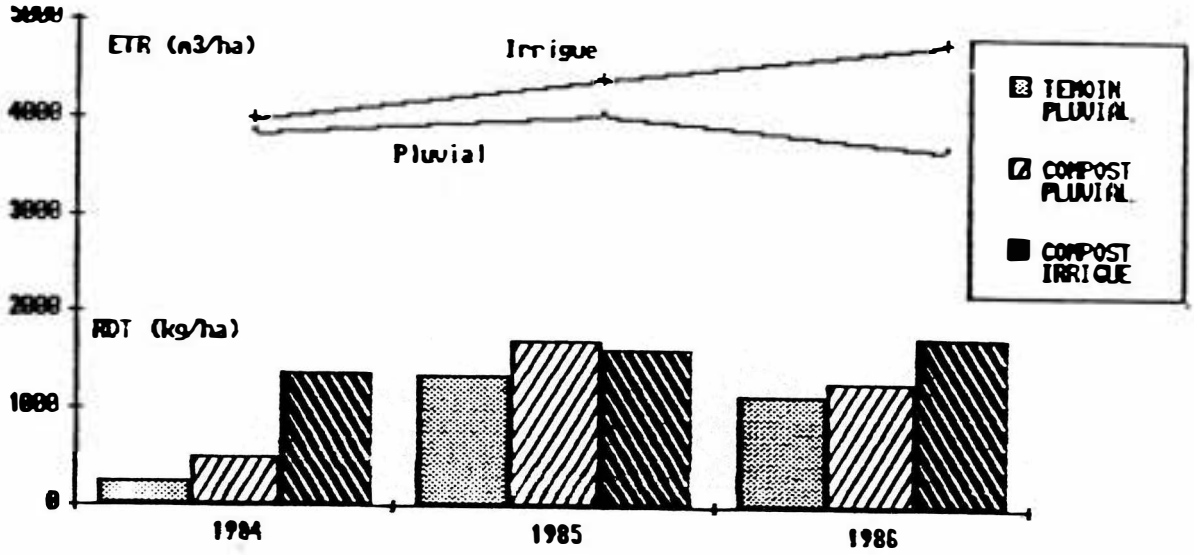


Figure III.2 - Rendement en grain et évapotranspiration réelle (ETR) d'une culture de mil variété Souna 3 à Bambey. 1984/86.

c/ Motorisation dual/fuel

Au niveau de la motorisation dual fuel/biogaz des économies de l'ordre de 80 % de fuel ont été mesurées par rapport à un moteur diesel. Pour la production délectricité les consommations spécifiques sont les suivantes :

- 0,55 m3 biogaz/Kwh,
- 45 g fuel/KWh soit 0,05 l/KWh.

La consommation en fuel est à comparer à la consommation d'un groupe électrogène diesel qui avoisine 250 g fuel/KWh.

III.2 - TRANSFERABILITE DE LA TECHNOLOGIE DANS LA ZONE D'ACTION DU PROJET

III.2.1 - Fabrication et maintenance

Au Sénégal, la fabrication des fermenteurs Transpaille est assurée localement depuis 5 ans par une Société industrielle localisée à Dakar. Le réseau routier et l'accès aisé, en saison sèche, des périmètres SAED devraient permettre un transport et une dépose facile sur les différents sites. La fosse d'évacuation en béton peut être réalisée par les artisans de la place. Pour le cas particulier des fermenteurs Transpaille de petite capacité (SANIGAZ) un constructeur potentiel a été identifié à St Louis, lors de la présente mission. Un accord interviendra pour régir la construction si cette possibilité se confirme et si cette entreprise répond aux exigences de la construction.

Au niveau de la maintenance du système TRANSPAILLE complet (fermenteur, gazomètre, motorisation), 5 années de fonctionnement continu du système au CNRA de Bambey ont permis d'en définir les conditions essentielles :

- fermenteur :
  - peinture extérieur tous les 2 ans,
  - changement tuyaux gaz souple tous les ans,
  - nettoyage fosse d'évacuation (sédiments) tous les 2 ans,
  - contrôle et remise à niveau de l'huile dans le réservoir hydraulique.

Ces opérations peuvent être facilement réalisées par l'utilisateur avec les conseils de la structure de suivi. En cas de panne mécanique, les constructeurs locaux sont aptes à la réparation.

- gazomètre : il ne nécessite aucun entretien ; un kit de réparation est fourni en cas de crevaison du ballon.

- motorisation : les conditions de maintenance d'un moteur dual fuel sont semblables à celles d'un moteur diesel usuel, avec toutefois un tarage des injecteurs toutes les 750 heures. Un kit complet de pièces détachées pour 6000 heures de fonctionnement est fourni avec les petits moteurs dual ; les réparations peuvent être effectuées par un dieseliste.

Pour le fermenteur TRANSPAILLE, les coûts de maintenance ont été évalués à 2 % de l'investissement par an. Les coûts au niveau de la motorisation dual sont de l'ordre de 10 % de l'investissement par an.

III.2.2 - Particularités des éléments constitutifs par rapport aux équipements conventionnels et implications sur les choix techniques

Les particularités des éléments constitutifs du système TRANSPAILLE sont à étudier lorsque ces éléments viennent en substitution d'un équipement traditionnel. Cet aspect est particulièrement important au niveau des foyers biogaz pour la substitution du bois de feu, et de la motorisation dual fuel/biogaz ou 100 % biogaz par rapport aux moteurs conventionnels.

- foyers biogaz :

L'emploi d'un brûleur biogaz pour la cuisson des aliments nécessite d'abord une protection de la flamme, réalisable en intégrant le brûleur dans un "ban ak suuf" de construction traditionnelle. L'ensemble "Ban ak suuf"/brûleur biogaz a été testé avec succès durant 5 années sur une concession au CNRA de Bambey. La puissance de feu du foyer biogaz doit être comparable à celle d'un foyer au bois. Le choix d'un brûleur biogaz de 5 KW avec réglage de puissance s'impose ; ces brûleurs sont disponibles chez certains fabricants.

- motorisation biogaz :

Lorsque la motorisation biogaz se substitue à une motorisation essence ou diesel de petite puissance (5 à 15 CV), le choix d'un moteur dual/fuel est conseillé, sont fonctionnement et sa maintenance étant tout à fait comparables à ceux des moteurs conventionnels.

Pour les moteurs d'une puissance supérieure, pas exemple sur les groupes de pompage et les groupes électrogènes, le choix entre une motorisation dual fuel ou 100 % biogaz est dicté par l'environnement technique de l'exploitation. Les moteurs 100 % biogaz sont moins chers à l'achat et plus performants, mais nécessitent un suivi plus rapproché et le cas échéant une formation du motoriste. Les moteurs dual-fuel ne nécessitent eux aucune condition ou formation particulière pour leur fonctionnement et maintenance, mais sont plus chers et un peu moins économiques puisque 20 % de fuel sont nécessaires. Pour une première application de la technique biogaz, le choix de la motorisation dual semble le plus raisonné dans un premier temps, même si par la suite un moteur 100 % biogaz peut le remplacer après une acquisition complète de la technologie.

III.2.3 - Typologie des applications possibles et éléments de rentabilité économique

Dans la zone d'action du projet, on retiendra 3 différents types d'application du procédé Transpaille, qui ressortent des éléments du diagnostic, des enquêtes effectuées et des caractéristques particulières du procédé :

a. Petits exploitants - Famille de 20 personnes
Utilisation domestique, substitution du bois de feu et production de compost. Système Transpaille / Sanigaz.

b. Grosses exploitations - Maille hydraulique de 30 ha.
Utilisation agricole. Substitution des carburants pétroliers et production de compost. Système Transpaille/Motorisation.

c. Rizeries de la SAED.
Utilisation agro-industrielle. Elimination des déchets, substitution des carburants pétroliers et production de compost commercial. Système Transpaille Industriel.

Pour chacune de ces applications, nous présenterons les caractéristiques techniques et de dimensionnement, et les éléments de rentabilité économique.

a/ Petits exploitants - Famille de 20 personnes
Utilisation domestique - Substitution du bois de feu et production de compost - système Transpaille/Sanigaz

On prendra pour exemple une famille de 20 personnes dont 10 enfants, qui correspond à 15 équivalent adultes. Pour cette famille la consommation journalière de bois de feu sera de 16,5 kg/j avec un foyer 3 pierres traditionnel (rdt 15 %) et de 10 kg/j avec un foyer amélioré (rdt 25 %). Le dimensionnement du système TRANSPAILLE est le suivant :

- besoins calorifiques réels (PCI*bois 4000 kcal/kg) : 10.000 kcal/j,
- rendement foyer biogaz : 60 %,
- besoins en biogaz (PCI 5500 kcal/m3) maximum : 3 m3/j,
- Cu fermenteur Transpaille : 3,5 m3.

* Besoins en fumier : 15 kg MS/jour donc 2 kg MS déchets animaux soit **6petits ruminants ou 2 bovins parqués** et **1,5 à 2 ha de rizière et/ou céréale sur Jeeri** (4,5 t MS paille/an).

* Foyer biogaz : brûleur intégré dans un "Ban ak suuf", puissance 5 KW, débit 200 à 500 1 biogaz/h.

* Stockage biogaz : gazomètre souple 2 m^3.

* Production de compost : 3 tonnes MS/an.

Le séquentiel production/consommation/stock du biogaz est donné tableau III.1 sur une journée d'activité, à partir des horaires de préparation des repas et d'une production de biogaz de 145 1/h de 11 à 20 heures et 116 1/h de 20 à 11 heures (variation de la température de fermentation).

* PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur.

Tableau III.1 - Séquentiel production/consommation/stock biogaz sur une journée

OPERATIONS	HORAIRE	PRODUCTION (litres)	CONSOMMATION (litres)	STOCK (litres)
Stock initial	-	-	-	2000
Petit déjeuner	5 h/7 h	232	450	1782
-	7 h/9 h	232	-	2014
Déjeuner - Ebullition de l'eau	9 h/10 h	116	500	1630
Déjeuner préparation	10 h/13 h	406	630	1406
-	13 h/16 h	435	-	1841
Dîner - Ebullition de l'eau	16 h 17 h	145	500	1486
Dîner - préparation	17 h/19 h	290	770	1006
Nuit	19 h/5 h	1189	-	1195
Pertes instal.	5 %		195	2000
TOTAL.....	-	3045	3045	-

On observera que ce séquentiel correspond à une option poussée, tous repas chauds avec semoule cuite à la vapeur midi et soir.

Au niveau sanitaire, la collecte et la fermentation méthanique des déchets de la concession constitue un mode de lutte contre la propagation des maladies, notamment en saison des pluies. La fermentation méthanique élimine jusqu'à 90 % des bactéries, oeufs et autres organismes pathogènes. La connection d'une latrine est possible mais ne semble pas adaptée à la zone considérée.

Pour les aspects économiques, l'investissement pour une construction en petite série (10 unités) du matériel sera de **950.000 FCFA** (hors compteur à gaz). Si on considère que tout le bois est acheté, l'économie annuelle pour une famille se chiffrerait à **90.500 FCFA.** Avec un prix reflet du compost de 15 FCFA/kg de matière brute (25 FCFA/kg MS), le produit équivalent serait de **75000 FCFA** , soit un produit brut total biogaz/compost de **165.500 FCFA.** Les charges d'exploitation sont pratiquement inexistantes si les travaux sont pris en charge par la famille ; le coût de maintenance serait voisin de 8000 FCFA/an. Avec un investissement au comptant sans charges financières, le temps de retour s'établirait donc à **6 ans.** La durée de vie de l'équipement étant estimée à 15 ans, ces conditions semblent satisfaisantes pour un investissement à caractère social et de protection de l'environnement.

b/ Grosses exploitations - Maille hydraulique de 30 ha Utilisation agricole - Substitution des carburants pétroliers et production de compost - Système Transpaille/motorisation.

On prendra l'exemple d'une maille hydraulique de 30 ha avec motopompe diesel de reprise en tête et une double culture de riz avec un coefficient d'intensification de 1,5. Le dimensionnement sera le suivant :

- débit irrigation : 3,5 l/s.ha soit 378 m3/h sur 30 ha ;
- HMT : 5 m
- Puissance motopompe : 10 cv
- Durée de fonctionnement : 1200 h par campagne soit 1800 h/an (coeff. 1.5).
- Besoins en biogaz de la motorisation dual/fuel : 5400 m3/campagne (90 j) soit 8100 m3/an
- cu fermenteur Transpaille : 50 m3
- besoins en fumier : 45 t MS sur 240 jours (avec démarrage) dont 12 tonnes MS déchets animaux, ce qui correspond à 20 bovins stabulés ou 40 bovins en parcage de nuit et 33 tonnes MS paille/an.
- Motorisation dual/fuel : 1500 t/mn. 10 cv avec récupération de calories sur eau et échappement.
- stockage biogaz : gazomètre souple 50 m3.
- production de compost : 27 tonnes MS/an.

Cette installation ne fonctionne pas à l'optimum, en effet elle ne fonctionne à pleine charge que sur une campagne, à mi-charge sur la campagne suivante et ne fonctionne pas pendant une période prolongée.

Dans ces conditions, l'investissement pour une construction en petite série étant de **11.500.000 FCFA,** l'installation permettra d'économiser 70 % de la facture de fuel, soit **660.000. FCFA/an** et de produire un revenu équivalent à **675.000 FCFA/an** par le compost, ce qui revient à un produit brut total de **1.335.000 FCFA/an.** Les charges d'exploitation, regroupant personnel et maintenance seront de 300.000 FCFA/an. Pour un investissement au comptant sans charges financières, le temps de retour sera voisin de **11 ans,** sans tenir compte de l'inflation prévisible, sur le cours des carburants pétroliers.

Ces résultats économiques pourraient être largement améliorés en trouvant une utilisation complémentaire du biogaz qui permettrait une meilleure valorisation du potentiel en résidus de récolte, une augmentation de la production de compost et un fonctionnement optimum du fermenteur sur l'année. On notera que le potentiel d'une telle installation est de **18.000 m3 de biogaz et 55 tonnes MS de compost par an.** Son utilisation pour l'unique pompage de l'eau d'irrigation ne correspond qu'à **45 %** de ce potentiel.

La diversification de l'utilisation du biogaz en motorisation nécessite le passage à la production d'électricité, d'une utilisation plus souple que la simple force motrice. Dans cette hypothèse, nous pouvons reprendre le cas de la maille hydraulique de 30 ha précédent en y intégrant une électro-pompe de surface et par exemple une activité de transformation post-récolte du riz (décorticage) qui procurera également des résidus aptes à l'alimentation animale :

- débit irrigation : 3,5 l/s ha soit 378 m3/h,
- HMT : 5 m
- Puissance électropompe : 10 cv - 7,5 KWe,
- débit décorticage : 500 kg/h
- puissance décortiqueur : 7 cv - 5,5 KWe,

- puissance groupe électrogène dual fuel
  - électrique : 10 KVA avec démarreur étoile triangle.
  - moteur : 15 cv

- durée de fonctionnement
  - irrigation 7,5 KWe - 1800 h/an,
  - décorticage 5,5 Kwe - 400 h/an,
  - éclairage+divers 3 Kwe - 500 h/an.

- besoin en biogaz motorisation dual fuel : 14000 m3/an

- cu fermenteur Transpaille : 50 m3

- besoins en fumier : 80 tonnes MS sur 365 jours dont 12 tonnes MS déchets animaux (20 bovins) et 68 t MS paille/an.

- motorisation dual fuel : 1500 t/mn. 15 cv avec récupération de calories sur eau et échappement.

- stockage biogaz : gazomètre souple 50 m3,

- production de compost : 50 tonnes MS/an.

Pour un même investissement biogaz/compost de base que précédemment, l'économie de fuel passe à **1.140.000 FCFA/an** et le revenu équivalent compost à **1.250.000 FCFA/an,** soit un produit brut total de **2.390.000 FCFA/an.** On peut considérer que les coûts d'exploitation augmenteront de 30 % pour passer à 400.000 FCFA/an. Le temps de retour dans ce cas passe à **5,8 ans** , ce qui est plus conciliable avec une activité agricole.

Par rapport aux éléments du diagnostic et aux enquêtes effectuées, on remarquera que cette situation agricole n'est pas prépondérante dans la zone du delta, surtout au niveau de l'élevage qui est très rarement intégré. L'utilisation de plantes aquatiques en complément de la paille de riz pourrait constituer une option intéressante pour ce type de situation.

c/ Rizeries SAED -
Utilisation agro-industrielle - Elimination des déchets, substitution des carburants pétroliers et production de compost commercial - Système Transpaille Industriel.

Nous avons évoqué la possibilité de l'applicaton de la filière biogaz/compost à l'élimination de la balle de riz sur les rizeries SAED. Une pré-étude de faisabilité, basée sur des hypothèses de rendement en cours de vérification en laboratoire, a été remise à l'URIC en 1987. Nous rappellerons simplement les caractéristiques générales et les hypothèses économiques, tirés du document AGRIFORCE/SAED-URIC "Valorisation de la balle de riz par le procédé Transpaille" (pré-étude de faisabilité de Décembre 1987) :

- quantité de balle de riz traitée : 945 tonnes MS/an
  soit 26 % du total
- production biogaz : 189.000 m3/an soit 95 TEP.
- production d'énergie électrique : 271.000 Kwh/an,
  thermique : 4,25 10^8 kcal/an.
- production de compost : 865 tonnes brutes/an soit
  ou 520 tonnes brutes/an
  1960 t MS/an avec mélange balle de riz non traitée.
- cu fermenteur Transpaille : 4 x 100 m^3
- stockage biogaz : gazomètres souples 2 x 200 m^3
- investissement : 225.000.000 FCFA
- temps de retour : 3,5 à 6 ans en fonction du prix de vente du compost.

Ces installations assurent l'autonomie énergétique complète de la rizerie. Certains aspects technico-économiques sont à confirmer, notamment le rendement de transformation en biogaz de la balle de riz par le procédé Transpaille, et les potentialités de commercialisation du compost produit.

III.2.4 - Formation

La formation des utilisateurs du système TRANSPAILLE doit être assurée dans les 3 domaines suivants :

- fonctionnement et conduite du fermenteur,
- fonctionnement et maintenance de la motorisation biogaz,
- finition et utilisation du compost.

a/ Fonctionnement et conduite du fermenteur

Dans le domaine agricole, le substrat utilisé pour la fermentation, en l'occurrence le fumier, ne pose aucun problème de fermentation, le milieu étant très tamponné et constamment alimenté en souche bactérienne (déchets animaux). La formation se limitera aux opérations de chargement et déchargement qui constituent les seules contraintes du fermenteur. Les utilisateurs seront surtout sensibilisés aux possibilités de régulation de la production en fonction des besoins en biogaz ; cet aspect est très vite acquis, toute augmentation du chargement se traduisant par une augmentation de la production de biogaz dans les 10 jours qui suivent. La maintenance du fermenteur étant très réduite, les opérateurs seront surtout formés à son maintien en état de fonctionnement (nettoyage, peinture, etc...).

Au Sénégal, la formation liée au fermenteur Transpaille peut facilement être assurée localement, en collaboration avec l'ISRA, sur l'une des 2 unités en place au CNRA de Bambey ou dans la zone des Niayes. Des stages d'un mois pour 4 à 5 personnes peuvent être organisés. De même, des opérateurs ISRA, formés depuis 5 ans à la technologie de fermentation peuvent être affectés temporairement sur les sites en période de démarrage.

b/ Fonctionnement et maintenance de la motorisation biogaz

Pour la petite motorisation dual-fuel, nous rappellerons que les opérations de maintenance sont identiques à celles des moteurs diesel traditionnels, avec toutefois un tarage des injecteurs un peu plus fréquent. Les moteurs dual fuel se substituant à une motorisation pré-existante, la formation à la maintenance pourra être effectuée par la structure opérant précédemment. De même que pour le fermenteur Transpaille, des stages pourront être organisés, en collaboration avec l'ISRA, sur l'une des 2 unités en opération au Sénégal.

Pour la motorisation 100 % biogaz qui, nous le rappelons, s'adressera plutôt aux sites agro-industriels, la formation au fonctionnement et à la maintenance est assurée par un formateur spécialement affecté lors de la mise en place de la motorisation.

c/ Finition et utilisation du compost

La finition en fosse et le mode d'utilisation du compost feront l'objet d'une formation sur site, par une équipe de formateurs agricoles sensibilisés à cette technique. La formation des formateurs pourra être effectuée sur les sites ISRA.

IV - CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS

L'évolution des systèmes de production agricole dans le delta et les perspectives de double culture et de désengagement de la SAED, militent en faveur d'une valorisation des sous-produits agricoles par la filière biogaz/compost, qui a l'avantage de préserver une large partie de la matière organique en produisant une énergie facilement utilisable.

L'analyse des systèmes de production actuellement en vigueur et des perspectives d'avenir à leur niveau, met en évidence des disponibilités en biomasse valorisable essentiellement constituées de sous-produits solides. On citera notamment la paille de riz et dans un proche avenir, les plantes aquatiques qui infestent de plus en plus bras du fleuve et canaux d'irrigation.

L'élevage intégré est appelé à se développer compte tenu des impératifs de dégagements des résidus de récolte des parcelles pour la double culture. Des exemples concrets ont déjà été identifiés mais sont encore le fait de gros exploitants privés, précurseurs dans ce domaine et pas vraiment représentatifs des exploitations agricoles du delta.

Pour la mise en oeuvre de la valorisation des sous-produits disponibles, l'analyse des conditions d'exploitation par rapport aux contraintes liées aux différentes technologies de fermentation, met en avant la nécessité d'avoir recours, d'abord à un procédé compatible avec les déchets solides et ensuite, à un procédé continu favorisant sa prise en charge par les exploitants.

L'analyse des conditions socio-économiques montre que l'organisation actuelle des petits exploitants sur les casiers rizicoles ne permet pas d'envisager à court terme une application communautaire de la filière biogaz/compost au pompage de l'eau d'irrigation. Par contre, la filière peut immédiatement répondre au problème énergétique du moment : la substitution du bois de feu. Cette première application individuelle serait un élément moteur dans la perspective du prochain désengagement de la SAED, qui devrait induire une meilleure prise en compte par les exploitants des problèmes d'énergie de pompage et de fertilité des sols.

Le cas particulier des sous-produits industriels des rizeries de la SAED a été évoqué ; les perspectives à ce niveau sont encore soumises aux résultats de laboratoire et aux études de faisabilité en cours.

Compte tenu de tous ces éléments, les recommandations à brève échéance seraient les suivantes :

- <u>au niveau individuel</u> :

. sous la responsabilité d'un organisme de développement (SAED),

Mise en place d'unités biogaz/compost individuelles de faible capacité (3 à 5 m^3) au niveau des petits exploitants. Alimentation de ces unités à partir des reliquats de paille de riz et mil et des déchets animaux et domestiques disponibles sur la concession. Utilisation du biogaz pour la cuisson des repas, et restitution du compost sur les parcelles de riz et/ou de maraîchage. Participation de l'organisme de développement à l'investissement initial et au suivi des unités.

. Sensibilisation des gros exploitants pour la mise en place d'unités biogaz/compost/petite motorisation de moyenne capacité (10 à 30 m^3) au niveau des grosses exploitations rizicoles privées pratiquant l'élevage intensif et utilisant déjà un moteur ou un groupe électrogène. Alimentation de ces unités à partir des résidus de récolte (paille de riz) et d'élevage. Utilisation du biogaz pour alimenter un moteur et restitution du compost sur les casiers. Pour ces exploitations, la décision d'investissement est de leur seule responsabilité et n'a a priori, pas à faire intervenir les organismes de développement, mais plutôt les instances nationales de crédit agricole.

- Au niveau des groupements :

. Sous la responsabilité d'organismes de recherches et de développement, mise en place et suivi en milieu semi-contrôlé d'une unité biogaz-compost de capacité moyenne (10 à 30 m^3). Alimentation de cette unité à partir d'un mélange de paille de riz et de plantes aquatiques. Utilisation du biogaz pour alimenter une motopompe d'irrigation et restitution du compost sur les casiers. Mise en oeuvre de tests de fermentation, motorisation et valeur agronomique du compost. Evaluation des contraintes technico-économiques.

Dans l'hypothèse où la technologie TRANSPAILLE serait retenue, les conclusions et recommandations font ressortir 2 thèmes d'étude principaux pour les organismes de recherche et de développement :

- 1 thème test/démonstration en milieu réel de l'unité Transpaille/Sanigaz en une dizaine d'exemplaires ;

- 1 thème recherche/développement sur la fermentation méthanique du mélange paille de riz/plantes aquatiques mené sur une unité Transpaille motorisation en milieu semi-contrôlé.

Les objectifs seront, au niveau du 1er thème, de tester la validité et de démontrer en milieu réel une technologie de production individuelle d'énergie domestique, et au niveau du 2ème thème de définir le référentiel technico-économique de la production d'énergie de pompage au niveau d'une unité hydraulique , en utilisant les déchets paille de riz et plantes aquatiques présents dans la zone.

Les fiches techniques relatives à ces thèmes sont données pages suivantes.

FICHE TECHNIQUE 1

Thème test/démonstration

Utilisation domestique - Substitution du bois de feu et production de compost - Système TRANSPAILLE SANIGAZ

Bénéficiaires : paysans riziculteurs disposant de bovins ou petits ruminants en parcage de nuit sur l'exploitation.

Innovation à introduire :

- augmentation de la collecte des pailles de riz et de mil et stockage de celui-ci,
- principe de la litière sur les lieux de parcage de nuit des bovins et petits ruminants avec collecte tous les 2 à 3 jours,
- foyer amélioré biogaz sous abri.

Caractéristiques de l'équipement Transpaille - SANIGAZ

- 1 fermenteur TRANSPAILLE type SANIGAZ de cu 3,5 m3 avec fosse d'évacuation et centrale hydraulique manuelle,
- 1 gazomètre souple de 2 m3 avec grillage de protection, tuyauteries d'adduction et abri d'ombrage,
- 1 compteur à gaz de mesure avec anti-retour,
- 1 foyer amélioré biogaz comprenant brûleur spécial et enceinte de type "Ban ak suuf",
- 2 fosses de finition du compost de capacité unitaire 4 m3.

Particularités :

L'équipement est doté d'un compteur à gaz pour le suivi de la production.

Cette opération pourrait être mise en relation avec les actions d'accompagnement "reboisement" et "santé" du programme Irrigation IV, étant donné son impact sur la déforestation et l'état sanitaire des concessions.

Mode d'attribution proposé :

- investissement matériel et montage à la charge des instituts de R et D,

- contribution du bénéficiaire : creusage des fosses, confection d'un "baan ak suuf", aménagement et construction d'un abri gazomètre.

Formation / Suivi à mettre en place

*** Formation :** Elle sera assurée à la base par les conseillers agricoles préalablement formés par un stage au Centre ISRA de Bambey.

Elle concernera essentiellement :

- la récolte et le stockage d'un "volant" de paille de riz,
- le litiérage du lieu de parcage et la récolte du fumier,
- le chargement quotidien du fermenteur,
- l'évacuation hebdomadaire d'effluent et la mise en finition,
- la gestion du stock de biogaz,
- le fonctionnement du brûleur biogaz.

*** Suivi :** Il sera assuré sur les sites par les conseillers agricoles qui auront à relever :

- la quantité de paille de riz récoltée,
- la présence et le nombre d'animaux au parcage,
- la quantité de fumier chargée dans le fermenteur,
- la quantité de biogaz produite journalièrement (compteur),
- la quantité de compost produite.

FICHE TECHNIQUE 2

thème recherche/développement

Utilisation agricole - Substitution des carburants pétroliers et production de compost - système TRANSPAILLE motorisation

Bénéficiaire : exploitation privée ou GP contrôlé par la SAED.

Objectif et nature des travaux :

Sur une unité hydraulique de 15 ha alimentée en eau par une motopompe dual fuel/biogaz, étude des contraintes d'alimentation et de fonctionnement du fermenteur Transpaille. Tests de fermentation d'un mélange paille de riz/ plantes aquatiques, les conditions de récolte et transport de ces dernières étant à préciser en fonction de la main d'oeuvre disponible et des coûts.

Tests de valeur agronomique du compost produit et détermination des contraintes d'épandage sur les casiers rizicoles.

Aspects économiques de la substitution du fuel et de la production de compost.

Caractéristiques de l'équipement Transpaille/motorisation

- 1 fermenteur Transpaille de cu 20 m3 avec fosse d'évacuation et dispositif hydraulique,

- 1 gazomètre souple de 30 m3 avec grillage de protection, tuyauteries d'adduction et abri d'ombrage,

- 1 groupe motopompe dual fuel/biogaz 7 CV, 200 m3/h à 5 m HMT équipée avec pompe hydraulique et récupération de calories pour le fermenteur, livré avec kit de pièces détachées 6000 heures.

- 2 compteurs à gaz de mesure avec anti-retour ;

- 3 fosses de finition du compost de capacité unitaire 10 m3 et une place de récupération des matières en tête d'unité.

Mode d'attribution proposé :

Investissement matériel biogaz/compost/motorisation et montage à la charge des institutions de R et D ainsi que les aménagements et diverses constructions.

Essais et suivi technique à mettre en place

Une première série d'essais consistera à vérifier la quantité de plantes aquatiques effectivement disponible et récoltable à proximité de l'unité.

A partir de ces données, la deuxième série d'essais, consistera à tester les performances de fermentation d'un mélange paille de riz/plantes aquatiques préalablement défini. Ces essais iront jusqu'à la motorisation biogaz.

La dernière série d'essais consistera à tester la valeur agronomique du compost produit à partir du mélange paille de riz/plantes aquatiques.

Plus généralement, au niveau du fonctionnement global de l'unité Transpaille/Motorisation, on évaluera sur 2 ans de suivi les charges d'exploitation et de maintenance afin de compléter le référentiel technique.

B I B L I O G R A P H I E

BIOM, Lettre de liaison interafricaine de l'AUPELF - "Production et utilisation du biogaz en Afrique" 2ème session de formation post-universitaire technologique - Bujumbura / Burundi 10-25/07/85.

DEGOULET A. Prévulgarisation de la filière biogaz-compot en milieu rural-rapport final d'exécution technique. CIEH série énergie 1984.

DELACROIX - JAUJAY - Evaluation du projet Thiagar - Caisse Centrale de Coopération Economique (CCCE). Mai 1987.

FARINET J.L. - SARR P.L. - La filière compost biogaz au Sénégal. Résultats acquis et perspectives. Rencontre internationale "énergie et développement" 5ème salon international de l'Energie Solaire. Marseille 22.26 Mai 1984.

FARINET J.L. - FOREST F. - BOCQUIEN CY. - Valorisation énergétique des résidus lignocellulosiques hétérogènes par le procédé en continu Transpaille. Communication à la IVème Conférence "Biomass for Energy and Industry". Orléans 11615 Mai 1987.

JAMIN J.Y. - Contribution à la réflexion du groupe de travail sur les rythmes d'aménagement de la cellule après barrage. Systèmes de production et après barrage. Quelques notes sur les perspectives d'évolution. Mars 1986. doc ISRA/DRSAE.

JAMIN J.Y. - La double culture du riz dans la Vallée du Fleuve Sénégal. Mythe ou réalité ? Décembre 1986. Communication au séminaire "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production". DSA/CIRAD-Montpellier 16-19 Décembre 1986.

JAMIN J.Y. - TOURAND J.F. - Evolution de l'agriculture et de l'élevage dans une zone de grands aménagements, le delta du fleuve Sénégal. Communication au Séminaire "Aménagements hydroagricoles et systèmes de production" DSA/CIRAD-MONTPELLIER - 16/19 Décembre 1986.

PIERI C. - MOREAU R. - Fertilité des sols et fertilisation des cultures tropicales. L'expérience du CIRAD et de l'ORSTOM - Sols et Eaux. Acquis et perspectives de la recherche agronomique française en zone tropicale. Séminaire WASHINGTON (USA) 1986/05 15/16.

UNSO/DANIDA - Etude d'une utilisation efficace des déchets agricoles comme fuel domestique au Sénégal. Projet UNSO/DES/SEN/81/001 Rapport final volume 1 et 2. Juin 1984.

DOCUMENTS IRAT/ISRA A CONSULTER

- Production continue de biogaz pour la petite motorisation rurale - Programme Emirat. Volumes I, II, III, IV, V, 1983/86 - ISRA D/Systèmes DAKAR.

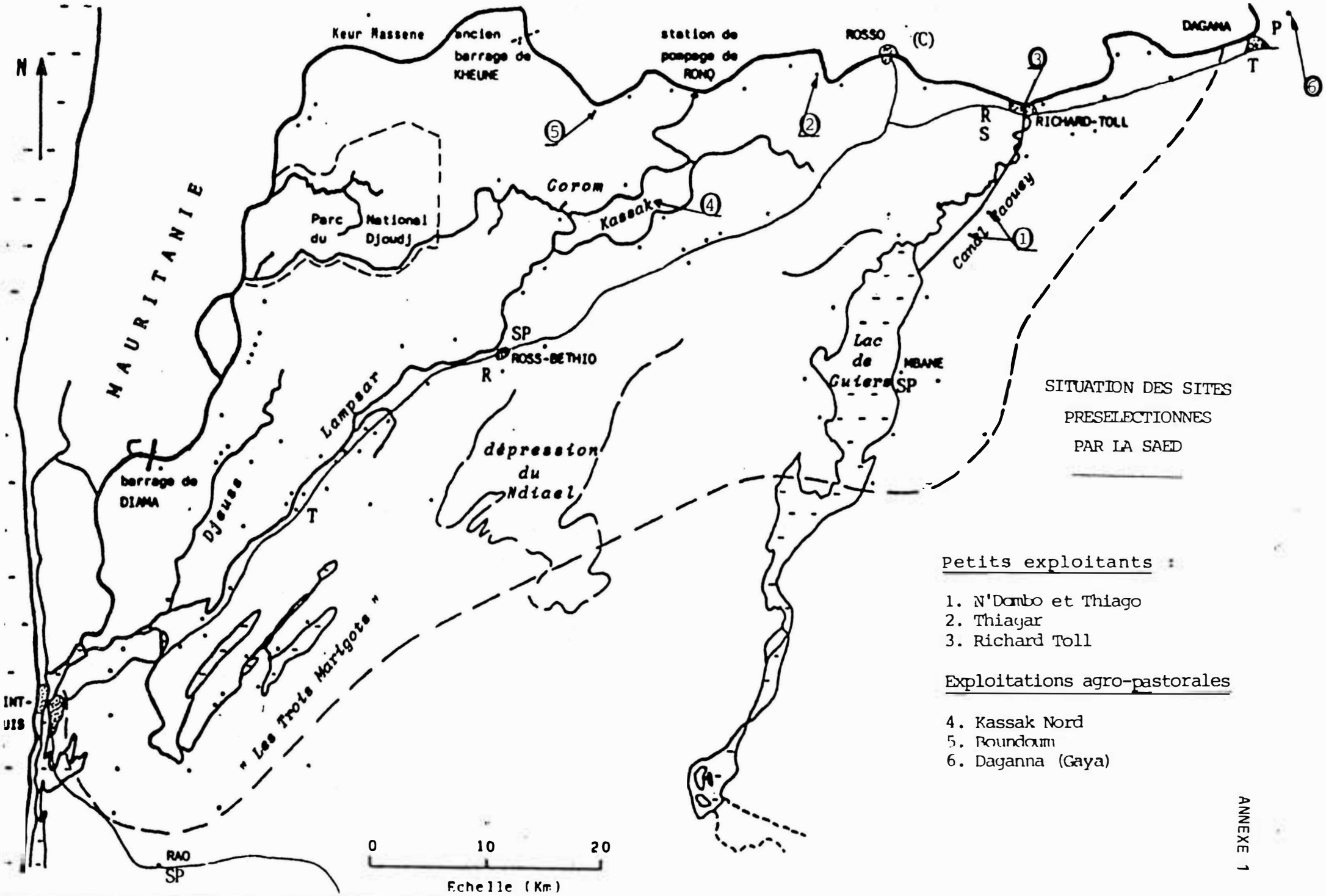
- Rapport de la mission d'évaluation "Transpaille Sénégal" - Février 1988 ISRA D/Systèmes DAKAR.

DOCUMENTS AGRIFORCE

- Caractéristiques et performances de l'équipement Transpaille biogaz/compost petite motorisation-programme cadre AFME-1986.

- Programme d'équipement rural SANIGAZ - Une contribution significative à la réduction de la consommation domestique du bois-1987.

ANNEXE 1


N
MAURITANIE
Keur Massene
ancien barrage de KHEUNE
station de pompage de RONQ
ROSSO
(C)
DAGANA
P
T
RICHARD-TOLL
R
S
Parc National du Djoudj
Gorom
Kassak
Canal Gaouey
SP
ROSS-BETHIO
R
Lampsar
Djeuss
T
barrage de DIAMA
dépression du Ndiael
Lac de Guiers
MBANE
SP
" Les Trois Marigots "
INT-UIS
RAO
SP
0
10
20
Echelle (Km)
SITUATION DES SITES PRESELECTIONNES PAR LA SAED
Petits exploitants :
1. N'Dombo et Thiago
2. Thiagar
3. Richard Toll
Exploitations agro-pastorales
4. Kassak Nord
5. Boundoum
6. Daganna (Gaya)

ANNEXE 1

FICHE TECHNIQUE N° 1

Périmètre de N'Dombo Thiago

Villages de N'Dombo et Thiago

INTERLOCUTEURS :

- à Thiago, 2 chefs de groupement de producteurs et un exploitant conctactés par le conseiller agricole SAED et candidats pour une opération de démonstration.

- à N'Dombo, 3 chefs de section villageoise qui se concerteront pour identifier des candidats.

SYSTEME DE PRODUCTION :

Les systèmes de production sont sensiblement équivalents à Thiago et N'Dombo.

* Cultures : pratique de la culture du riz sur en moyenne 1 ha, de la culture maraîchère sur 0,3 ha et de la culture du mil sur le Jeeri sur environ 0,5 ha.
importants brûlis des résidus de récolte avant les façons culturales. Compost apprécié pour le maraîchage.

* élevage : 4 à 8 petits ruminants sur la concession avec parcage de nuit. Possibilité de se procurer des fécès de bovins sur les parcages Peulhs situés à proximité du village.

* main d'oeuvre : pas de problèmes pour une demi-heure à une heure de travail tous les matins. Collecte des résidus de récolte à intensifier sur les casiers et le Jeeri.

ASPECTS ENERGETIQUES :

Importants problèmes de disponibilités en bois de feu : Collecte du bois mort et achat pour environ 5.000 FCFA/mois pour des familles de 20/30 personnes, 3000 FCFA/mois pour des familles de 15 personnes. Le pétrole lampant coûte environ 50 FCFA/jour pour une lampe.

CONCLUSIONS TECHNIQUES

- 2,5 à 3,0 tonnes/an de paille de riz et de mil disponible après prélèvement par les animaux ;
- 0,5 à 1 tonne MS/an de déchets animaux récupérables ;
- soit au total 3 à 4 tonnes MS/an de déchets agricoles par concession.

FICHE TECHNIQUE N° 2

Périmètre de Thiagar

Village de Thiagar

INTERLOCUTEURS :

4 exploitants volontaires sélectionnés par le conseiller agricole SAED dont 2 exploitants âgés et 2 jeunes.

SYSTEME DE PRODUCTION :

* Culture : au minimum 2 ha de rizière par exploitant ; les résidus de récolte sont brûlés avant les façons culturales, une partie est récoltée pour l'alimentation des animaux. Pratiquement pas de cultures pluviales.

* Elevage : très pratiqué avec 2 à 10 bovins par concession et quelques petits ruminants. Les bovins sont parqués la nuit sur un parcage communautaire ; les petits ruminants sont parqués la nuit sur les concessions. La transhumance est parfois pratiquée pour les bovins en saison des pluies.

* Main d'oeuvre : disponibilités importantes.

ASPECTS ENERGETIQUES :

Temps de collecte du bois de feu de plus en plus long, parfois jusqu'à une journée complète. Une charge de bois est vendue 3.000 FCFA et permet, avec un complément de 3 à 4 heures de collecte par jour, de tenir un mois pour une famille de 10 personnes (jeune ménage). Pour une famille de 20 personnes la dépense est la même mais la collecte est plus importante et facilitée par le nombre de femmes. L'achat du bois au détail coûte environ 300 FCFA par jour pour une famille de 20 personnes, ce qui équivaut à une dépense mensuelle de 9.000 FCFA.

CONCLUSIONS TECHNIQUES :

- au minimum 4 tonnes/an de paille de riz disponible après prélèvement par les animaux ;
- 0,6 à 3 tonnes MS/an de déchets animaux récupérables ;
- soit au total 4,6 à 7 tonnes MS/an de déchets agricoles par concession.

FICHE TECHNIQUE N° 3

Ville de Richard Toll

GIE Walo Agri

INTERLOCUTEUR :

Nous n'avons pu rencontrer les responsables de ce GIE de type familial ; les données nous ont été fournies par le responsable élevage de la SAED, des renseignements ont été pris chez un aviculteur voisin pour les aspects énergétiques.

SYSTEME DE PRODUCTION :

* Cultures : des casiers SAED sont en cours d'attribution pour la culture du riz et le maraîchage.

* Elevage : 160 poules pondeuses (Rhosse) et une rotation d'environ 200 poulets de chair tous les 2 mois, soit au total 360 individus en permanence.

ASPECTS ENERGETIQUES :

Besoins en énergie électrique pour l'éclairage des poulaillers, parfois besoins de chauffage pour les poussins d'un jour. Ces besoins sont à évaluer précisément.

Pour la cuisson des repas, une visite dans une concession voisine montre que le charbon de bois est essentiellement consommé dans cette zone urbaine ; environ 9.000 FCFA/mois pour une famille de 7 personnes dont 4 enfants, la dépense peut aller jusqu'à 15.000 FCFA par mois pour une famille de 20 personnes.

CONCLUSIONS TECHNIQUES :

- résidus végétaux seront disponibles dès mise en place des cultures prévues ;
- environ 3 tonnes MS/an de fientes de volaille récupérables.

FICHE TECHNIQUE N° 4

Périmètre de Kassack Nord

Exploitation agro-pastorale de M. Abdoulaye SENE

INTERLOCUTEURS : M. A. SENE, exploitant privé.

SYSTEME DE PRODUCTION :

* Cultures : 100 ha sont aménagés en casiers rizicoles, une montée en régime de la production sera affectuée sur 4 ans avec 30 ha en 1988, 50 ha en 1989, 80 ha en 1990 et 100 ha en 1991. Double culture du riz et 10 à 20 ha de tomate sont prévus.

* Elevage : actuellement, 70 têtes de bétail sont parquées et pâturent à quelques kilomètres de l'exploitation. L'intensification est prévue dès démarrage des cultures avec stabulation permanente des animaux et alimentation à partir des résidus de récolte, de décorticage et de concentrés. Pour cette année, une partie de la paille de riz sera récoltée et le reste brûlé. Possibilité de botteler la paille.

* Main d'oeuvre : 7 salariés actuellement.

ASPECTS ENERGETIQUES :

Pompage de l'eau par un groupe électrogène diesel de 50 KVA et une électropompe immergée de 24 KW. Un moulin à grain de 3 KW est prévu sur l'exploitation ainsi que la réfrigération du lait. Les besoins domestiques sont importants avec 10 à 15 résidents permanents (cuisson, éclairage).

CONCLUSIONS TECHNIQUES :

A terme, 200 à 220 tonnes de paille de riz/an seront disponibles après alimentation des animaux et 45 tonnes MS/an de déchets animaux pourront être récupérées sur l'étable soit un potentiel de 250 à 300 tonnes MS/an.

FICHE TECHNIQUE N° 5

Périmètre de Boundoum

Exploitation agropastorale de M. KHAYAR BA

INTERLOCUTEUR : M. K.BA, exploitant privé.

SYSTEME DE PRODUCTION :

* Cultures : 120 ha de riz en double culture avec des rendements de l'ordre de 4 à 5 tonnes de paddy/ha. Les cultures d'oignons et de tomates ont été abandonnées suite à des problèmes de commercialisation. Une partie de la paille de riz est bottelée et stockée pour l'alimentation du bétail, le reste est pâturé et brûlé.

* Elevage : 39 bovins et 6 veaux avec parcage de nuit en saison sèche et pâturage transhumant en saison des pluies. 8 chèvres sur la concession.

* Main d'oeuvre : importante, M. BA a regretté l'inactivité de ces enfants pendant de longues périodes.

ASPECTS ENERGETIQUES :

Problèmes importants de disponibilités en bois de feu dans cette zone. Achat de 5 charrettes de bois par mois, soit une dépense de 17.500 à 20.000 FCFA/mois, pour une famille importante de 40 personnes. Le sac de charbon de bois atteint 2.500 FCFA dans la zone.

Besoins en énergie électrique pour la soudure à l'arc et l'éclairage de la concession, actuellement 2 groupes électrogènes essence assurent cette fonction mais la dépense est importante et conduit à des économies sur les durées d'éclairage.

CONCLUSIONS TECHNIQUES :

- 300 tonnes/an de paille de riz disponibles après alimentation des animaux.
- 15 à 17 tonnes MS/an de déchets animaux récupérables,
- soit au total un potentiel de 215 tonnes MS/an.

FICHE TECHNIQUE N° 6

Périmètre de Daganna

Projet intégré de Gaya

INTERLOCUTEUR : un représentant du groupement de producteurs qui comprend 361 membres.

SYSTEME DE PRODUCTION :

* Cultures : Les membres du groupement pratiquent la riziculture sur une surface moyenne d'un ha/exploitant, surface qui devrait passer à 2,5 ha/exploitant après la réhabilitation du périmètre de Daganna. Le groupement en tant que tel dispose également d'une surface aménagée. Les résidus de récolte sont récoltés en partie pour l'élevage, le reste est brûlé sur les casiers.

* Elevage : Le groupement dispose d'un poulailler de 4 loges avec 400 à 500 individus en permanence (chair + pondeuses) et d'une étable pour l'embouche de 10 bovins sur 90 jours avec 3 rotations par an. L'alimentation de l'élevage est assurée à partir des résidus de récolte et de décorticage du riz.

ASPECTS ENERGETIQUES :

Pour le groupement les besoins sont d'abord électriques pour l'éclairage des poulaillers. Une énergie motrice est également nécessaire pour le décorticage du riz actuellement assuré par un moteur diesel. Pour l'abreuvement des animaux, un puits est disponible sur le lieu d'élevage mais le système d'exhaure par éolienne est hors d'usage et pourrait être remplacé par une électropompe immergée.

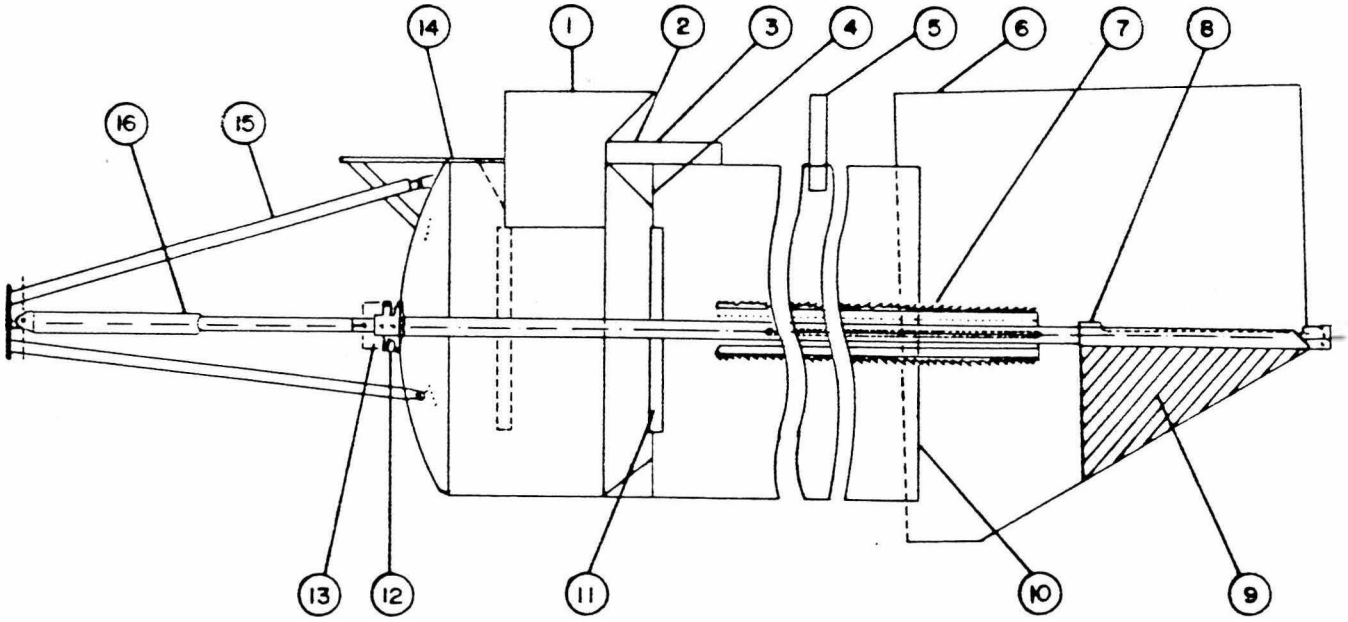
CONCLUSIONS TECHNIQUES :

- 250 tonnes/an de paille de riz disponibles après prélèvement par les animaux ;
- 4,2 t.MS/an de fientes de volaille et 5 t MS/an de déchets bovins récupérables sur le poulailler et l'étable, soit 9,2 t MS/an ;

- soit au total un potentiel de 260 t MS/an de déchets agricoles.

ANNEXE 2

FERMENTEUR TRANSPAILLE
Plans de conception

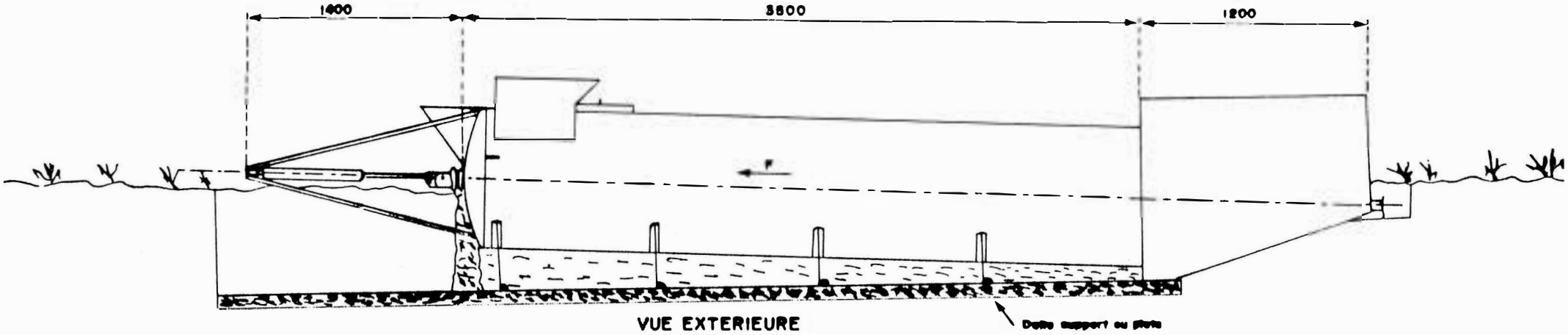


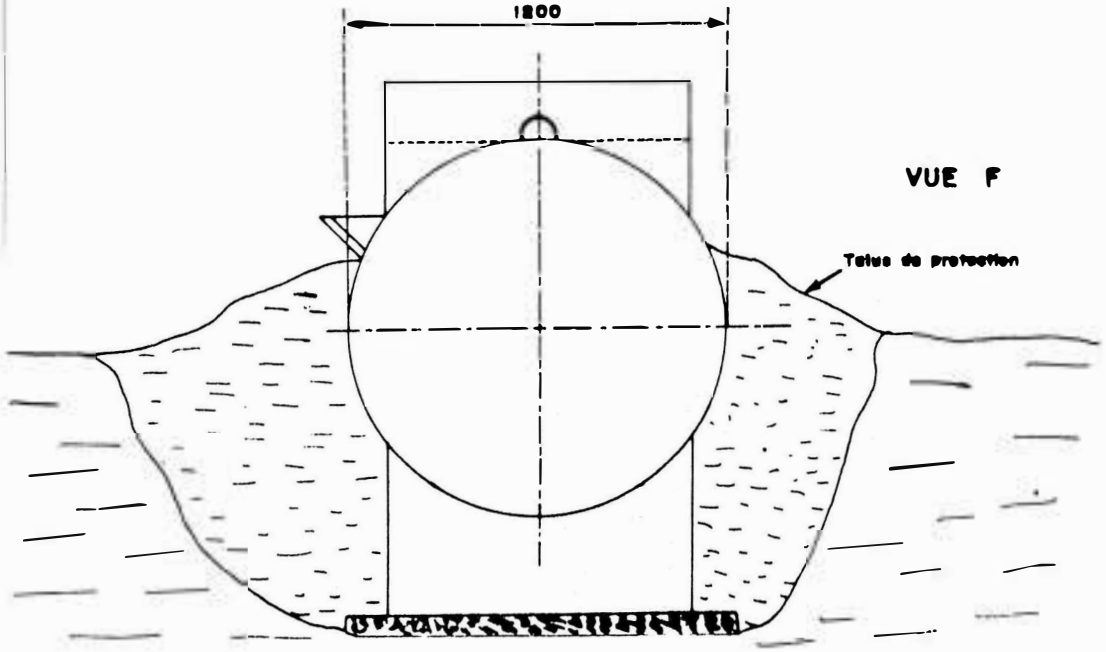
NOMENCLATURE

N°	Désignation
16	Dispositif d'avancement
15	Support de vérin
14	Plateforme de travail
13	Arbre axial
12	Joint presse étoupe
11	Bouclier pousseur
10	Virole
9	Support de guide
8	Guide de l'arbre
7	Ergots de transfert
6	Fosse
5	Tube de mesures
4	Joint à eau
3	Evacuation gaz
2	Collecteur gaz
1	Trémie

Procédé breveté	AGRIFORCE
FORMAT A4	TRANSPAILLE
	CIRAD / IRAT / DEVE

FERMENTEUR TRANSPAILLE SANIGAZ
Implantation sur site et encombrement



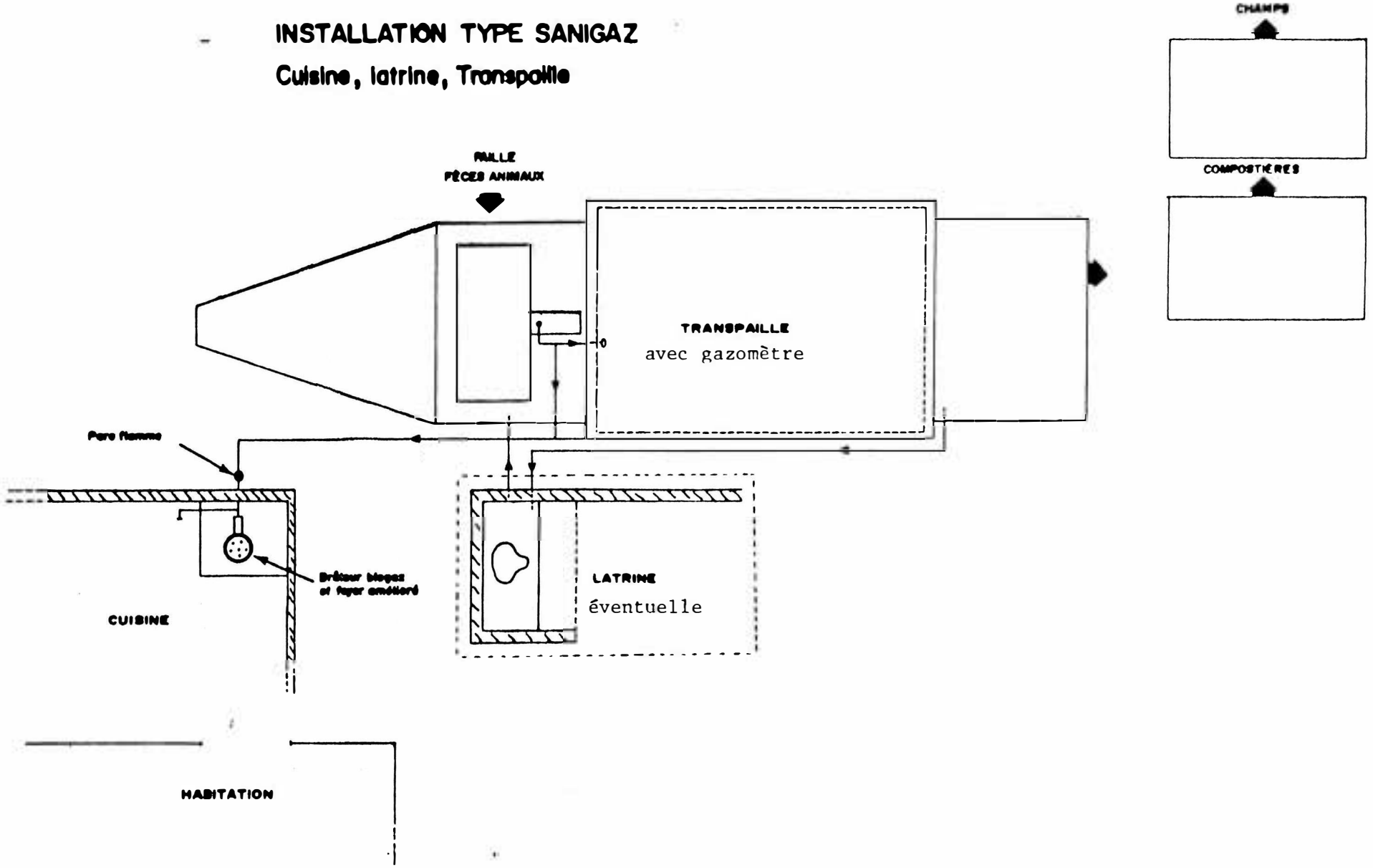


ANNEXE 2.1

Procédé breveté IRAT	AGRIFORCE
FORMAT A4	TRANSPAILLE SANIGAZ
	CIRAD / IRAT / DEVE

INSTALLATION TYPE SANIGAZ

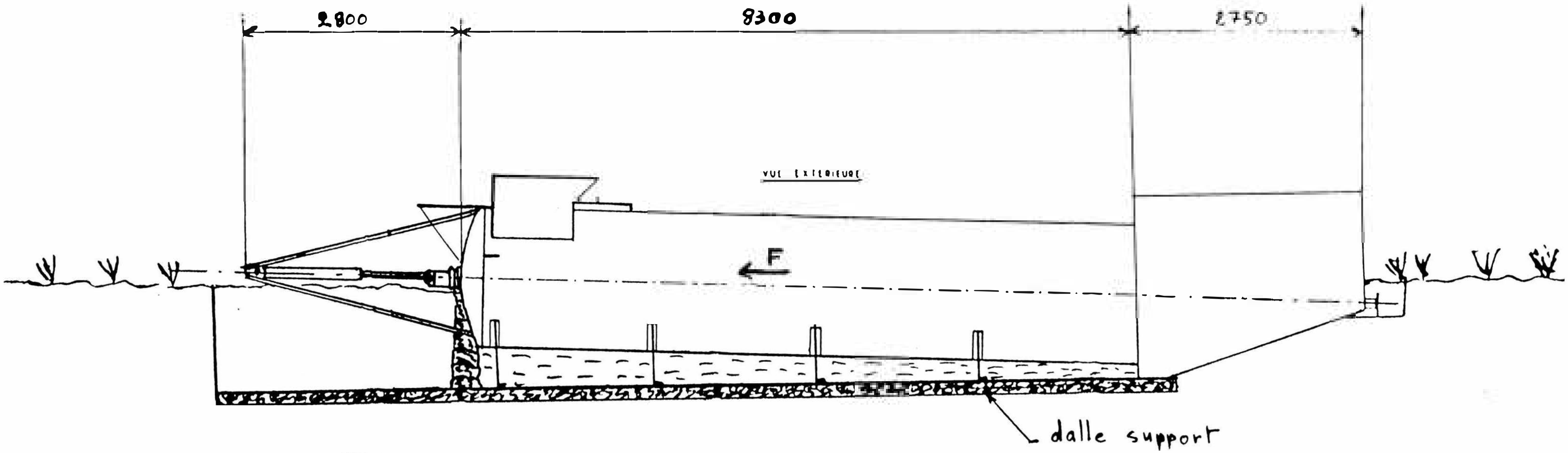
Cuisine, latrine, Transpaille

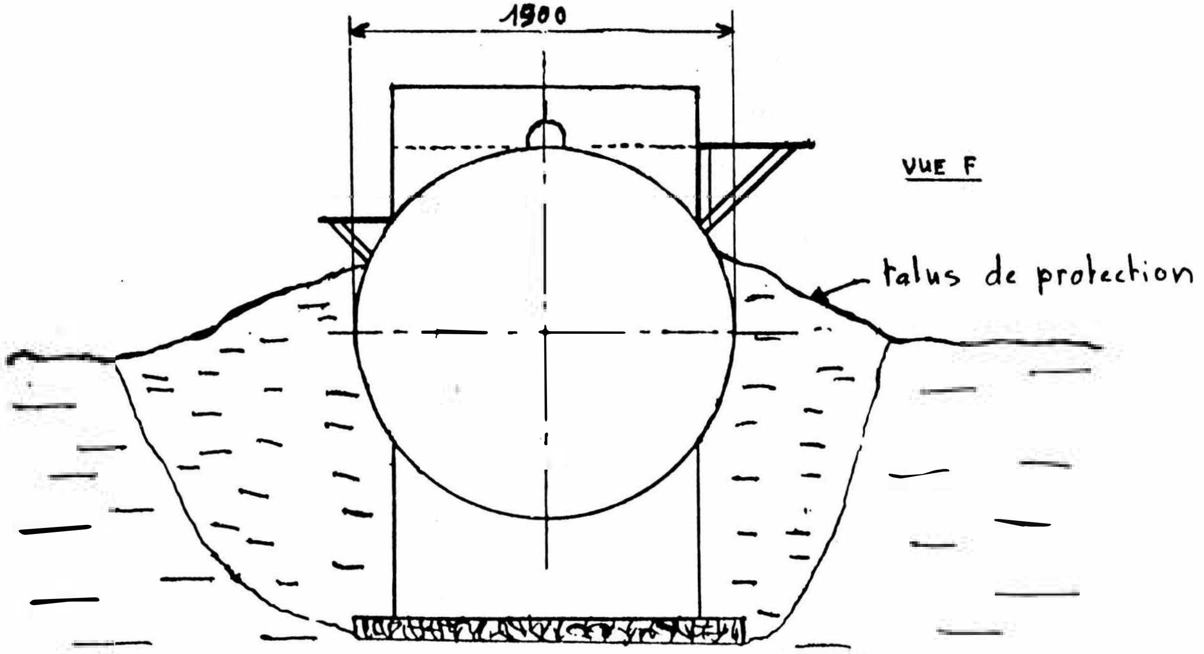


ANNEXE 2.2

IRAT	AGRIFORCE
	TRANSPAILLE SANIG

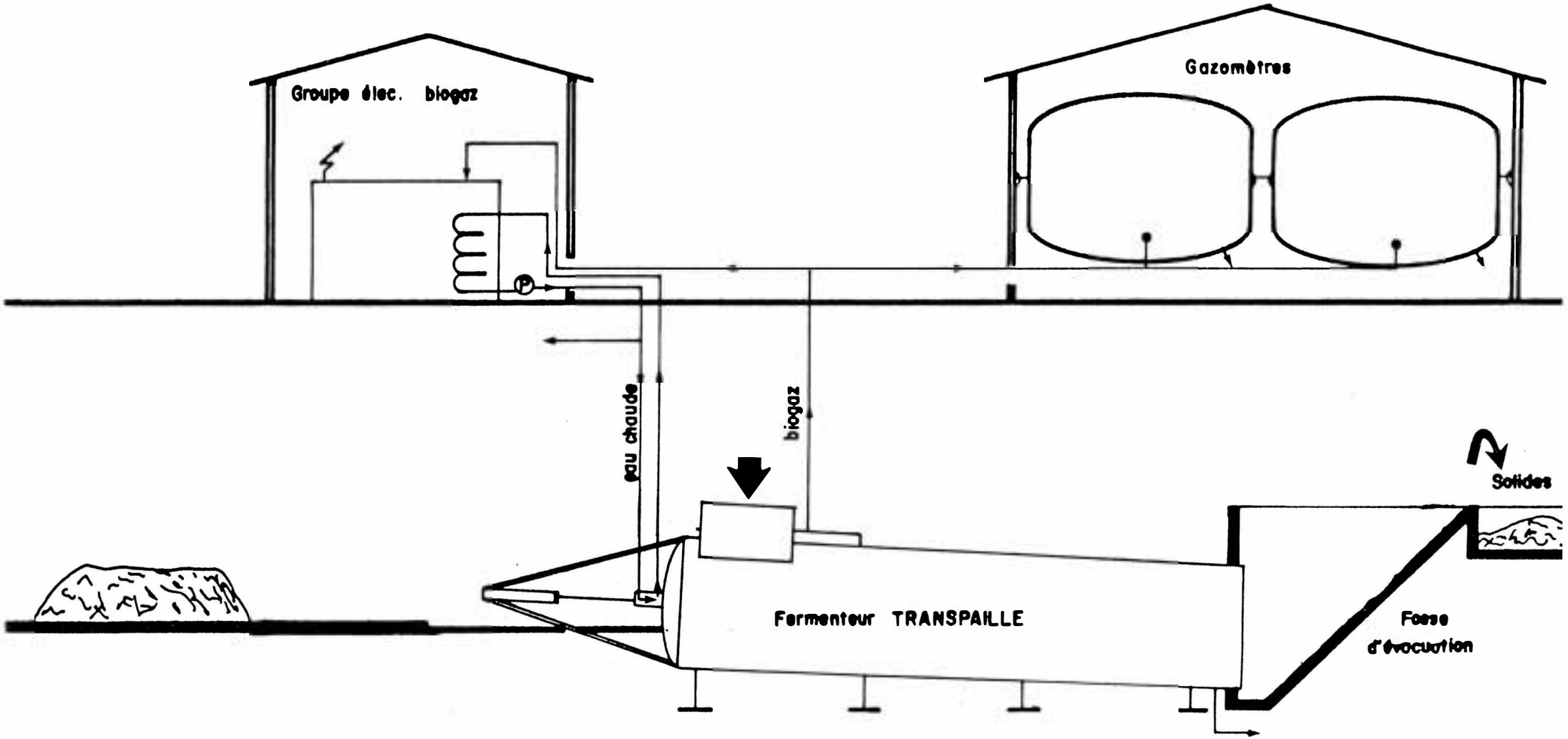
- FERMENTEUR TRANSPAILLE 20 PAYSANNAL IMPLANTATION SUR SITE ET ENCOMBREMENT





Procédé breveté IRAT	© CIRAD / IRAT 19[illegible] Tous droits de reproduction réservés tous pays	
ECHELLE 1: 10	TRANSPAILLE 20 PAYSANNAL	BLANC.J.L. GEBELIN.C.
A 9	CIRAD / IRAT / DEVE	DOCUMENT N° 1/9

ANNEXE 2.3



ANNEXE 2.4

SCHEMA DE PRINCIPE DES INSTALLATIONS DE FERMENTATION · MOTORISATION BIOGAZ

AGRIFORCE IRAT / SOMOIAA

Office d'Edition de la Recherche Scientifique
et Coopération Internationale

O.E.R.S.C.I.

REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE
EDITIONS - DUPLICATIONS

Parc Modulopolis H 1 Zone Euromédecine
Montpellier 67.52.20.05