

# pratique du biogaz dans le tiers - monde

chine , inde , haute - volta , sénégal

3 5 2 . 1

8 1 P R

352.1 82 PR }  
3874 }

par D. Thery,  
M. Nacro et E. Lagandré

**enda**  
dakar  
document 17

« Etudes et Recherches » et « Enda Document Tiers-Monde » sont des séries de publications éditées en supplément à la revue trimestrielle :

# **environnement**

## **africain** cahiers d'étude du milieu et d'aménagement du territoire

Publiée par ENDA, en liaison avec International African Institute (IAI), Londres, cette série comporte des communications à des séminaires et sessions de formation, des travaux d'études et de recherches ainsi que d'autres documents. Toute correspondance relative aux publications doit être adressée à :

ENDA, B.P. 3370 - Dakar, Sénégal. Tél. : 22.42.29 - 21.60.27. Téléx : 579 - Dakar

Responsables de la publication : Jacques BUGNICOURT, Liberty MHLANGA

Les opinions exprimées dans les publications d'ENDA n'engagent que les auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles des organisations concernées par ces publications ou celles de la rédaction.

f 21,64  
Walter

ENDA est à la fois une organisation non-gouvernementale (ONGI) « Environnement et Développement du Tiers-Monde » et un ensemble de programmes menés conjointement avec plusieurs organisations, dont : le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, Nairobi), le Département à la Coopération Technique pour le Développement (DCTD, New-York), la Coopération Technique Suisse (DDA, Berne), l'Organisation Suédoise pour le Développement International (SIDA, Stockholm), l'Institut Africain pour le Développement Economique et de Planification (IDEP, Dakar), l'Institut Autrichien pour la Coopération Internationale (IIZ, Vienne), et l'Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI, Ottawa).

ENDA, dont le siège est à Dakar, poursuit l'action du « Programme Formation pour l'Environnement ».

© Environnement Africain.

La reproduction d'extraits est autorisée sans formalité pour des utilisations non commerciales (enseignement et formation), à condition que les éditeurs reçoivent deux copies des passages reproduits.

**enda**

**IAI**

KD 3874

# pratique du biogaz dans le tiers - monde

chine , inde , haute - volta , sénégal

UNIVERSITY MICROFILMS INTERNATIONAL  
SERIALS ACQUISITION DEPARTMENT  
300 NORTH ZEEB RD  
ANN ARBOR MI 48106  
P.O. Box 100 48106 KD The Hague  
Tel: (070) 510311 ext 141/142

RF: 3874  
LC: 352.1 81PR

par D. THERY, M. NACRO et al, E. LAGANDRÉ

Document N° 17 - Aout 1981

## S O M M A I R E

- I. LE PROGRAMME BIOGAZ EN INDE ET EN CHINE, une technologie écologiquement appropriée confrontée à des milieux socio-économiques très contrastés, par Daniel THERY ..... 3
- II. CONDITIONS D'INTRODUCTION DU BIOGAZ EN MILIEU RURAL VOLTAIQUE, par M. NACRO, Ph. SIMONIS, B. LIDON, G. SOLA, R. YAMEOGO, M. SEDEGO, Ph. MORANT ..... 29
- III. CONTRIBUTION POTENTIELLE DE LA BIOMASSE A LA SOLUTION DE LA CRISE ENERGETIQUE DU TIERS MONDE, un exemple : l'insertion de la filière biogaz au Sahel, par Eric LAGANDRE ..... 42

*La publication du présent document s'inscrit dans le cadre du programme d'échange de technologies entre pays du Tiers Monde (RETECH II) mené conjointement par ENDA et par le Département de la Coopération Technique pour le Développement (D.C.T.D., N.U.-N.Y.).*

Edition de ce numéro : Relais Technologique, ENDA, sous la direction de Eric LAGANDRE et Pascal SAMBOU.

Frappe : Elisabeth DIOP

Dessins : Ashirina O. MAMORE et Toumani CAMARA

**A l'intention de ceux qui s'intéressent aux expériences de biogaz, ENDA a publié, en collaboration avec le GRET, un "Manuel du biogaz chinois" : document n° 4, 1981, 125 pages, en vente à l'ENDA, B.P. 3370, Dakar, Sénégal ou auprès du GRET, 34, rue Dumont-d'Urville, 75116 Paris, France.**

# LE PROGRAMME BIOGAZ EN INDE ET EN CHINE

UNE TECHNOLOGIE APPROPRIÉE CONFRONTÉE A DES MILIEUX SOCIO-ECONOMIQUES  
TRES CONTRASTES

par Daniel THERY (\*)

Les facteurs pré-existants ne sont pas suffisants pour expliquer l'écart.

## I. LE BIOGAZ EN CHINE

Le paradoxe des digesteurs familiaux en Chine.  
Harmonisation des intérêts individuels et collectifs.  
Effets externes positifs.  
Quelques données quantitatives sur les rendements et sur les flux en Chine.  
Le programme de biogaz nuance la vision de la stratégie chinoise actuelle  
du développement national.

## II. LE BIOGAZ EN INDE

Le programme biogaz est confronté à une dynamique sociale inégalitaire en  
Inde.  
Les goulots d'étranglements du programme élitaire de digesteurs individuels  
en Inde.  
Remarques sur l'évaluation du bénéfice sur l'engrais.  
Le bon sens et l'observation du cas de la Chine.  
Le modèle JANATA de type chinois et la relance du programme de digesteurs  
familiaux en Inde.  
Recourir au végétal pour déjouer le risque d'effet pervers?  
Effet social/écologique pervers du digesteur indien individuel.  
Propositions de recherches de données pour une modélisation du système de  
décision de l'investisseur privé.  
La question de l'étable et du système d'élevage.  
Collecte de données sur les flux physico-écologiques et socio-économiques  
relatifs aux énergies rurales provenant de la biomasse locale.  
Déterminer les dynamismes critiques.  
Pour des politiques énergétiques rurales diversifiées.

## CONCLUSION GENERALE

## NOTES

## BIBLIOGRAPHIE

\* C.I.R.E.D., Centre International de Recherches sur l'Environnement et le Déve-  
loppement, 54 boulevard Raspail, 75270 Paris, Cedex 06, France.

Comment expliquer qu'une technologie écologiquement aussi prometteuse pour les zones rurales densément peuplées d'Asie que l'est la transformation de déchets organiques en partie nocifs (latrines non efficaces) en avantages prioritaires (énergie, engrais et santé améliorée) ait été un succès dépassant toutes les prévisions en Chine et un très modeste programme en Inde ? (note 1) Tel est le principal objectif de ce bref article qui résume la très large littérature parue sur ce sujet.

Ce faisant, nous serons aussi amenés à soulever des paradoxes concernant aussi bien le cas chinois où l'option ultra-dominante pour des digesteurs familiaux ne laisse pas de surprendre, que le cas indien où le risque d'effet social (et par contrecoup, écologique) pervers fait presque se réjouir du fait que... le programme de digesteurs familiaux subventionnés ait été plutôt un échec jusqu'à présent. La recommandation concrète sur laquelle s'achève cet article concerne l'urgence de recherches en sciences humaines visant à définir les villages/régions à hauts risques d'effets social/écologique pervers pour lesquels sont requises de véritables politiques de développement énergétique intégrées.

#### LES FACTEURS PREEXISTANTS NE SONT PAS SUFFISANTS POUR EXPLIQUER L'ECART

Il suffit d'énumérer par exemple les principaux facteurs relatifs à l'élevage et aux latrines d'une part et au climat d'autre part pour constater que le cycle de la matière organique était historiquement plus totalement contrôlé en Chine et que le climat est plus chaud en Inde, c'est-à-dire que les facteurs favorables hérités, sont au départ partagés entre les deux contextes.

1. *La tradition séculaire* en Chine du recyclage de la matière organique animale et humaine vers l'agriculture qui s'oppose au tabou culturel/religieux à l'égard des déchets humains que l'on rencontre en Inde et le plus souvent ailleurs. Du point de vue de la santé, ces deux traditions sont dommageables car il n'y a pas neutralisation suffisante des germes pathogènes que l'on ait des latrines ou non (cas le plus fréquent en Inde).

2. La chance *géo-écologique* qui localise 70 % des porcs dans les zones les moins froides du Centre-Sud de la Chine bien que la plupart des autres pays, dont l'Inde, ont des températures plutôt plus favorables (sauf en zones de montagnes hautes comme au Népal).

3. La préexistence en Chine d'un élevage en *porcheries fixes* évite d'avoir à transporter/collecter les fumiers ou à construire des étables dont la nécessité risque d'être induite en Inde par le choix du digesteur dans des villages où les vaches sont peu parquées. En revanche, les 250 millions de porcs chinois de 1975 produisent beaucoup moins de matière digestible que les 260 millions de bovins indiens, même si à poids égal le lisier de porc produit environ 50 % de biogaz en plus.

4. L'absence d'*usages concurrents* des déjections animales en Chine diffère fondamentalement du cas indien où la bouse de vache a de nombreux usages secondaires et deux principaux usages absolument incompatibles : la combustion directe (environ un tiers en moyenne nationale) et l'engrais organique.

Il faut avoir cette différence initiale bien présente à l'esprit en analysant ses deux corollaires à priori :

a) les chinois qui recyclent déjà l'organique animal, trouveront a priori les avantages additionnels dans l'ordre suivant : énergie du biogaz, santé améliorée et éventuelle amélioration de la qualité agronomique de l'engrais ;

b) les indiens, en ne brûlant plus une partie de la bouse de vache, doivent a priori gagner d'abord en augmentant leur quantité d'engrais et aussi, secondairement, la quantité d'énergie, ainsi que la qualité d'engrais... et la santé améliorée (sauf si un tabou empêche de régler le péril fécal).

En conclusion, si les facteurs contextuels agro-écologiques ou historiques ne sont pas déterminants pour expliquer l'écart, il faut considérer les facteurs socio-économiques, qui sont à tendance plus inégalitaire en Inde et beaucoup moins inégalitaire en Chine (note 2).

## I - LE BIOGAZ EN CHINE

*Le paradoxe des digesteurs familiaux en Chine*

Quiconque lisant les auteurs indiens progressistes (REDDYET al, 1974), qui proposaient des unités collectives/villageoises de biogaz pour sauter par-dessus le risque d'inégalité sociale accrue, aura immédiatement pensé que le biogaz collectif avait certainement un bel avenir en Chine. Quelle ne fut pas notre surprise d'apprendre, dans les écrits de V. SMIL, dès 1976 que la quasi-totalité des unités étaient familiales et que ceci ne semblerait pas gêner les responsables politiques !

Après la surprise sur la quantité de digesteurs construits à partir de 1972 surtout au Setchuan plus peuplé, (70 % des 7 millions d'unités de 1978), c'est le caractère familial des digesteurs qui frappe le plus l'observateur.

Sans pouvoir préciser tous les éléments qui vont dans le sens de la grande taille (y-a-t-il des économies d'échelle à la construction du digesteur ?) ou de la petite taille (70 % des porcs sont dans l'élevage privé...), il faut reconnaître que probablement les deux options sont jouables techniquement et que la préférence a été massivement donnée à l'option individuelle, sans explications, comme s'il n'y avait là aucun paradoxe.

Ce fait nous amène à réévaluer notre perception du rôle du secteur domestique de petite production privée dans lequel le digesteur familial s'insère parfaitement en minimisant les transports/manutentions de la matière organique non neutralisée (avant digestion) à partir de la porcherie et des latrines. En aval du digesteur, les jardins familiaux (5 % des surfaces cultivées) sont sans doute les premiers bénéficiaires de l'engrais amélioré dont le surplus est, semble-t-il, vendu à la collectivité par les familles comme auparavant.

Outre l'auto-mobilisation du travail domestique pour faire bien fonctionner le digesteur, cette option privée a pour effet de supprimer toute barrière psychologique éventuelle que pourraient constituer des latrines collectives à une politique d'assainissement en zones rurales.

*Harmonisation des intérêts individuels et collectifs*

Il n'y aurait certes pas eu possibilité d'un programme d'une telle ampleur sans une totale coopération entre les instances publiques/collectives (équipe, brigade, commune, district, région) et les familles rurales. Les premières organisent le transfert du savoir en envoyant des stagiaires au Setchouan et en formant de très nombreux techniciens à temps plein ou à temps partiel pour assister à la construction, au fonctionnement et à l'entretien des digesteurs. Elles prennent en charge leur travail ainsi que celui des membres de la commune qui viennent assister le travail familial, si c'est nécessaire, pour la construction (40 à 70 jours-hommes selon les conditions). Les transports courts de matériaux par les camions de l'équipe de production ne sont pas payés par la famille à la différence des transports plus longs par véhicules de l'Etat.

Les multiples et incessants progrès techniques relatifs à la conception des cuves de digesteurs permis par l'ampleur du programme et par le principe de base de l'adéquation aux conditions locales font que le rapport coût-bénéfice

des cuves de la dernière génération s'améliore sans cesse (note 4). Ainsi, la technique de la cuve rectangulaire dite à réservoir flottant est-elle maintenant pratiquement abandonnée au profit de formes de coupole. La contrepartie de ce fort progrès technique réalisé au cours et non avant la diffusion massive est évidemment qu'une fraction très importante du parc existant est prématurément obsolète/sous-optimal surtout du point de vue de la production de gaz.

*Effets externes positifs.*

Parmi les *politiques contextuelles d'annonciation* qui ont contribué de près ou de loin au programme biogaz, mentionnons à des niveaux très différents :

- la politique de modération des inégalités économiques (capacité d'accès, aux porcs, au capital...) qui rend beaucoup de foyers capables d'accéder au digesteur. (Le manque de données nous interdit d'être plus précis sur les foyers/communes les moins favorisées);
- la politique de décentralisation industrielle qui place des mini-cimenteries dans la plupart des districts : leur part dans la production nationale passe de 40 % de 31MT en 1971 à 64 % de 56MT en 1977 (en soi un phénomène sans précédent mondial) ;
- la politique d'économie des matériaux nobles (type ciment Portland) qui conduit à améliorer l'art de la construction du digesteur à partir des matériaux locaux et/ou moins chers (chaux, pierres, pouzzolanes... etc...). La même démarche est illustrée par les équipements périphériques (brûleurs, etc...) (Islam, p. 54) ;
- la recherche et l'éducation sur l'hygiène et l'assainissement qui a rendu chaque commune consciente des progrès à réaliser dans ce domaine.

Une série de "*boucles positives*" sont esquissées par le texte du gouvernement chinois *en aval* du programme biogaz, "boucles" qui mériteraient un repérage et un chiffrage plus rigoureux (China, 1979). L'intérêt des indications grossières fournies est d'attirer l'attention sur la réallocation des déchets végétaux de récolte qui étaient le combustible de cuisson principal avant d'être libérés par le biogaz en partie (ou en totalité selon les cas à chiffrer avec plus de précision) pour l'alimentation du digesteur, directement ou via les porcs (en nombre accru ou encore pour l'industrie du papier. En fait, c'est à de véritables simulations de dynamiques auto-cumulatives et interdépendantes de croissance de l'agriculture, de l'aquaculture, de l'élevage des porcs... du biogaz voire des industries non alimentaires dépendantes de la biomasse cellulosique (papier) que nous invite l'expérience chinoise en tenant compte des taux de conversion et du déplacement progressif des goulots d'étranglement variables d'une localisation à l'autre.

*Quelques données quantitatives sur les rendements et sur les flux en Chine*

Aucun des textes dont nous disposons actuellement ne permet de répondre avec précision aux questions de conversion qui intéressent les scientifiques concernés par les démarches d'optimisation/technique. Sans pouvoir cerner de très près ces données, nous pensons intéressant de rappeler certaines orientations du programme chinois qui ne sont pas sans intérêt pour les difficiles essais d'évaluation menés ailleurs.

La principale observation concerne le rôle dominant que l'objectif d'amélioration des *qualités de l'engrais organique* joue dans le programme chinois.

Ce fait est d'abord attesté par la description de M.N. ISLAM (1979) : ce sont les rythmes agricoles d'utilisation des boues post-digestion qui déterminent les dates agronomiquement optimales (automne et printemps) choisies pour les retirer une ou deux fois par an de la cuve (par différence avec le surnageant liquide, retiré régulièrement, puisque la cuve chinoise est mixte ou semi-continue). Comme cette vidange bi-annuelle prend de l'ordre de un à deux mois de travail familial, on aurait pu placer cette interruption en hiver quand le rendement de conversion en biogaz est freiné par les basses températures, si l'objectif énergie-combustible l'avait emporté sur l'objectif engrais organique.

Parmi les notations annexes de M.N. ISLAM, observons :

- le recyclage du liquide effluent est opéré pour nettoyer la porcherie et ré-alimenter le digesteur. Ce recyclage allège le besoin net en eau donc en travail d'approvisionnement régulier ce qui, en zone semi-aride, est très appréciable (ISLAM, p. 15-16).
- les déchets agricoles, préfermentés en compostage en mélange avec les déchets de porcherie, sont essentiels à l'apport des 1,25 m<sup>3</sup> de biogaz requis par jour (0,25 m<sup>3</sup> par personne) même si l'on calcule généreusement (i.e. sur normes occidentales) que les cinq personnes "produisent" 0,14 m<sup>3</sup> par jour et les deux porcs "fournissent" 0,48 m<sup>3</sup> par jour (ISLAM, p. 29) (note 5)

M.N. ISLAM insiste sur cette spécificité chinoise qui donne un rôle quantitatif dominant aux déchets végétaux agricoles, fournis par les champs collectifs, hachés en morceaux courts et compostés partiellement (10 jours en été et 30 en hiver) avec les fumiers de porcherie. Il resterait à comprendre les obstacles à la transposition de cette pratique dans d'autres contextes tels que l'Inde où la quantité de bouse de vache disponible est un des goulots d'étranglement majeurs.

*Le programme de biogaz nuance la vision de la stratégie chinoise actuelle du développement national*

Ainsi, plusieurs des interlocuteurs chinois que nous avons pu interroger en 1979 et 1980 nous ont affirmé que la quantité de porcs élevés a brusquement décollé entre 1975 et 1977 grâce au biogaz et grâce... au départ de la "bande des quatre" qui n'aurait pas vu d'un très bon oeil un trop grand dynamisme de cette activité à dominante privée (note 3).

En l'absence de travail salarié pour compléter le travail familial, les élevages privés devraient *plafonner*, après avoir constitué le moyen sans doute le plus économique de croissance de la production. Au plan local, le succès massif, rapide et continu du biogaz, témoigne à notre avis d'une maturité de la stratégie du développement décentralisé à l'opposé des chaos qui ont suivi le "Grand Bond en Avant" de 1958.

Dans la perspective historique du développement décentralisé lancé par Mao-Tsé-Tung en 1958, ce succès suggère de nuancer l'impression d'un retournement total de la politique économique globale après la mort de Mao, en gros depuis 1975. Nous suggérons de considérer une analyse en termes de ré-

équilibrage de la "politique des deux jambes" plutôt qu'en termes de stratégies antagonistes avant et après Mao.

Sans sauver des projets "irréalistes" comme les mini-hauts-fourneaux, la stratégie décentralisée a finalement porté de nombreux fruits (petites mines de charbon pour 29 % de la production nationale en 1974 ; minihydraulique dans 87.000 unités sur 70 % des communes produisant 30 % de l'hydroélectricité nationale ; minicimenteries...) et finalement le biogaz annoncé dès 1958 et maîtrisé seulement à partir de 1972. Par son rôle charnière - à l'intersection des besoins fondamentaux de nourriture, d'énergie et de santé pour s'en tenir aux effets directs - et par sa rapidité d'extension, le programme chinois de biogaz est un véritable couronnement symphonique d'un ensemble de politiques contextuelles (c'est-à-dire des politiques non explicitement conçues pour le biogaz mais de fait, plus ou moins décisives pour son succès), ce qui nous amène à parler d'une *phase de maturité du développement décentralisé* où des programmes grandioses se réalisent sans difficulté apparente.

Au plan national, le retour du balancier vers la jambe-grande industrie/grande science /transferts technologiques importés - s'imposait probablement pour compenser les excès antérieurs dans le sens inverse. Ce rééquilibrage n'a pas empêché que, depuis 1975, le programme biogaz ait connu sa phase d'accélération nationale.

Au total donc, la Chine continuera probablement pendant longtemps à se développer sur ses deux jambes dont l'une, la décentralisée, semble avoir acquis sa dynamique propre si l'on en juge par ce programme biogaz qui dépasse toutes les prévisions par sa rapidité, son extension et son organisation et dont l'autre dépend d'autant plus du transfert rapide de technologies extérieures qu'on l'a négligée pendant trop longtemps.

La vision de la politique scientifique et technique chinoise que nous proposons ici est donc celle du balancier qui procède par excès dans un sens puis dans l'autre pour trouver une voie moyenne certainement sous-optimale, au moins en termes de rythme d'avancement global par rapport à ce que permettrait une combinatoire pure, c'est-à-dire débarrassée du temps historique réel où s'affrontent les forces sociales.

Une telle combinatoire techniciste harmoniserait les contributions productives de systèmes techniques, économiques et sociaux très différenciés en procédant à des arbitrages cohérents à l'issue d'évaluations technologiques multidimensionnelles qui, à chaque moment, relie le système technique requis au système sociétal auquel il doit être le plus approprié possible. Il est clair que par rapport à un tel idéal techniciste abstrait, aucun pays n'a historiquement évité certains excès, celui de la Chine ayant consisté à démanteler le système des universités et des infrastructures de R + D chargées d'importer de la technologie occidentale après la rupture forcée avec l'URSS. La question de savoir si un tel démantèlement - destiné, selon le discours explicite du pouvoir d'alors, à briser le pouvoir du technocrate (du technicien et du scientifique de type mandarinal) face au pouvoir du Parti était un prix nécessaire à payer pour encourager le développement décentralisé et la créativité locale - est une question à soumettre aux politologues dans le cadre d'analyses qui sortent beaucoup trop de notre propos et même de nos capacités d'analyse de l'histoire chinoise réelle dans toute sa complexité.

## II - LE BIOGAZ EN INDE

*Le programme de biogaz est confronté à une dynamique sociale inégalitaire, en Inde*

Il ne saurait être surprenant pour un analyste un peu attentif que les contraintes dominantes auxquelles sont confrontées les innovations technologiques plus appropriées, soient d'ordre social dans un pays au "code génétique inégalitaire" selon l'expression parlante de A.K.N. REDDY (1976).

Le programme biogaz est en effet confronté à deux écueils contradictoires que l'on peut ainsi évoquer par les deux questions suivantes :

- Comment étendre l'accès du biogaz à des couches sociales plus larges que les 5% de ménages environ qui sont en théorie capables de franchir les deux goulots d'étranglement principaux du capital initial et du seuil de 3 à 5 vaches en étable ? En pratique, les réalisations avant 1979 ont été infiniment plus faibles que ce "marché potentiel", ce qui nous amènera à évoquer d'autres obstacles non négligeables au programme gouvernemental centré sur les digesteurs familiaux.

- Si la relance de 1979/80 se réalise à grand coût en investissements privés et en subventions publiques pour étendre le bénéfice du biogaz à des couches rurales aisées un peu plus larges qu'auparavant, comment éviter une capture plus systématique de la bouse de leurs troupeaux, en particulier par des étables, ce qui risque dans certains lieux de raréfier la bouse accessible aux pauvres qui la collectent sur le domaine public. C'est ce que nous appellerons le risque d'effet social/écologique pervers dont la prévention appelle à notre avis des études interdisciplinaires dont nous esquisserons la nature.

*Les goulots d'étranglement du programme élitaire de digesteurs individuels en Inde*

Le modèle de digesteur familial du Khadi and Village Industries Commission ou "modèle conventionnel KVIC" a été le principal diffusé de 1962 à 1973 et surtout de 1974 à 1980. Comme tous les modèles mis au point par des laboratoires indiens avant 1973, il se caractérise par deux problèmes ou goulots d'étranglement qui font obstacle à sa diffusion :

a) le coût en capital de l'investissement initial - 2.500 à 3.500 Rs - est très élevé au regard des revenus, même si l'on offre une subvention de 25 % et un prêt bonifié pour le reste, dans le cadre d'une politique gouvernementale très généreuse envers les riches, seuls candidats potentiels (note 6)

b) le minimum de 3 à 5 vaches (et plus si une partie seulement des bouses est récupérée par le propriétaire), requis pour alimenter le digesteur en hiver pour obtenir les 2 à 3 m<sup>3</sup> de biogaz requis par une famille, est également un seuil-plancher élevé.

En fait, par delà ces deux obstacles micro-technico-économiques qui limitent à 5 ou 12 % des ménages (estimation très variable selon les auteurs) le marché potentiel du biogaz familial en Inde, il faut tenter d'expliquer pourquoi seule une infime portion de ce marché a été couverte jusqu'à 1979. Selon M.N. ISLAM, le total cumulé de 70.000 unités de 1978 représente 0,60 % des ménages (ISLAM, p. 67), (soit un centième d'un potentiel de 6 %) et

selon M.A. SATHIANATHAN, le district de Wardha, en pointe dans ce domaine, a un taux de couverture de 0,25 % soit un vingtième du marché potentiel de 5 % des ménages.

Le bas niveau de diffusion, malgré l'effort considérable des finances publiques, a appelé en 1975 un travail d'évaluation économique, mené par l'Indian Council of Agricultural Research (ICAR).

Le taux empirique de non-fonctionnement des unités recensées étant très incertain mais probablement élevé, l'ICAR a retenu une production de biogaz égale à 50 % ou à 67 % du potentiel de capacité théorique. Par contre, ce prudent réalisme a été plus que compensé par l'évaluation de la valeur du biogaz au coût monétaire réel du kérosène et surtout par une hypothèse très optimiste sur la valeur de l'engrais amélioré dérivé du digesteur familial.

*Remarques sur l'évaluation du bénéfice sur l'engrais*

Ainsi, selon ICAR, les 18,25 tonnes de bouse produites par cinq vaches donnent par la voie traditionnelle, 50 % de leur poids en fumier de ferme, d'une valeur - déterminée par équivalence théorique avec NPK de synthèse - de 365 Rs alors que par la voie du digesteur on pourrait obtenir 73 % de leur poids et une richesse accrue en azote N (1,6 % au lieu de 1 %) soit au total une valeur de 666 Rs de l'engrais organique. Cet accroissement de valeur de 82 % via le digesteur est contesté par une autre (BHATIA, 1977) évaluation menée par R. BATHIA où il est exposé que la voie du digesteur anaérobie doit être comparée à une autre voie de modernisation - le compostage scientifique - et non au seul statu quo que représente le fumier de ferme traditionnel (BHATIA, 1977, French).

C'est pour l'essentiel à partir de cette divergence que les deux études aboutissent à des conclusions très contradictoires - l'une (ICAR) calculant des ratios bénéfice - coût privés très favorables, (très supérieurs à l'unité), pour de larges spectres de variation des paramètres clés, et l'autre (R. BHATIA) trouvant des résultats inverses et rejetant le programme public de promotion des digesteurs à biogaz avec engrais amélioré au profit d'une voie qu'il juge plus économique.

Le scénario de remplacement de R. BHATIA comporte à la fois a) une politique nationale de développement massif d'un système subventionné de production/transformation/distribution de coke doux allant des mines de charbon jusqu'aux cuisines villageoises pour éviter la combustion domestique de la bouse de vache et des déchets agricoles et b) une politique locale de recyclage de ces derniers par compostage scientifique.

Aussi parfaitement fondée que soit la mise en garde de R. BHATIA contre une réduction des options au seul choix entre biogaz ou statu quo, son scénario ne nous paraît guère réaliste dans ses deux propositions :

a) Le système visant à fournir l'essentiel du combustible rural à partir des mines de charbon nationales va contre le sens de l'histoire qui favorise la décentralisation. On rappellera aussi la crise de stagnation grave des charbonnages indiens incapables de répondre ne serait-ce qu'à la demande d'électricité dans la période récente (note 7). On voit mal comment le rapport des forces politiques pourrait placer le programme supposé par R. BHATIA en tête des priorités pour le charbon, à supposer que les coûts qu'il avance soient réalistes.

b) Mais nous voulons nous arrêter ici surtout sur le type de raisonnement qui est fait dans les évaluations comparées de l'engrais organique sous les trois formes :

- a. fumier ou compostage traditionnel (farm-yard manure FYM)
- b. compostage scientifique (aérobie) retenu comme solution optimale par R. BHATIA
- c. engrais amélioré post-digesteur (voie anaérobie) seule voie de modernisation envisagée par ICAR.

Faisant appel à d'intéressantes références de laboratoire, R. BHATIA conteste qu'il n'y ait que la voie du digesteur pour maximiser la valeur de l'engrais organique recyclé. Avec raison, il signale que l'avantage apparent de c. sur b. est probablement dû à un effet-retard de b. explicable par la domination de la forme plus immédiatement assimilable de l'azote dans c.

Malheureusement, R. BHATIA semble oublier que, paradoxalement, une plus grande rigueur dans le recours aux données de laboratoire... peut conduire à recommander une voie pratique sous-optimale pour le terrain de l'exploitation agricole concrète.

*Une observation de bon sens inspirée par le cas de la Chine*

En effet, sans prendre pour argent comptant les hypothèses très optimistes de l'ICAR et sans nier la nécessité de mieux mesurer les paramètres techniques d'évaluation des voies alternatives, nous suggérons aux experts de se demander pourquoi les chinois, pourtant praticiens des plus expérimentés en matière de compostage aérobie (SMIL, 1979 ; FAO, 1977), ont trouvé un avantage agronomique considérable - de l'ordre de 10 à 15 % d'augmentation de rendements des récoltes (note 8) - à passer à la fermentation anaérobie (CHINA, 1979).

L'hypothèse qui s'impose nous semble être la suivante : quelle que soient les performances relatives des voies b. et c. en laboratoire, *pratiquement sur le terrain*, les paysans chinois vont, par la voie anaérobie, sensiblement plus loin que par la voie aérobie qui, chez eux, se situe sans doute entre les positions a. et b. en Inde. En d'autres termes, l'amélioration serait beaucoup plus sûre ou automatique par c. que par b. même si les maxima pratiques de laboratoire ne sont pas très différents pour des raisons que les calculs et les raisonnements théoriques confirment.

Ajoutons que cette référence aux résultats effectifs, *obtenus sur le champ* a également l'avantage d'intégrer tous les facteurs agronomiques (y compris l'humus) au lieu de procéder scientifiquement par voie analytique en calculant l'accroissement de N. de P. et de K. Cette dernière voie procède par réductionnisme, en s'en tenant aux éléments simples du calcul monétaire pour l'économiste ou du calcul calorique pour l'écologiste. Au nom de la comparabilité abstraite, on isole N, P, K, et on oublie l'humus non reproductible en usine et pratiquement mal modélisable hors d'un agro-système spécifique. De même on laisse hors du calcul l'amélioration sur la santé - effet social externe certes considérable mais que l'on ne sait guère évaluer en termes monétaires.

L'expert évaluateur, poussé par un légitime souci de ne pas réduire a priori les options envisageables mais incapable de passer des données analytiques de laboratoire aux données synthétiques du terrain, ne peut faire a priori (ex ante) la différence entre deux scénarios dont un seul a des chances pratiques de diffusion, même si ce n'est pas celui qui a la plus grande rentabilité... théorique.

Malgré tout l'effort national chinois mené depuis plusieurs décades pour améliorer l'engrais organique par les voies du compostage aérobique et pour améliorer la neutralisation des germes pathogènes des latrines et des porcheries... c'est à l'occasion du digesteur anaérobique que *pratiquement* un pas supplémentaire majeur a pu être effectué. Nous sommes pour notre part convaincus qu'aucun consensus des calculs théoriques d'évaluation menés a priori n'aurait pu s'imposer en faveur du biogaz en Chine a un degré compatible avec le "vote" massif du monde rural chinois réel. Tout ceci ne vise nullement à démontrer l'inutilité des approches analytiques d'évaluation technique, économique et sociale mais seulement leur caractère partiel et, du fait de l'incertitude sur les données du terrain, leur grande vulnérabilité face aux démarches biaisées en faveur d'une conclusion ou de son contraire, selon le choix de l'analyste.

*Le modèle JANATA de type chinois et la relance possible du programme de digesteurs familiaux en Inde*

Notre critique précédente du raisonnement de R. BHATIA ne nous empêche pas de considérer que ses réserves sur la rentabilité privée ou sociale du modèle KVIC de digesteur sont probablement beaucoup plus justifiées que l'euphorie des calculs officiels de contradictoires, nous préférons énumérer quelques raisons pratiques additionnelles qui ont fait obstacles en Inde à la conquête par le biogaz même de son seul marché potentiel élitaire.

L'ensemble le plus difficile d'obstacles provient de la dispersion même des unités qui n'a pas permis de mettre en place un encadrement technique rapproché comme en Chine où la décision d'introduire le biogaz à l'échelle d'une commune de 72.000 membres pouvait s'appuyer sur la formation de 70 techniciens à temps plein et de 300 à temps partiel (Van BUREN).

Cet appui technique est important en Inde pour l'entretien de routine (comme pour la peinture annuelle de la cloche métallique du digesteur qui nécessite un matériel de levage non villageois) ou exceptionnel, mais aussi pour un usage sinon optimal au moins "moyen" de l'engrais amélioré souvent mal connu en Inde. Même si le progrès potentiel donc le stimulant du recyclage organique, l'effort d'encadrement pour le faire connaître et pour accompagner sa réalisation effective devrait aussi être nécessairement plus intense. Selon les modalités concrètes du recyclage de l'organique, la valeur économique de l'impact agronomique peut varier dans des proportions considérables. Au total nous suggérons qu'un effet de seuil dans la densité des digesteurs a joué très en faveur des brigades chinoises et très en défaveur des villageois indiens.

Un programme spécial de formation de techniciens biogaz a été engagé par le KVIC en 1979 et complété par leur intéressement financier à la bonne marche de chaque digesteur construit sous leur responsabilité (AGARWAL). Ce premier pas en Inde ne saurait bien sûr remplacer à soi-seul l'effet de masse dont bénéficie la Chine sans parler de l'avance considérable au départ en matière de recyclage des matières organiques (FAO, 1978 ; SMIL, 1979).

*La contrainte spatiale* : Indépendamment des incertitudes de rentabilité financière renforcées par une probable sous-optimalité dans les performances techniques concrètes à leur portée, les paysans riches ou aisés qui ont appris à connaître le plan gouvernemental en faveur du biogaz, ont souvent été arrêtés par la contrainte spatiale qui ne leur permettait pas d'insérer un digesteur occupant au moins 4 m<sup>2</sup> de surface au sol près de la cuisine (sans compter l'étable, une latrine et les fosses à compost) même s'ils admettent que le processus ne produira ni mauvaises odeurs ni danger (d'explosion) (DANDAKAR, p. 890).

Pour les paysans dont l'habitat est inséré dans des villages ou hameaux denses, le digesteur à la chinoise présente l'avantage décisif d'être entièrement enterré au point que l'étable peut être construite au-dessus.

*Le modèle JANATA ("populaire") n° 1* : C'est une des raisons de l'intérêt du PRAD de Lüchnow pour les cuves à la chinoise expérimentées à Ajitmal (U.P.) depuis avril 1977. Mais le principal avantage des cuves dites JANATA ("populaires") est la construction intégrale in situ rendue possible par la suppression de la cloche gazométrique flottante du modèle indien conventionnel remplacée par un dôme fixe en maçonnerie. Il s'ensuit une économie en capital initial de 40 à 50 % par rapport au modèle KVIC à cloche en ferrociment également diffusé depuis 1978-79 (PRAD, 1979, a).

Bien qu'il soit encore trop tôt pour évaluer si les résultats très encourageants des projets pilotes menés en 1979 par le PRAD avec le modèle JANATA n° 1 seront confirmés sur le terrain de la diffusion de masse, le principal enjeu du transfert du modèle chinois en Inde réside ailleurs.

*Recourir au végétal pour déjouer le risque d'effet social pervers ?*

On sait qu'en Chine le digesteur à dôme fixe est alimenté en semi-continu par un mélange préfermenté des déchets végétaux et de porcherie, ce qui implique une vidange bi-annuelle du végétal digéré. Du fait de l'étroitesse des conduites d'entrée et de sortie ainsi que du poids de la cloche amovible, les modèles indiens conventionnels n'autorisent pas ce recours au végétal même finement haché, ce qui constitue un des deux goulots d'étranglement fondamentaux à leur diffusion.

Même si le modèle JANATA, transposé dans un milieu socio-technico-économique beaucoup moins favorable que son milieu d'origine en Chine, peut néanmoins desserrer sensiblement la contrainte spatiale et le goulot d'étranglement du coût en capital, il restera élitaire voire même socialement pervers s'il permet une relance très sensible du programme de digesteurs familiaux alimentés exclusivement à la bouse de vache.

Sans que la possibilité technique du recours partiel au substrat végétal soit une garantie absolue contre la raréfaction de la bouse de vache accessible aux pauvres à la suite de l'introduction de digesteurs familiaux chez les villageois aisés, elle devrait constituer une qualité a priori majeure du digesteur chinois pour éviter ce type d'effet pervers en Inde.

C'est pourquoi nous avouons ne pas comprendre pourquoi cette approche du mélange des substrats animal et végétal n'a pas été retenue d'emblée pour les programmes pilotes du PRAD. Tout au plus les rapports du PRAD mentionnent-ils un programme de recherche sur l'utilisation en continu du modèle JANATA pour un mélange bouse de vache + jacinthe d'eau (note 9).

*Effet social/écologique pervers du digesteur indien individuel*

Depuis le remarquable tour d'horizon sur la question du biogaz en Inde, publié en 1974 par les chercheurs de l'ASTRA de l'IIT de Bangalore, il avait été mis en évidence à la fois :

a) que cette innovation a un potentiel considérable du fait qu'elle croise les avantages du biogaz, de l'engrais organique et de l'assainissement plus un ensemble d'avantages qui en découlent ;

b) que ces avantages énergétiques et agronomiques ne pouvaient profiter qu'à une minorité si l'on s'en tenait à des digesteurs individuels ;

c) que les avantages sociaux externes - essentiellement écologiques - ne seraient sensibles que si la quasi-totalité des matières organiques riches en NPK et des déchets de latrines étaient recyclées efficacement et sans danger vers l'agriculture ;

d) ce qui impliquait des unités collectives de biogaz ;

e) faute desquelles on risquait d'aggraver les difficultés actuelles d'approvisionnement des pauvres en bouse de vache et, par voie de conséquence d'augmenter leur pression sur les autres combustibles locaux (bois, déchets végétaux...).

Par analogie avec d'autres domaines, nous proposons d'appeler "effet pervers" un effet contraire aux objectifs explicites d'une politique donnée.

La littérature officielle ne pouvait qu'induire dans l'esprit des lecteurs que les conclusions implicites suivantes :

a) l'essentiel des avantages privés seront certes concentrés chez les riches ruraux ;

b) mais les avantages écologiques rejailliront sur tous en réservant les ressources en bois et déchets agricoles économisées par les riches dotés d'un digesteur pour ceux qui n'en auront pas ;

c) ce qui fait qu'au total, le programme doit bénéficier globalement bien qu'inégalement à tout le monde rural c'est-à-dire au monde indien globalement le plus pauvre.

En fait, il n'est plus possible d'occulter le risque d'un effet social pervers intra-rural beaucoup plus grave que la polarisation des avantages du biogaz sur les plus aisés. En effet, c'est de baisse de leur niveau absolu et non pas seulement relatif de bien-être dont risquent de souffrir dans certains lieux les ruraux qui n'auront pas la possibilité d'accéder au biogaz.

Au total, c'est bien d'effet social/écologique pervers et pas seulement d'un aspect négatif - le caractère social élitaire - qu'il faut parler.

Tant que des études n'auront pas démontré à la fois par les données relevées sur le terrain et par des modélisations qui les prolongent et permettent de réaliser des simulations, l'ampleur de ce risque d'effet pervers, on pourra

comme l'a fait l'ICAR, se contenter de mentionner pour mémoire ce risque avant d'expliquer qu'on étudie des unités collectives de village pour y faire face.

Mais quand la relance du programme d'unités familiales aura acquis sa vitesse de croisière, il y aura eu autant d'effets pervers localement mis en action pour autant que la conception de ces digesteurs familiaux ne permettra pas le recours à de la matière végétale ce qui nous semble être le cas non seulement pour les modèles conventionnels à cuve flottante mais aussi pour le modèle JANATA n°1 (à défaut d'un trou d'homme au sommet du dôme).

*Proposition de recherche de données pour une modélisation du système de décision de l'investisseur privé*

En fait, la question décisive à se poser pour prévoir les impacts de l'adoption d'un digesteur familial sur l'économie domestique et villageoise consiste à se demander si cette nouvelle technologie induit une augmentation du taux de collecte de la bouse des vaches possédées par chaque investisseur potentiel quelle que soit l'allocation entre cuisson et engrais de la bouse qu'il avait l'habitude de récupérer antérieurement.

Compte tenu du corollaire d'une telle augmentation du taux de collecte par les possesseurs de troupeaux - à savoir la raréfaction de la bouse abandonnée sur l'espace communautaire à la disposition de ceux qui en font la collecte, la mise en forme, le séchage et l'autoconsommation et/ou la vente - il ne nous paraît pas pensable que la décision privée d'investissement soit prise par les intéressés sans qu'ils tiennent compte du système villageois d'ensemble à subdiviser au moins en les investisseurs potentiels, les collecteurs-revendeurs de bouse combustible et leurs clients.

Parmi les investisseurs potentiels, on distinguera les groupes suivants :

- les ruraux qui, avant la décision, récupèrent déjà au moins 50 kg de bouse fraîche par jour, c'est-à-dire le minimum requis pour produire 2 m<sup>3</sup> de biogaz en hiver et rentabiliser un digesteur s'il est bien conduit. Qu'ils aient 5 bovins adultes déjà en stabulation ou un plus grand nombre avec divagation temporaire sur les espaces communaux, ne change pas le fait que ces ruraux n'ont pas à augmenter nécessairement leur taux de collecte, sauf à vouloir disposer de plus de biogaz que les 50 cft de cuisson (10 cft par personne) et les 20 cft requis par 4 heures d'éclairage par une lampe (x) ;
- les ruraux qui possèdent le troupeau suffisant pour produire le minimum requis de 50 kg mais qui n'en récupèrent qu'une partie. Nous admettons que si le programme biogaz est bien relancé, un grand nombre de ces ruraux pourront être tentés d'accéder à la technologie du digesteur qui leur permettrait une bien meilleure valorisation du déchet organique (note 10).

*la question de l'étable et du système d'élevage* : Pour ce dernier groupe, la question pratique décisive, préalable à toute décision d'installer ou non un digesteur, est de savoir si le changement de système d'élevage est pra-

(x) Les cft - cubic feet - cu pieds-cube sont la mesure anglaise usuelle : il y a 35,315 cft par m<sup>3</sup>.

licable d'abord et souhaité ensuite. On peut distinguer entre ceux qui ont déjà une étable et qui devraient seulement changer leur mode de conduite de l'élevage, c'est-à-dire le mode d'alimentation des bovins pour augmenter le temps de stabulation au prorata de la bouse requise et ceux qui n'ont pas encore d'étable et qui doivent envisager une véritable révolution de leur exploitation comportant l'investissement de l'étable et pas seulement du digesteur, la réallocation du temps de travail transféré de la garde du troupeau divagant à la collecte du fourrage à transporter à l'étable et l'accès au fourrage.

Sauf erreur de notre part, il nous semble douteux que le seul digesteur soit une cause suffisante pour induire une telle révolution en dehors d'une intensification de l'exploitation bovine vers la production laitière.

Au moment où les politiques de l'élevage sont discutées sur le plan national aussi bien pour la production de viande et/ou de lait que pour le transport par char à bœufs (note 11), nous suggérons ici que les évaluations socio-économiques de la décision d'investir dans un digesteur ont été abusivement limitées à une analyse des exploitations en particulier en relation détaillée avec les changements corrélatifs dans les méthodes de conduite du bétail et dans l'ensemble de l'économie villageoise.

*Collecte de données sur les flux physico/écologiques et socio-économiques relatifs aux énergies rurales provenant de la biomasse locale*

Il n'y a pas de modèle de simulation possible des interactions entre politiques de l'énergie, du développement socio-économique et de la gestion écologique des ressources naturelles villageoises sans une connaissance détaillée de la circulation des divers combustibles locaux - bouse de vache séchée, résidus de récolte, bois de feu...

Cette circulation doit être analysée selon deux approches principales : l'approche physico-écologique et l'approche socio-économique - dont le croisement suggère un ensemble de questions pour des monographies villageoises détaillées.

*Qui s'approprie combien de bouse de vache produite où par un bétail appartenant à qui et alimenté comment et localisé où au cours des jours des diverses saisons ? Quelles quantités de bouse de vache sont collectées par qui et où - sur le domaine public ou dans des étables privée ou coopératives. Quelles quantités sont séchées puis brûlées comme combustible de cuisson auto-produit ou acheté ? Combien de travail fourni par qui est engagé dans cette circulation de la bouse-combustible (collecte, séchage, stockage, distribution) et quelles en sont les rémunérations ?*

Quelles sont les évolutions dans le temps entre saisons et à long terme des prix, des quantités et de la répartition de la bouse de vache dans ses divers usages (combustible, engrais organique, habitat, divers...) ?

Quel est l'impact écologique sur le taux d'humus dans le sol cultivé ou pâturé ? L'impact sur la fertilité des sols cultivés (érosion ; rétention en eau ; rétention des engrais chimiques...) ?

L'analyse physique et socio-économique des autres combustibles - bois de feu et déchets de récolte est également essentielle pour compléter le modèle de

la circulation actuelle des combustibles locaux et de leurs substituts physiques possibles.

Au terme de la collecte des données, on disposerait de la structure de la consommation d'énergie répartie par sources d'énergie locales et importées et par groupes socio-économiques ainsi que des contreparties de cette circulation en termes économiques et sociaux (travail ; revenus ; conditions d'accès aux ressources naturelles appropriables...) et écologiques.

*Déterminer les dynamiques critiques*

La modélisation du système énergétique villageois pour déterminer les villages à haut niveau ou à haut risque d'effet additionnel social/écologique pervers doit résulter de la combinaison entre la modélisation du système de décision des investisseurs privés dans chaque village et la dynamique d'ensemble du village éventuellement modifiée par ces décisions.

Une telle approche locale et concrète ne peut manquer de dévoiler des situations extrêmement diversifiées.

D'un côté, on rencontre les situations heureusement fort nombreuses où le bois est encore suffisamment abondant pour qu'il couvre l'essentiel des besoins en particulier en énergie pour la cuisson domestique. Tel semble être le cas à Puna où une dynamique écologique très négative ne semble pas avoir été diagnostiquée par l'étude de l'ASTRA, ce qui n'empêche bien sûr pas toute une série d'avantages possibles de politiques de modernisation du système énergétique villageois proposées par l'ASTRA (HAYES, REDDY, 1979, a et b).

Il y a aussi des villages où le ratio tête de bétail-habitant est tellement supérieur à la moyenne nationale de 0,5 qu'un système collectif de digesteur (s) villageois peut être expérimenté sans être confronté à la gageure, intenable en situation moyenne, sans utopie sociale irréaliste de couvrir les besoins de cuisson de tous même en hiver. Ainsi le ratio de 1 et plus dans le village d'Etawali (U.P.) où le PRAD réalise une unité communautaire, limite le débat à la question de la rentabilité financière (BHATIA, 1979 ; PRAD, 1979, c) alors que le ratio moyen de 0,5 fait prévoir un enlèvement dans la division sociale contrairement à ce que laissaient entendre les utopies techniques (note 12) et les utopies sociales (note 13), telles que des cuisines communautaires.

D'un autre côté, on trouve un ensemble diversifié de situations écologiques plus critiques auxquelles nous proposons de nous intéresser plus particulièrement.

Schématiquement, les dynamiques écologiques les plus critiques concernent les zones où la déforestation est si avancée que l'essentiel de la cuisson dépend des bouses de vache et des déchets de récolte. Il faut bien sûr distinguer ici encore des cas très différents.

Il y a des villages péri-urbains assez riches où le kérosène et les engrais industriels fournissent surtout aux riches une échappatoire et où les possibilités offertes par une révolution de l'élevage combinant le digesteur individuel et la production laitière en étable peuvent déclencher un processus de polarisation sociale accrue par le type d'effet social/écologique pervers que nous avons signalé.

Il y a enfin les villages où la situation la plus critique est déjà présente avant même l'introduction éventuelle de quelques digesteurs familiaux. Nous pensons ici aux villages pauvres de la vallée indo-gangétique au Bihar par exemple, c'est-à-dire à des villages où la pression démographique des hommes sur des ressources en terre et en eau limitées s'est déjà traduite par une dégradation écologique et une dégradation sociale en interrelations cumulatives. La rareté physique globale a toutes les chances d'avoir accentué la polarisation sociale, ce qui, à son tour, renforce l'aggression écologique par les pauvres, par exemple incapables de se procurer du kérosène et des engrais industriels pour préserver la matière organique du sol. C'est dans ce type de situation que le recyclage optimal du maximum de matière organique serait particulièrement souhaitable et donc que des digesteurs collectifs subventionnés seraient écologiquement prioritaires à côté d'un ensemble d'autres mesures complémentaires.

Malheureusement, on doit craindre que les dégradations intercumulatives des relations écologiques et sociales n'y aient atteint un tel degré que de telles entreprises soient incompatibles avec la polarisation sociale et en particulier celle de la répartition du bétail, écologiquement limité en nombre.

Il n'est pas possible de préjuger de l'ampleur des zones où sont probablement concentrés ces villages où le système énergétique est un des éléments importants d'une telle crise. Il n'est d'ailleurs pas sûr que ces zones soient spontanément portées vers l'adoption de digesteurs familiaux en nombre suffisant pour y déclencher un effet social/écologique pervers, sauf en cas de politique dangereuse de subvention de 50 à 100 % du coût d'investissement comme annonce i.e. pour les tribus "inscrites".

#### *Pour des politiques énergétiques rurales diversifiées*

Comme il ne sera évidemment pas possible de reproduire pour tous les villages les enquêtes détaillées que nous avons suggérées, il faudrait viser, à partir des études pilotes, à la définition d'une batterie de critères écologiques, économiques et sociaux, si possible chiffrés, qui permettent de prévoir les risques d'effet social pervers et de détecter les situations initiales déjà très critiques. Les régions écologiquement assez homogènes seront probablement confrontées aux mêmes dynamiques.

Des politiques rurales énergétiques devront être étudiées dans les contextes spécifiques de chaque petite région et non pas seulement à l'échelle des villages. En effet, il ne faut pas exclure le rôle que des petites mines locales pourraient jouer par exemple pour permettre la transition vers un système énergétique renouvelable fondé entre autres choses sur des plantations de bois de feu dans des zones à vocation exportatrice pouvant alimenter les villes régionales et les zones rurales déficitaires, ces dernières étant toutefois désavantagées en termes de concurrence par le pouvoir d'achat.

Que l'on considère des unités de biogaz collectives ou des plantations collectives, proposées par MAKHIJANI, les études actuelles nous semblent avoir sous-estimé le fait que le problème social est central et non le problème productif en soi. Les solutions techniques ci-dessus ont peu de chances d'être compatibles avec la polarisation sociale qui caractérise les zones critiques.

Quels que soient les rôles respectifs que joueront des digesteurs familiaux à maîtriser pour permettre l'usage (environ à 50 %) de déchets végétaux, ou des digesteurs semi-collectifs pour des groupes sociaux compatibles (généralement regroupés dans des quartiers ou hameaux homogènes), il nous semble probable que, dans la majorité des cas, les solutions améliorées et praticables selon l'ensemble des dimensions ou critères d'évaluation qui ont été évoquées au long de notre propos, ne pourront qu'être des solutions diversifiées reposant sur des combinaisons de combustibles qui ne sauraient se réduire au seul biogaz.

En particulier, parmi les systèmes de cuisson, les combustibles solides dérivés de la biomasse sont et resteront longtemps dominants en Inde rurale. Aussi, il nous surprend que, dans la littérature considérable publiée récemment sur les énergies rurales en Inde, il n'y ait aucune évaluation approfondie sur les raisons de la non-diffusion de cuisinières améliorées permettant en principe d'économiser d'un tiers à la moitié du combustible, alors que de tels équipements sont en théorie disponibles en laboratoire depuis plusieurs décennies.

Ne peut-on craindre que ce type d'oubli relatif ne provienne de la combinaison d'un double phénomène :

a) la tendance inhérente de l'ingénieur, même dans des institutions de T.A., à une fuite en avant vers la prouesse technologique, en l'occurrence vers le biogaz ou le cuiseur solaire qui resteront pourtant longtemps moins accessibles aux masses que des cuisinières éventuellement améliorées ;

b) l'incapacité d'un système social à code génétique inégalitaire à faire réellement progresser les masses, ... donc finalement à réaliser les études de software qui permettraient la diffusion des techniques plus appropriées et réellement de masse.

## CONCLUSION GENERALE

A la lumière de la comparaison des programmes biogaz en Inde et en Chine, on a pu illustrer les limites de la variable technologie.

Ecologiquement a priori très approprié à beaucoup de villages des deux pays, le biogaz peut se diffuser ici à un rythme qui dépasse toute attente alors qu'il stagne là et que l'on peut même craindre parfois un effet social/écologique pervers. Nous avons vu que c'est le code génétique social plus ou moins inégalitaire et institutionnel plus ou moins collectivement harmonisé qui est à l'origine de cet écart considérable.

Par delà cette évidence, nous avons tenté de montrer qu'à notre avis, il n'y a pas de saut technologique facile par dessus l'obstacle social comme certains auteurs voudraient le croire. Au contraire, ce sont ces villages même qui auraient objectivement le plus besoin d'une révolution écologique telle que celle d'un digesteur villageois collectif, qui en sont probablement socialement les moins capables dans la mesure où, selon notre hypothèse, une dialectique entre milieu physique surexploité et polarisation sociale s'y sera probablement déjà développé.

Cette relativisation de la variable technique ne saurait toutefois aller jusqu'à faire oublier la différence sociale majeure que pourrait représenter l'introduction en Inde d'une innovation à première vue banale en Chine qui consisterait à maîtriser la fermentation méthanique de mélanges associant du végétal aux bouses de vache.

Le cas du biogaz nous fournit l'occasion d'affirmer qu'il est délicat de manier un concept tel que la "(non-)neutralité" de la technologie. Dans le cas présent du digesteur familial, on peut dire qu'il est "neutre" si l'on entend par là qu'il s'impose comme la solution la plus facile en Inde comme en Chine. Par contre, si on le définit dans toute la spécificité détaillée des modèles respectifs initialement mis au point en Inde et en Chine, et surtout si on considère les systèmes technologiques où il s'insère, on doit reconnaître que chaque modèle reflète des paradigmes de recherche différents par lesquels chaque société a imprégné ses priorités de recherche de son propre code génétique socio-économique que l'on peut caractériser par une série d'options stratégiques et idéologiques. Ainsi en fait nous avons pu démontrer à la fois pourquoi c'est en Chine qu'est née l'invention du digesteur à dôme fixe et aussi pourquoi son origine étrangère ne l'empêche pas d'être le modèle le moins inapproprié en Inde. Enfin nous avons insisté sur la question clé de la cause du non-transfert de l'alimentation partielle au végétal : difficulté technico-économique ou relative indifférence aux conséquences socio-économiques ?

Une deuxième remarque concerne le concept illustré par l'image du cheval de Troie - également empruntée à A.K.N. REDDY par lequel on fait remarquer qu'une société exporte clandestinement ses valeurs et ses choix idéologiques dans une autre lorsqu'elle y transfère sa technologie. Dans le cas le plus général on accuse la technologie occidentale dont le transfert mimétique est source de croissance par inégalité. Notons ici que l'effet social induit ne saurait être inversé en effet égalitaire lorsque, par exemple, on transfère le digesteur de type chinois. Dans un pays comme l'Inde c'est le code génétique de la société réceptrice qui l'empêche et qui ne fera du modèle JANATA au mieux qu'un frein à une accentuation de l'inégalité par le modèle

conventionnel. Notons aussi qu'il faut accepter comme non paradoxal le fait qu'aussi bien pour la technologie intermédiaire/appropriée que pour la technologie occidentale modifiée/appropriée, l'échange international s'impose... et sera d'autant plus fructueux qu'il sera contrôlé pour ne pas faire obstacle à la création d'une base de capacité scientifique et technique locale.

Notre dernière remarque portera sur les ambiguïtés implicites de formules telles que "technologie appropriée". Dans leur laconisme, les deux formules suivantes sont en effet inacceptables :

- a) "le digesteur à biogaz est inapproprié en Inde"
- b) "l'Inde rurale est inappropriée au digesteur".

Comment éviter d'en venir à des formulations plus développées telles que :

- a) "le digesteur familial ou collectif est (actuellement) peu ou mal approprié aux contextes socio-économiques où vit la majorité de la population indienne",
- b) "la société rurale chinoise est infiniment mieux préparée que l'indienne pour tirer parti à plein et avec le minimum d'effets pervers des avantages multidimensionnels considérables du digesteur familial ou collectif".

## NOTES

1. Fin 1978, 7,15 millions d'unités biogaz servent 5,26 % de la population rurale (850 millions ; 5 personnes par famille) en Chine, alors que 70.000 unités indiennes ne servent que 0,06 % des ménages (d'après ISLAM, p. 2).

L'écart de 1 à 100 environ - soit, fin 1979, de moins de 100.000 à 10 millions - est constitué en deux fois moins de temps en Chine où le programme a démarré en 1972 contre 1962 en Inde (DANG).

2. La formulation du degré d'inégalité en termes relatifs ou comparés plutôt qu'en termes absolus s'impose de plus en plus. Ainsi, une étude italienne publiée en 1979 écrivait : "La Chine jouit d'une distribution du revenu beaucoup plus équitable que celle des autres pays ayant à peu près le même niveau de revenu par habitant et est même, à ce point de vue, à égalité avec les pays riches" (cité dans *CERES*, FAO, n° 74, mars-avril 1980, p. 45-46).
3. Dans le cadre des excès de pouvoir de la Révolution Culturelle, il a été porté atteinte de 1968 à 1977 aux droits de minorités musulmanes. Par exemple dans la province du Yunnan, l'on a essayé de contraindre des musulmans Hui à élever et à manger des porcs au nom du mot d'ordre "prendre le porc pour base", ce qui a conduit à une émeute armée en juillet 1975 connue sous le nom de "l'incident de Shadian". En 1977, les victimes ont été réhabilitées (lire GEORGES, M., "L'Islam en Chine", *Projet*, Paris, n° 147, juillet-août 1980, p. 868). Le biogaz n'est bien sûr pas la cause de ce non-respect de la spécificité culturelle des musulmans à l'égard du porc.
4. On se reportera au manuel chinois de base de 1974, traduit en 1979 (Van BUREN, 1979) et aux nombreuses mises à jour (Van BUREN, 1980 ; ISLAM ; FAO, 1979). Le texte de ISLAM est particulièrement riche. Voir aussi Chen Ru-Chen et CHINA.
5. Par ailleurs, M.N. ISLAM indique une production totale de 2 milliards de m<sup>3</sup> de biogaz pour 7,15 millions de digesteurs fin 1978, soit 0,77 m<sup>3</sup> par digesteur et par jour sur 12 mois et 0,93 m<sup>3</sup> sur 10 mois de fonctionnement effectif. Dans une autre approche, il signale que les digesteurs ont 6 à 12 m<sup>3</sup> de capacité de cuve et un rendement moyen de 0,15 m<sup>3</sup> de biogaz par jour (... de fonctionnement ?). Rappelons qu'à partir de 8 m<sup>3</sup> de capacité x 0,20 m<sup>3</sup> = 1,6 m<sup>3</sup> de biogaz par jour de fonctionnement et 7 à 8 mois utiles par an, nos propres évaluations étaient d'un peu plus de 2,5 milliards de m<sup>3</sup> de biogaz par an (1,5 million de tonnes d'équivalent-pétrole).

Tous ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur.

A la suite d'une correspondance avec nous, M.N. ISLAM propose de considérer une durée annuelle moyenne de production de 250 jours, soit 1,12 m<sup>3</sup> de gaz par jour par digesteur de 7,47 m<sup>3</sup> de capacité moyenne de cuve si le rendement retenu est de 0,15 m<sup>3</sup> de gaz par m<sup>3</sup> de capacité.

6. Les comparaisons internationales par les devises sont très déficientes. Raisononnons sur la cuve familiale de 10 m<sup>3</sup> du type chinois.

Le modèle JANATA est évalué à 2.250 Rs soit respectivement 375 jours de travail non qualifié à 6 Rs et 112 jours de travail de maçon à 20 Rs. Notons l'usage de 1.250 kg de ciment (50 sacs) là où les chinois utilisent 250 à 520 kg plus 110 kg de chaux (PRAD, b).

M.N. ISLAM calcule que si les matériaux sont tous achetés en ville, les trois méthodes de construction donnent en Chine, respectivement 103 ; 143 et 197 Y soit le revenu d'autant de jours de travail à 1 Y. Il faut 40 jours de travail. En fait, les cuves pilotes ont toutes été estimées à environ 40 Y de matériaux plus le travail dans le village où les experts étrangers étaient formés (ISLAM, p. 61). Si on arrive à ne pas utiliser plus de matériaux qu'en Chine et 60 jours de travail de construction, les prix des matériaux et du travail au Bangladesh aboutissent respectivement à un coût du digesteur de 134 ; 138 et 637 fois 25 TK (valeur moyenne du salaire quotidien non qualifié, 10 TK, et qualifié du maçon 35 TK).

7. On lira par exemple la chronique de ces crises et catastrophes sur le charbon en Inde, dans *Economic and Political Weekly*, Bombay (XI, 43, p. 1685 ; XII, 29, p. 1130 et XII, 32, p. 1252 ; XIII, 42, October 21, 1978, p. 1755-7 ; XIV, 16, April 21, 1979, p. 729 ; XIV, 39, September 29, 1979, p. 1638-40 ; XIV, 41, October 13, 1979, p. 1706-7 ; XIV, 46, November 17, 1979, p. 1867-8 ; XV, 13, March 29, 1980, p. 631).

On lira aussi ROY, K., "Discrimination, Exploitation in Coal Mines", *Mainstream*, vol. XVII, n° 38, May 19, 1979, p. 68.

8. L'exemple chinois le plus fameux est toujours celui de la municipalité de Mianyang où la production totale de céréales aurait crû de 195.000 T en 1975 à 250.115 T en 1978, soit une augmentation de 8 % par an pendant trois ans (et non 12 % d'après CHINA). Par delà l'enthousiasme des écrits, on notera l'imprécision scientifique des statistiques.
9. Derrière le silence des documents du PRAD, on peut imaginer que le mélange à la chinoise, id. incluant du végétal, pose des problèmes de conduite de la fermentation sans parler du problème de l'ouverture en haut du dôme, dotée d'un couvercle amovible, pour entrer et pratiquer la vidange périodique du végétal (PRAD, 1979 b.). On peut aussi envisager une faible priorité pratique donnée à cet objectif, conformément à la tradition élitaire du programme indien malgré l'affirmation du PRAD que "l'utilisation de matière autres (que la bouse) telles que la jacinthe d'eau et les déchets végétaux, soit seuls, soit en combinaison avec la bouse, aideront à résoudre la question de l'alimentation (du digesteur)" (PRAD, 1979 a, p. 11).

Sur le plan technique, on peut voir une certaine opposition entre l'appréciation du groupe népalais et celle du PRAD :

- a) "Le modèle indien est très satisfaisant et pratique. Il est simple à entretenir et s'il est bien conduit, il est pratiquement sans problèmes. Il est très recommandé, surtout pour des débutants" (Newsletter *BIOGAS*, Nepal, n° 7, winter 1979, p. 1, P.O. Box 1309, Kathmandu).
- b) PRAD oppose "l'intensité en qualification requise pour la construction et l'entretien" du modèle indien conventionnel, au "fonctionnement sans problème et sans entretien sauf un nettoyage périodique" du modèle JANATA

... *pourvu sans doute que l'on ait pris des précautions assez précises, en particulier pour rendre le dôme en ciment imperméable au gaz... et en peignant soigneusement la surface interne du dôme avec une peinture bitumeuse*" (PRAD, a, p. 1, 5, 6).

L'opposition entre les deux tons provient peut-être en partie du fait que l'équipe du Népal réfère sans doute au modèle chinois dans toute sa complexité (trou d'homme et alimentation en mélange avec végétal) alors que le PRAD n'avait pas adopté ces deux "difficultés" dans son premier modèle.

Ce point essentiel mérite des explications plus détaillées des techniciens du PRAD.

10. D'après ICAR (1976) et BHATIA (1977), nous apprenons que par la combustion d'un kg de bouse sèche on obtient une énergie utile de 210 à 360 Kcal en multipliant un rendement de 10 à 11 % par une énergie finale contenue de 2.100 à 3.300 Kcal.

Par ailleurs, ce kg de bouse sèche est dérivé de 5 kg de bouse humide qui pourrait donner 6,5 cft de biogaz en hiver et 16,5 cft en été. Or 1 cft de biogaz à 120-130 Kcal par cft (énergie finale) est converti par un rendement de cuisson de 50 à 60 % en 60 à 80 Kcal par cft en énergie utile.

Par rapport à l'indice d'énergie utile 100 à 170 pour la bouse sèche, le biogaz donnerait 185 à 247 en hiver et 470 à 628 en été.

On s'étonne que le KVIC cite un accroissement de 20 % à partir de données comparables, même en remarquant qu'il n'utilise que le rendement d'hiver (1,3 cft par kg de bouse humide) (KVIC, 1979, repris par DANDEKAR).

11. On lira sur l'élevage : NAIR, K.N., *EPW*, XVI, 17, April 28, 1979, p. 782-88 et sur l'abattage des vaches : RAJ, K.N., *EPW*, XIV, 18, May 5, 1979, p. 821-24 ; sur le lait, on lira : SHING, S., *EPW*, Vol. XIV, 42-43, October 27, 1979, p. 1765-74 et sur les ressources en énergie animale en Inde : RAMASWAMY, N.S., in UNIDO, 1979, p. 141-48.
12. Une vision trop optimiste sur les perspectives du biogaz communautaire dans un village "typique" de 500 habitants et 250 têtes de bétail a été la plus diffusée dans la littérature internationale (*CERES, Forum du Développement...*) à partir de l'article de l'ASTRA (REDDY et al, 1974). En effet, les 126 m<sup>3</sup> de biogaz par jour auraient permis la cuisson (30 %), l'éclairage (10 %), l'irrigation (30 %) et divers autres usages (industries, éclairage des rues...). Toutefois, le calcul montre que ce surplus du gaz repose sur une norme de 2,67 cft par personne et par jour pour la cuisson alors que les auteurs parlent habituellement de 10 cft (plage de variation de 8 à 12 cft). Même en tenant compte des indications beaucoup plus récentes de l'ASTRA pour un préchauffage solaire de l'eau de cuisson du riz (etc...), la norme de 2,67 cft est à première vue utopique (REDDY, 1979).
13. L'étude de modélisation théorique des Parikh, publiée en 1976 et reproduite dans ONUDI (pp. 61 et 137), s'affronte à la difficile situation d'une production de gaz à peine suffisante pour couvrir le besoin de cuisson pour tous les villageois (sur la base de 10 cft/personne-jour). Certes, les auteurs oublient l'auto-consommation intermédiaire de gaz pour faire tourner le compresseur mais d'abord celui-ci peut être superflu si la

distribution par tuyau confirme ses promesses (PRAD, 1979, c) et aussi on pourrait concevoir un digesteur annexe alimenté par des latrines publiques. Hélas, la faisabilité technique du digesteur communautaire se heurte à des coûts très élevés (BHATIA, 1979) et surtout, à notre avis, à une utopie sociale dans l'immense majorité des cas.

## BIBLIOGRAPHIE

AGARWAL, A., "Can biogaz provide energy for India's rural poor", *Nature*, Vol. 281, 6 Sept 1979, pp. 9-10.

BARNETT, A., PYLE, L., SUBRAMANIAN, S.K., *Biogas Technology in the Third World. A multidisciplinary Review*, Ottawa, Ont., IDRC, 1978, 132 p., ill. IDRC 103 e.

BHATIA, R., "Economic Appraisal of Bio Gas Units in India ; Framework for Social Benefit Cost Analysis" in *Economic and Political Weekly*, Special Number, August 1977.

BHATIA, R., NIAMIR, M., *Renewable energy sources : the community biogas plant*, Harvard University, Department of City and Regional Planning, Cambridge, Mass., USA, November 2, 1979, mimés. 38 p. + tables + X.

Van BUREN, Ed., *A chinese biogas manual*, popularising technology in the countryside, IT Publications Ltd, July 1979, translated from Science Publishing House, 1976, CHINA, 135 p.

Van BUREN, E.A., "Biogas Beyond China : first international training program for developing countries", *AMBIO*, Stockholm, 1980, vol. IX, n° 1, pp. 10-15.

CHEN RU-CHEN, HUANG CONG, XIA ZHI-PING, *A Biogas Power Station in Foshan. Energy from Night Soil*, 1978, 9 p. et

CHEN RU-CHEN, XIAO ZHI-PING, *Digesters for Developing Countries Water Pressure Digesters*, Guangzhon Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, 1979, 8 p.

Ces deux documents sont disponibles auprès de Dr. Jack FRITZ, Office of Energy, Room 306, SA-18, Development Support Bureau, AID., Washington, D.C. 20523, USA et au CIRED.

CHINA, Government of, *Biogas utilization and comprehensive development in China*, Paper submitted to ESCAP/UNEP Seminar on Environment and Development (14-18 August 1979, Bangkok), 8 p.

DANDEKAR, H., "Gobar-Gas Plants : How appropriate are they ?" *Economic and Political Weekly*, vol. XV, n° 20, May 17, 1980, pp. 887-893.

DANG, V., THERY, D., "Le phénomène du biogaz en Chine", *Nouvelles de l'Eco-développement*, CIRED, n° 17, 1979.

DA SYLVA, E.J., "Biogas : fuel of the future ?", *AMBIO*, Stockholm, vol. IX, n° 1, 1980, pp. 2-9.

FAO, *China : Recycling of Organic Waster in Agriculture*, FAO Soils Bulletin, Rome, n° 40, 1977, 107 p.

FAO, *China : Azolla propagation and small-scale biogas technology*, report on an FAO/UNDP Study tour to the people's Republic of China, 21 May-11 June 1978, FAO Soils Bulletin n° 41, FAO, Rome, 1979, 81 p. (§ 3). To be translated from english to french and to spanish (english edition is being reprinted)

FRENCH, D., *The economics of renewable energy systems for developing countries*, USAID, Washington D.C., January 1979, 67 p.

Mc GARRY, M.G., STAINFORTH, J., *Compost, Fertilizer and Biogas Production for Human and Farm Wastes in the Peopl's Republic of China*, IDRG, Ottawa, 1978 (IDRC-TS 8°).

HAYES, P., "Energy Use in Pura Village, India", *Soft Energy Notes*, IPSEP, vol. 2, 1979, pp. 54-55.

ICAR, *The Economics of cowldung gas plants*, (A report), Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, April 1976, 65 p.

ISLAM, Dr. M.N., *A report on Biogas Programme of China*, Department of Chemical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Dacca-2, Bangladesh, October 1979, miméo, 69 p.

KVIC, *Gobar gas, Why and How*, March 1979, 13 p. + vi (Irla Road, Vile Park (W), Bombay - 400 056).

MAKHIJANI, A., "Energy Policy for Rural India", in *Economic and Political Weekly*, Bombay, Special Number, August 1977.

MAKHIJANI, A., *Economics and sociology of alternative energy sources*, UNEP/ ESCAP, Environment and Development, Regional Seminar on Alternative Patterns of Development and Life-Styles in Asia and the Pacific, Bangkok, 14-18 August 1979, 53 p.

PRAD - Planning and Research Action Division, UP, Lucknow, India,

- a) *Action Research in Biogas Development*, 1979, miméo, 11 p. + VI.
- b) *JANATA Biogas Plants*, 1979, 28 p. + XII
- c) GHATE, P.B., director of PRAD, "Biogas : A Decentralised Energy System. A Pilot Investigation Project", *Economic and Political Weekly*, vol. XIV, n° 27, July 7, 1979.

REDDY, A.K.N., PRASAD, K.K., PRASAD, C.R., "Bio-Gas Plants : Prospects, problems and tastes" in *Economic and Political Weekly*, vol. IX, n° 32-34, 1974.

REDDY, A.K.N., "Le Cheval de Troie", *CERES*, FAO n° 50, mars-avril 1976, pp. 40-43.

REDDY, A.K.N., PRASAD, K.K., "Technological Alternative and the Indian Energy Crisis" in *Economic and Political Weekly*, Special Number, August 1977.

REDDY, A.K.N., a) *Alternative and Traditional Energy Sources for the Rural Areas of the Third World*, mimeo, 15 p., paper prepared for a Royal Institution Forum, on "Third World Energy Strategies and the Role of Industrialized Countries", London, 20-22 June 1979.

REDDY, A.K.N., BATLIWALA, S., b) "De l'énergie pour libérer les enfants", *CERES*, FAO, Rome, n° 71, sept-oct. 1979, pp. 42-46.

SMIL, V., *China's Energy : Achievements Problems, Prospects*, Praeger Publishers, New York, 1976, 246 p.

SMIL, V., "Energy Flows in Rural China", *Human Ecology*, vol. 7, n° 2, 1979, pp. 119-133.

UNIDO, *Appropriate Industrial Technology for Energy for Rural Requirements*. Monographs on Appropriate Industrial Technology n° 5, UNIDO, (P.O. Box 300, A - 1400, Vienna), 1978, printed 1979, ID/232/5, 169 p.

## CONDITIONS D'INTRODUCTION DU BIOGAZ EN MILIEU RURAL VOLTAIQUE

par M. NACRO (1), Ph. SIMONIS (2), B. LIDON (3),  
G. SOLA (3), R. YAMEOGO (1), M. SEDEGO (4),  
Ph. MORANT (4).

L'autosuffisance alimentaire ne pourra être atteinte que si la disponibilité en combustible pour la cuisson des aliments est suffisante. En Haute-Volta, le bois de chauffe, principale source d'énergie, intervient pour 90% de la consommation totale. 3,9 millions de mètres cubes sont brûlés chaque année alors que l'accroissement annuel n'est que de 3,5 millions de mètres cubes. Cette surexploitation de près d'un demi million de mètres cubes ne fait qu'augmenter et entraîne la dégradation annuelle à travers le pays de plusieurs centaines de milliers d'hectares de formations forestières. A ce rythme, dans 15 ans, l'ensemble des ressources forestières sera détruit de manière définitive et irréversible. La situation autour des villes devient déjà dramatique. Ces trois dernières années, le prix du bois de chauffe a augmenté de plus de 50 %. Le remplacement du bois par les produits pétroliers est à exclure, vu l'augmentation continue du prix de ces derniers. En 1979, la facture de ces importations s'élevait à 7,9 milliards de francs C.F.A.

Au problème énergétique, s'ajoute celui de la fertilité des sols. Autrefois, les rotations culturales traditionnelles et les systèmes de jachère permettaient de maintenir ce niveau de fertilité. Or l'existence de facteurs divers et interdépendants comme les conditions climatiques (recrudescence de la sécheresse), l'augmentation de la densité de population, l'introduction des cultures de rente, le surpâturage a entraîné une diminution du niveau de fertilité des sols. Les érosions hydraulique et éolienne entraînent une diminution importante de leur taux de matière organique. Certes l'intensification de l'agriculture par l'introduction de nouvelles techniques (par exemple, la culture attelée...), les apports de fumures minérales et le choix de nouvelles variétés a permis d'accroître les rendements.

(1) Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technologique, B.P. 7192, Ouagadougou, Haute Volta.

(2) Association Internationale pour Le Développement Rural, B.P. 1488, Ouagadougou, Haute Volta.

(3) Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (C.I.E.H.), B.P. 369, Ouagadougou, Haute Volta.

(4) I.R.A.T., B.P. 596, Ouagadougou, Haute Volta.

Le maintien de ces rendements à un niveau satisfaisant exige un apport de fumure organique (fumier, compost, résidus de récolte enfouis). Par exemple, une fumure exclusivement minérale a pour effet d'acidifier le sol et cela d'autant plus qu'il s'agit d'une monoculture.

La fumure organique a un effet positif sur les propriétés physiques du sol : stabilité structurale, capacité de rétention en eau et sur ses propriétés chimiques et biochimiques : complexe absorbant, bases échangeables...

La situation qui prévaut actuellement est critique puisqu'il faudrait une mise en réserve partielle d'une vingtaine d'années en but de régénérescence et un reboisement de 40.000 ha/an, objectif irréalisable avec les moyens et les effectifs en personnel forestier disponibles.

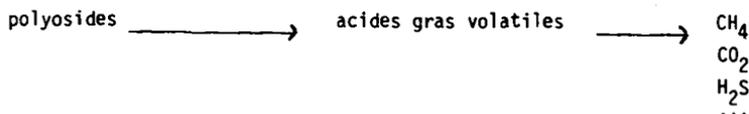
Une réponse possible à ce double défi énergie/fertilité est fournie par la filière biogaz/compost. Plusieurs pays du Tiers-Monde ont vulgarisé depuis plus de dix ans des unités artisanales familiales et communautaires en milieu rural. En Inde, près de soixante dix mille digesteurs ont été construits et utilisent les déchets animaux comme matière première. En Chine, près de sept millions d'installations assurent le recyclage des déchets organiques.

Le présent rapport fait le point sur l'utilisation de cette filière en Haute-Volta. Après un bref rappel du principe de la digestion anaérobie, une description du procédé mis au point pour répondre aux contraintes locales sera faite. Elle sera complétée d'un exemple d'installation pour la production de gaz et de compost.

#### PRINCIPE DE LA DIGESTION ANAEROBIE

Le principe de la production de biogaz est celui de la dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène (schéma p. 37). Le processus simplifié de cette dégradation est fourni dans le schéma ci-dessous. Les mécanismes complets restent encore très controversés du fait notamment de la nature encore mal connue des microorganismes.

Le processus global de la production du biogaz (60%CH<sub>4</sub>, 40%CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S...) à partir des polysides (cellulose, amidon) est le suivant :



Après libération du gaz, les résidus de fermentation plus ou moins dégradés selon leur nature et le temps de digestion constituent une source de matière organique utilisable comme fumure. L'amendement obtenu est nommé "COMPOST".

On distingue généralement la fermentation mésophile (entre 30 et 40°C), et la fermentation thermophile (entre 50 et 60°C). Seule la fermentation mésophile qui ne nécessite pas en Haute-Volta d'apport calorifique à la cuve de digestion, est envisagée.

## TECHNOLOGIE DE PRODUCTION

Trois procédés existent : le procédé continu de type indien, le procédé semi-continu et les procédés discontinus.

Dans le procédé continu de type indien (GOBAR GAS - Khadi and village Industries Commission), la cuve est munie d'un tuyau d'entrée et d'un tuyau de trop plein. Ce procédé n'utilise que des fèces animales diluées avant leur introduction dans un rapport volumique fèces : eau variant de 1 : 1 à 1 : 3. Un volume équivalent au volume intrant (1/50 du volume de cuverie) est rejeté par le trop plein ; ce jus est utilisé comme engrais. Le gaz est stocké dans une cloche gazomètre, ce qui permet d'obtenir une pression constante d'utilisation du gaz. (schéma p. 38)

Dans le procédé semi-continu de type chinois, la cuve est également munie d'une entrée et d'une sortie. L'entrée est généralement reliée à une latrine ou au caniveau d'une porcherie. A ces déchets dilués sont parfois ajoutées des pailles de riz et des herbes.

La cuve est vidée complètement deux fois par an. (schéma p. 38)

Ces deux procédés présentent l'inconvénient de consommer de grandes quantités d'eau.

En Haute-Volta, les procédés décrits ci-dessus ne pourront donc être utilisés que dans le cas où il y a abondance en fèces et en eau. C'est pourquoi nous nous sommes tournés vers les procédés discontinu et semi-discontinu où il n'y a pas d'entrée - sortie distinctes.

Il en résulte une interruption plus fréquente de la production de gaz. Cet inconvénient peut être aisément pallié en associant plusieurs cuves (2 ou 3).

Le procédé discontinu consiste à remplir la cuve avec un substrat contenant 75% de pailles et 25% de fèces et à attendre la fin de la fermentation (50 jours) pour effectuer la vidange des résidus solides. Les jus sont réutilisés pour la fermentation suivante et les pailles mises à composter. Le gaz est stocké sous une cloche gazomètre. (schéma p. 39)

Le système semi-discontinu que nous adoptons lorsque les disponibilités en fèces le permettent, diffère du discontinu en ce que la production de gaz est réactivée par l'injection régulière de produits de panse et de fèces, préalablement dilués à l'aide d'un peu de jus siphonné de la cuve de fermentation. Cela se fait au travers d'un entonnoir fixé au gazomètre. Ce procédé permet une production de gaz plus constante et une vidange moins fréquente des pailles. (schéma p. 39)

Pour ces deux derniers procédés, les productions de gaz obtenues varient entre 0,25 et 0,4 m<sup>3</sup> de gaz/m<sup>3</sup> de cuve/jour ; les publications indiennes et chinoises indiquent respectivement des productions moyennes de 0,3 et 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> cuve/jour. (schéma p. 40)

## TECHNIQUES DE CONSTRUCTION

Pour la construction des cuves généralement cylindriques nous avons adopté deux procédés voisins : le busage et les briques de ciment.

Pour le busage, le béton, dosé à 350 kg/m<sup>3</sup> est coulé (épaisseur 10 cm) dans des moules de puits ; il est armé de treillis soudé de 8 mm de diamètre. Les margelles et joints hydrauliques sont construits suivant le même principe.

La cuve peut aussi être construite en parpaings pleins (15 x 20 x 40 cm). Le mélange contient alors pour 1 m<sup>3</sup>, 180 kg de ciment, 0,5 m<sup>3</sup> de sable et 0,3 m<sup>3</sup> de gravier. La dalle de fond est en béton coulé (épaisseur 10 cm). Ce procédé ne nécessite pas d'armature. La surface intérieure, la margelle et le joint hydraulique sont crépis pour assurer l'étanchéité. Le prix de revient de ces deux procédés est du même ordre de grandeur. Le busage nécessite toutefois la disponibilité de moules et un minimum de qualification.

Le gaz peut être stocké dans un gazomètre intégré à la cuve de production. Il assure en même temps l'anaérobiose. Il flotte sur un joint hydraulique. Le gaz produit le soulève. Après consommation, la cloche redescend. Actuellement la plupart de nos gazomètres sont en tôle de 3 mm, quelque fois renforcés par des cornières.

Des essais sont en cours pour tester la fiabilité de gazomètres en tôle 2 mm et en polyester. La tôle nécessite une application annuelle de peinture anticorrosive.

Le gazomètre peut aussi être séparé ; il s'agit alors d'une cloche métallique flottant sur une fosse remplie d'eau en béton armé construite à l'aide de moules de puits. Des essais de fiabilité sont en cours pour le stockage du gaz dans des enveloppes étanches en plastique souple.

La différence fondamentale entre ces deux modes de stockage de gaz réside dans la facilité de manipuler les gazomètres. Pour les installations nécessitant un volume de stockage important, on choisira un gazomètre séparé, ce qui accroîtra l'investissement de départ.

## COUT ACTUEL DES INSTALLATIONS

Pour une installation produisant 2 m<sup>3</sup> de gaz par jour (nécessaires à la cuisson des aliments pour 5 à 7 personnes), un volume de cuverie de 7,5 m<sup>3</sup> est nécessaire. Si la disponibilité en fèces le permet, le procédé semi-continu est le plus indiqué. Le prix de revient TTC d'une telle installation est de l'ordre de 155 800 F.CFA :

soit matériaux	66 500
main d'oeuvre	39 300
gazomètre (tôle 2 mm)	50 000

## UTILISATION DU BIOGAZ

Le gaz produit lors de la fermentation est appelé gaz biologique ou biogaz.

Il est composé de méthane (50 à 70%) et de dioxyde de carbone (30 à 50 %). L'évolution de la composition du gaz au cours de la fermentation est donnée en annexe 2. L'utilisation du gaz ne présente aucun risque en raison de la très grande dilution et de la légèreté par rapport à l'air du méthane combustible.

Le pouvoir calorifique du biogaz est de l'ordre de 5 500 kcal/m<sup>3</sup>. Il peut être brûlé dans différents types de brûleurs et être utilisé pour le fonctionnement des moteurs à combustion interne.

Un brûleur de 5 cm de diamètre (type réchaud à gaz butane dont on a enlevé le gicleur) consomme 120 litres de gaz/h. Ce type de brûleur est déjà utilisé pour la stérilisation du matériel médical à l'hôpital de Kongoussi.

Pour la cuisson des aliments, sont expérimentés un brûleur de 8,7 cm de diamètre consommation 380 litres/heure à une pression de 7,5 g/cm<sup>2</sup> et un brûleur de type Indien (GOBAR GAS) de diamètre 8,5 cm consommant 360 litres/heure sous une pression de 5 g/cm<sup>2</sup>. Sous 7,5/cm<sup>2</sup>, la consommation prévue par le constructeur est de 450 litres/heure.

Les essais faits pour les groupes électrogènes concernent :

un groupe électrogène de 3 KVA avec pompe électrique centrifuge immergée (installation de démonstration du CIEH) consommant 460 l de gaz/CV/heure sous 9g/cm<sup>2</sup>.

et un groupe électrogène de 2,5 KVA alimentant un moteur électrique qui entraîne une pompe à piston avec membrane. Cette pompe placée sur un forage de 60 mètres de profondeur (hôpital de Kongoussi - Projet AIDR) élève l'eau dans un réservoir de 13 m<sup>3</sup> placé à 6 mètres du sol. Elle consomme 400 litres de gaz/CV/h sous une pression de 7,5g/cm<sup>2</sup>. Le débit de la pompe est de 1,6 m<sup>3</sup>/heure.

Un réfrigérateur à pétrole de 200 litres de capacité adapté au biogaz fonctionnant entre 4 et 10° C consomme 120 litres de gaz/heure. Il sert à la conservation des vaccins à l'hôpital de Kongoussi.

Enfin des lampes de fabrication locale sont à l'essai.

## UTILISATION DES COMPOSTS

Depuis 1979, des études sont faites à la Station Agronomique de SARIA sur la valeur agronomique des résidus de la fermentation anaérobie des pailles et sur les méthodes permettant d'améliorer la qualité de l'amendement qu'ils constituent: compostage complémentaire en tas ou en fosse. La finalité de telles études est de tester au champ et en milieu contrôlé l'effet des composts sur le développement des cultures et l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol.

Des études au laboratoire ont été faites en comparant les éléments essentiels totaux (du point de vue agronomique) du fumier, de la paille de sorgho et des composts anaérobies. Le fumier, utilisé dans les essais de fertilité du sol sert de substrat de référence. Les premiers résultats obtenus sont les suivants :

Eléments Totaux Substrats	C Total %	N Total %	C/N	K %	Ca %	Mg %	P %
Paille sorgho	32,4	4,23	93	0,27	0,24	0,19	0,06
Compost anaérobie	42,2	5,19	81	0,27	0,3	0,06	0,07
Fumier de ferme	21,7	14,74	14,7	0,72	1,1	0,49	0,24

Le résultat des analyses indique que, de par sa composition, le compost anaérobie est beaucoup plus proche des pailles brutes que du fumier tant par son rapport C/N élevé que par sa teneur en éléments minéraux.

Le rapport C/N est très important dans la caractéristique des amendements organiques. Il est indicatif de la présence de matière organique de néoformation (baisse du rapport C/N) qui donne naissance par minéralisation à des éléments solubles ou gazeux assimilables par la plante et par humification aux complexes colloïdaux chimiques.

Un C/N compris entre 12 et 20 correspond à une matière organique bien décomposée. L'utilisation d'un amendement peu évolué comme le compost anaérobie risque d'aboutir à une concurrence entre la flore microbienne de dégradation et la culture quant à leur nutrition minérale. Pour y remédier il faut envisager une finition du compost par un compostage complémentaire aérobie soit en fosse, soit en tas.

A partir d'un essai au champ ont été étudiés l'évolution des composts anaérobies bruts en fonction de l'azote résiduel du sol et leur effet sur le développement des cultures et les propriétés physico-chimiques du sol.

Deux plantes ont été choisies pour le test : une légumineuse (le niébé) et une céréale (le sorgho).

En 1979 (première année de l'essai), la plante testée a été le niébé. Pour obtenir des résultats significatifs, il faudra attendre la fin d'un cycle complet (légumineuse-céréale). Néanmoins, l'incorporation du compost au sol à raison de 2,5 et 5 t/ha semble avoir un effet dépressif sur les rendements en niébé. L'effet dépressif augmente avec la quantité de compost incorporé au sol.

Cet effet semble dû à la mobilisation de l'azote pour la finition du compost peu évolué. L'effet bénéfique devrait pouvoir se manifester à partir de la deuxième année de culture.

Pour apprécier l'effet du compost sur les caractéristiques physico-chimiques du sol, des analyses de sol sont en cours.

Au terme de ce premier bilan, il ressort que la technique de digestion anaérobie de la matière organique constitue une source d'énergie décentralisée et d'usage varié. Elle constitue incontestablement une solution d'avenir pour le développement de l'agriculture dans la zone soudano-sahélienne.

En effet, elle constitue un élément de solution au problème de la déforestation. De plus, de nouvelles perspectives s'ouvrent au niveau de la petite hydraulique agricole. Le biogaz produit sur les lieux mêmes d'utilisation à partir des résidus de culture et des herbes de brousse permet de réduire les sommes toujours croissantes nécessaires à l'achat des combustibles.

Sur le plan agronomique, avec les possibilités d'une irrigation de complément, l'utilisation du biogaz permet de tamponner les aléas climatiques et garantit aux paysans des revenus stables. Le compost permet d'éviter la dégradation physico-chimique du sol et d'améliorer la fertilité des terres.

En tenant compte de l'expérience de certains échecs dans l'introduction des innovations techniques en milieu paysan, la définition d'un schéma directeur pour l'application de la filière biogaz/compost dans le monde rural est indispensable.

L'utilisateur potentiel devra se sentir concerné, et percevoir les intérêts de la technologie. Les structures et le personnel d'encadrement des organismes de développement sont les mieux placés pour accomplir cette tâche puisqu'ils sont déjà impliqués dans la vulgarisation des techniques culturales, des nouvelles variétés, de la fumure organique... Ce sont les responsables de ces organismes de développement qui doivent effectuer les démarches nécessaires pour encourager et permettre l'implantation de la technique dans leurs secteurs respectifs.

En soutien à ces organismes de développement, une structure capable d'assurer la conception, la construction et le suivi des installations doit être mise sur pied.

Cette structure aura comme fonction d'assurer l'appui technique indispensable.

- définition des projets :
- dimensionnement des installations en fonction des besoins et des disponibilités en matière organique.
- devis et étude économique de projets en vue de demande de financement ou prêts.
- homologation de projets (sécurité, hygiène, etc...).

#### *La réalisation des installations*

- soutien à des équipes formées pour l'introduction de la technologie en milieu rural, l'apprentissage de son fonctionnement à l'utilisateur, le suivi et l'entretien des installations.

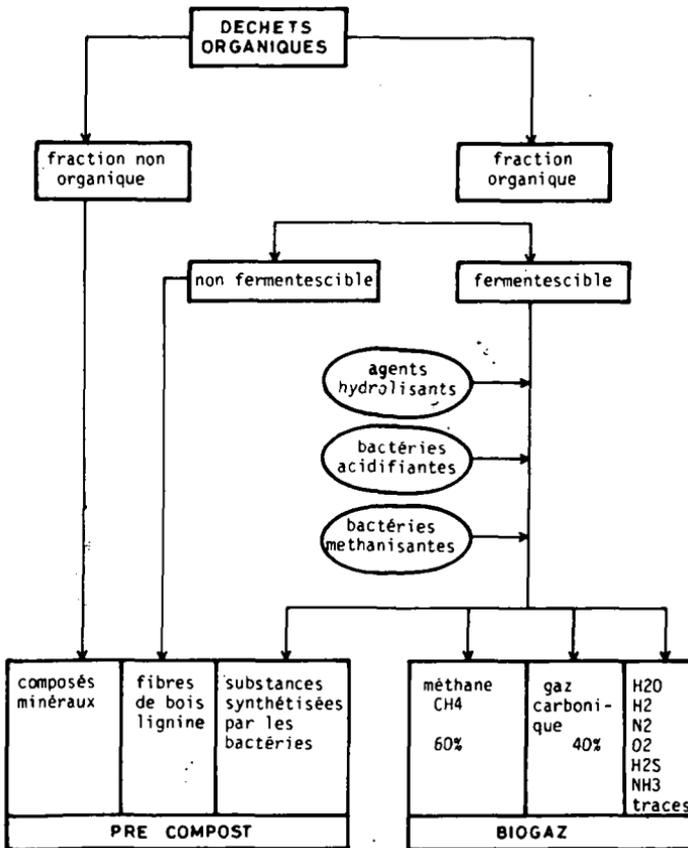
#### *La coordination du développement de cette technologie*

- évaluation des réalisations
- définition de plan de réalisations, équipements et formation
- poursuite des activités de recherche dans le sens de l'amélioration de la technologie.

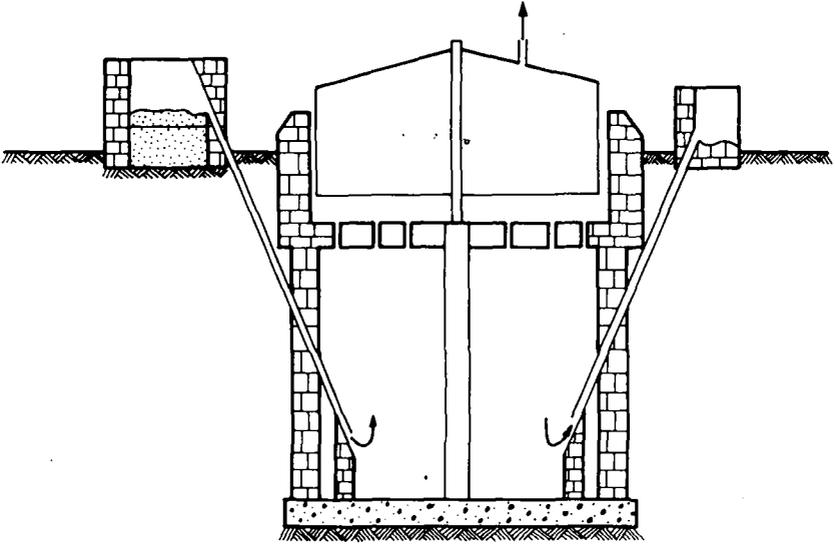
Afin d'alléger l'investissement encore élevé pour l'acquisition d'une installation biogaz en raison notamment des taxes perçues sur les matériaux (acier et ciment), il importe que des mesures nationales soient prises. D'autre part, un système de prêts devrait également aboutir pour le futur acquéreur à une réduction de la dépense de départ.

Ces mesures doivent être avant tout la marque d'une volonté politique, condition sine qua non pour le succès de l'intégration des énergies nouvelles dans le processus de développement national.

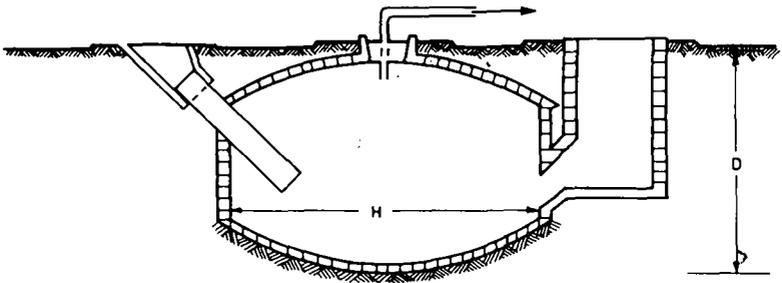
## PROCESSUS DE LA DEGRADATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS UN DIGESTEUR



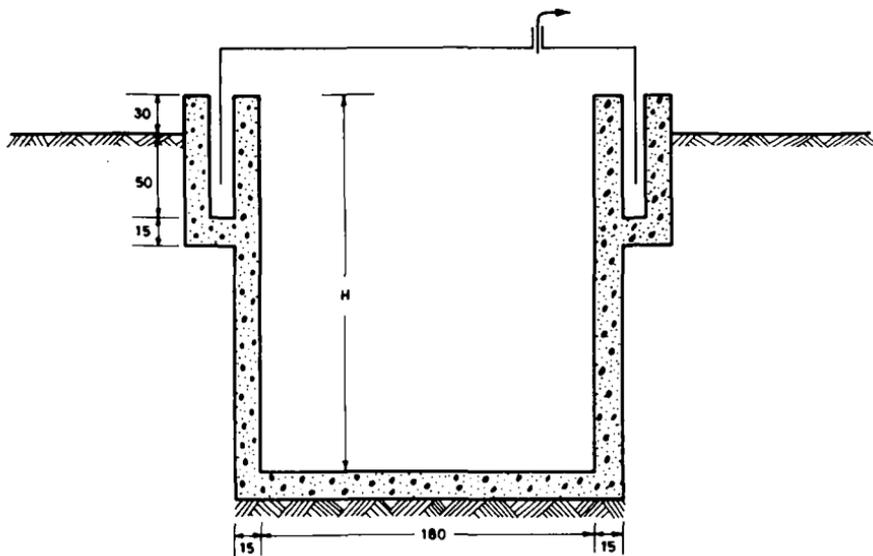
### DIGESTEUR INDIEN (CONTINU)



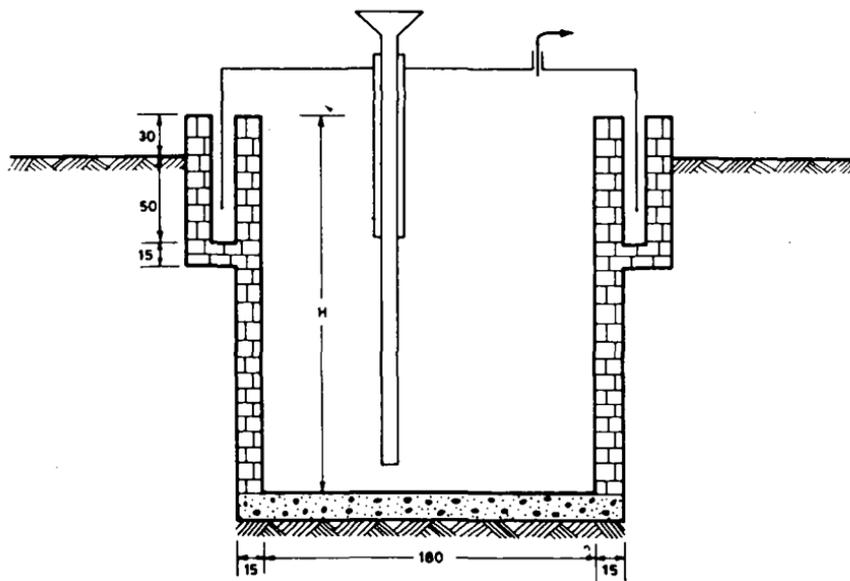
### DIGESTEUR CHINOIS (SEMI CONTINU)



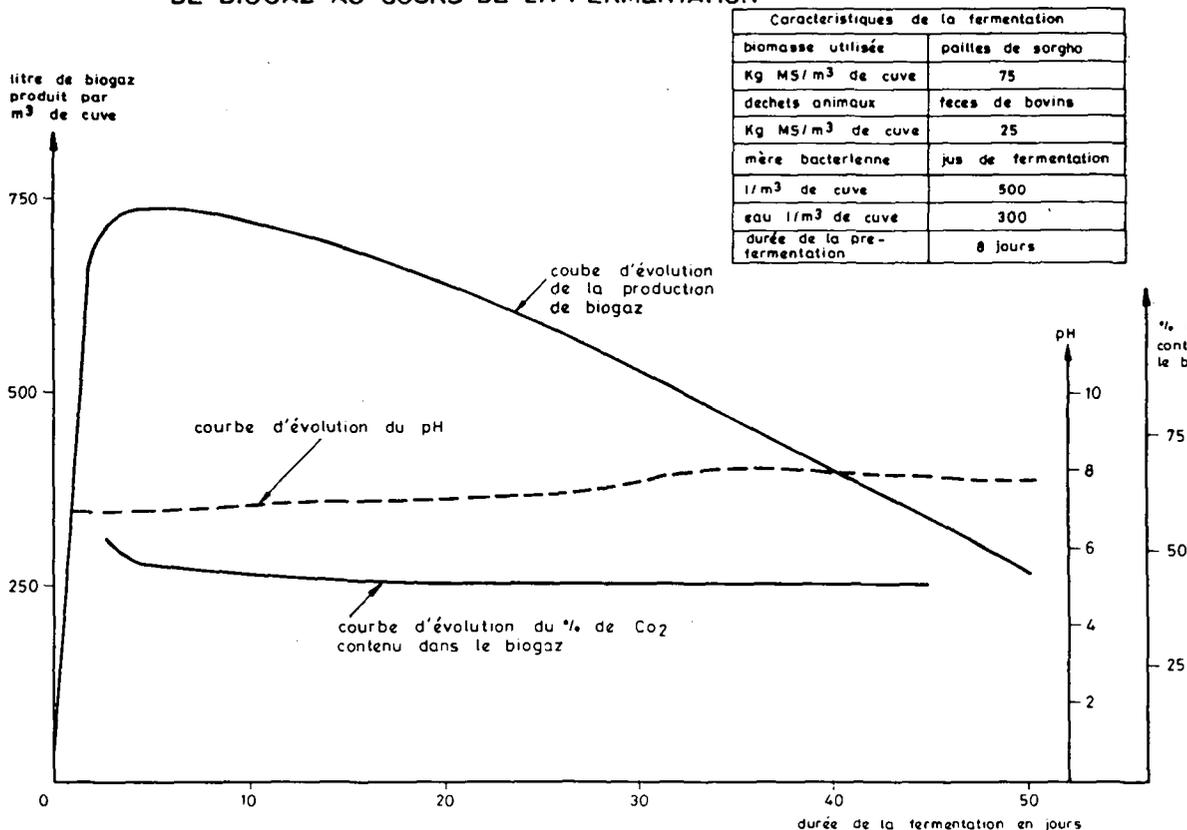
DIGESTEUR DISCONTINU  
EXPERIMENTE EN HAUTE-VOLTA



DIGESTEUR SEMI-DISCONTINU  
EXPERIMENTE EN HAUTE-VOLTA



# COURBE D'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ AU COURS DE LA FERMENTATION



# environnement africain

## nouveaux foyers au sahel

**pour épargner le bois de feu**

J. Ki-Zerbo  
et G. de Lepeleire  
étude 55

# CONTRIBUTION POTENTIELLE DE LA BIOMASSE A LA SOLUTION DE LA CRISE ENERGETIQUE DU TIERS MONDE

UN EXEMPLE : L'INSERTION DE LA FILIERE BIOGAZ AU SAHEL

par Eric LAGANDRE (1)

1. Contribution potentielle de la biomasse a la satisfaction des besoins énergétiques du Tiers Monde.

Les pays du Tiers-Monde non producteurs de pétrole sont confrontés depuis plusieurs années à deux crises énergétiques conjointes : la crise du pétrole et la crise du bois de feu qui frappe un certain nombre de régions en Inde dans le Nordeste Brésilien et le Sahel par exemple.

Ces pays seront donc conduits à la mise en valeur de ressources jusqu'à présent insuffisamment ou mal exploitées. La biomasse se trouve au premier rang de ces ressources et deux efforts s'imposent : améliorer les conditions de l'utilisation du bois comme combustible ; mise en valeur énergétique de la biomasse sous des formes nouvelles (filieres pyrolyse gaz pauvres, fermentations alcooliques et méthanogènes...).

En ce qui concerne le deuxième point, il est important de tenter une évaluation de l'ordre de grandeur de sa contribution potentielle. Peu d'efforts ont été faits dans ce sens et il convient de souligner leur fragilité manifestée par des écarts importants de résultats. Les deux tableaux suivants concernent pour le premier les déchets céréaliers et animaux et pour le deuxième les ressources végétales dans leur ensemble, animales et agro-industrielles.

TABLEAU 1 : Ressources de déchets agricoles en 1973 (Source 11)

Afrique	44	en millions de tec
Moyen Orient	24	
Extrême Orient	200	
Pays d'Asie à Planification Centralisée	74	
Amérique Latine	110	
Total Tiers-Monde	452	

(1) *Relais Technologique*, ENDA, B.P. 3370, Dakar, Sénégal. Ce document a été présenté à la 2e Conférence Internationale de Technologie (AUPELF - Université du Bénin), Lomé, Togo, 14-20 janvier 1981.

TABLEAU 2 : Déchets en Amérique Latine

Source 12

en millions de tep

Déchets	Végétaux	Animaux	Agro-industriels	Total
1975	17	30	17	64
1985	29	44	32	105
1995	50	62	55	167

Ces chiffres représentent des ressources considérables qui ne sont mises en valeur actuellement que dans une proportion infime. Les seuls résultats substantiels obtenus jusqu'à aujourd'hui sont ceux du Brésil avec le plan Alcool qui doit permettre d'économiser 20 % des consommations d'essence en 1980 soit une quantité d'énergie de l'ordre de 3 M tec et ceux de la Chine dont le programme de diffusion du Biogaz entraîne une économie de l'ordre de 2,5 à 5 M tec.

On doit noter les efforts entrepris par l'agro-industrie qui dispose de déchets concentrés et doit faire face à des besoins de chaleur importants, c'est sans doute dans ce domaine que des résultats rapides peuvent être obtenus le plus rapidement. On estime ainsi que le Sénégal pourrait tirer de la biomasse industrielle l'équivalent de 10 % de ses importations de pétrole (y compris par des plantations énergétiques d'eucalyptus).

Une politique volontariste de mise en valeur du gisement biomasse pourrait fournir au Tiers-Monde en l'an 2000 une quantité d'énergie de l'ordre de 100 M tec ce qui reste faible en comparaison d'une demande de bois de feu de l'ordre de 770 M tec probablement satisfaite à concurrence de 480 Tec.

Il doit être clair que les efforts les plus importants devront être réalisés dans le domaine de la gestion des ressources en bois de feu et de l'utilisation de cette ressource par des actions de reboisement et de diffusion de fourmeaux à bois.

## 2. Crise énergétique au Sahel et rôle possible du Biogaz

La filière Biogaz est remarquable parmi les modes de mise en valeur de la biomasse dans la mesure où elle permet d'envisager une valorisation décentralisée de sous produits animaux et végétaux, évitant ainsi le drainage de valeur ajoutée vers la sphère agro-industrielle, ce qui est l'une des contraintes que doivent respecter les politiques de développement rural désireuses de lutter contre les processus de dégradation tant socio-économiques qu'écologiques ayant cours dans les pays du Sahel.

Nous envisageons donc le développement du biogaz sous forme de petites unités familiales ou villageoises dont les utilisations pourront être la cuisson des aliments, l'éclairage domestique, la petite irrigation à vocation maraîchère et l'enrichissement des sols. Ces usages correspondent pour une part à des demandes de groupements villageois de plus en plus nombreux et pour le reste à des besoins risquant de devenir cruciaux à court terme ou moyen terme.

Il n'y a pas lieu de s'attarder ici sur la gravité et la complexité du processus de déboisement au Sahel. Nous rappellerons cependant ses conséquences principales :

- surcharge de travail en milieu rural pour la collecte de combustibles ;
- accroissement des difficultés monétaires en milieu urbain ;
- aggravation de la dégradation des sols par absence de protection du sol contre les érosions éoliennes et pluviales et absence de la régénération du sol permise par les arbres, leurs feuilles et leurs racines ;
- conséquences à long terme sur l'ensemble de l'écosystème.

On note déjà par endroits une modification des rythmes et de la cuisson des repas par manque de bois et une enquête en cours sur les consommations de bois de feu fait ressortir que la cuisson des aliments est assurée en fin de saison sèche par la combustion de déchets végétaux ou animaux (partie Nord de la région de MARADI-NIGER).

Il devient alors bien plus intéressant du point de vue énergétique de faire fermenter ces déchets et de brûler le gaz produit ; de plus le résidu de fermentation aura une utilisation potentielle comme fertilisant de meilleure efficacité que les déchets intrants.

En outre le phénomène de déboisement va en s'accélégrant, accélération actuellement masquée en de nombreux endroits (région de Nara au Mali par exemple) par l'existence de stocks importants d'arbres tués par la sécheresse. On est donc en présence d'un processus dont les conséquences extrêmes risquent de se manifester très brutalement dans les dix ou vingt prochaines années.

Pour ce qui est de la dégradation des sols, elle a aussi été compensée par la possibilité d'étendre les cultures et de réduire les jachères qui trouvera sans doute sa limite, elle se trouve accentuée aujourd'hui par la dégradation du couvert boisé et la modification de l'articulation traditionnelle entre agriculture et élevage. Nul doute que ces phénomènes soient perçus par les paysans, qui sont par exemple souvent prêts à dépenser de l'argent pour que des troupeaux passent la nuit sur leurs champs. La technologie du biogaz devrait donc à terme pouvoir être accueillie favorablement puisqu'elle répond à deux crises graves dont les conséquences pourraient être un abandon des terroirs traditionnels.

Par ailleurs de nombreux groupements paysans se forment en zone sahélienne pour promouvoir une revitalisation des villages. L'une des demandes les plus souvent rencontrées est une demande d'eau pour l'irrigation de petits périmètres. Les difficultés et le coût de l'approvisionnement de carburant se font de plus en plus sentir et ouvrent la porte à une percée du biogaz qui semble réalisable dans ce domaine.

Il semble enfin que la possibilité de disposer d'un éclairage même s'il ne s'agit pas d'un besoin crucial valorise énormément le biogaz aux yeux des utilisateurs et c'est donc un aspect à ne pas négliger.

Il apparaît que la technologie étudiée est de nature à répondre aux besoins de la zone sahélienne. Il reste donc à examiner les conditions de son insertion. Nous le ferons ci-dessous dans un contexte de villages d'agriculteurs ; un travail similaire plus complexe sans doute serait à faire pour ce qui est de l'utilisation du biogaz par les éleveurs.

### 3. Possibilités d'insertion du biogaz au Sahel

Pour le planificateur sahélien, la question la plus difficile posée par le biogaz est celle de la facilité avec laquelle on peut envisager son insertion dans les systèmes de production animale et végétale.

On doit être averti en particulier des critiques adressées par certains économistes Indiens au programme de développement du biogaz dans leur pays qui selon eux risque de mobiliser au profit d'une couche minoritaire les ressources en déchets d'origine animale jusqu'ici accessibles à tous.

La filière biogaz doit en effet s'intégrer aux systèmes de production animale et végétale aussi bien en amont qu'en aval et ceci de manière complexe.

- En aval d'abord car la fermentation méthanogène est un des moyens qui permettraient de réaliser l'apport de matière organique nécessaire aux sols ; le gaz produit permettrait aussi une extension de l'irrigation des cultures ; enfin de manière moindre et plus diffuse la limitation des consommations de bois de feu pourrait contribuer à protéger des arbres dont le rôle favorable aux cultures a été exposé plus haut.

- En amont surtout : la filière biogaz traite une matière première constituée d'herbes de jachères, de déchets de récolte et/ou de déjections animales. Cette question de l'approvisionnement de la filière en matières premières est compliquée par le fait que les herbes de jachère et les déchets de récolte constituent eux-mêmes le substrat du système de production d'animaux et donc de déjections animales.

L'élevage porcin ou avicole surtout lorsque il est concerné présente de très bonnes opportunités de développement du biogaz mais cela reste un cas particulier. La majorité du bétail est elle constituée par des troupeaux divagants dont les déjections sont difficilement mobilisables ; il est par contre intéressant de noter le développement d'un élevage stabulé. Nous montrerons d'autre part que l'utilisation des herbes de jachère et des déchets de récolte pose bien des problèmes pour certaines régions, dans la mesure où ils sont très largement mobilisés pour l'alimentation du bétail et comme matériaux de construction.

De manière générale, on assiste à une crise de l'articulation entre les systèmes de productions animales et végétales. Le développement à grande échelle de la filière biogaz serait à la fois conditionnant et conditionné par l'évolution de cette crise.

## Etude d'un cas : le bassin arachidier sénégalais

On saisira mieux l'ampleur de ces questions en se penchant sur un cas, particulier certes, mais cependant suffisamment significatif. L'Etude attentive pour le bassin arachidier, des flux d'herbes de jachère, de déchets végétaux et animaux montre qu'on a en fait tort de parler de déchets. Il n'y a pas à proprement parler de gaspillage mais au contraire une utilisation systématique des sous-produits, qui va en s'intensifiant mais qui pourrait néanmoins être améliorée.

La répartition des sous-produits végétaux se fait grossièrement entre trois utilisations d'importance comparables : utilisation comme matériau de construction, ramassage et souvent commercialisation pour l'alimentation du bétail, alimentation du bétail sur le champ et brûlage de ce qui reste en fin de saison sèche ; cette dernière part pourtant tend vers zéro en cas de mauvaise pluviométrie. Le tableau ci-dessous donne les productivités à l'hectare pour chacun de ces déchets ou sous-produits.

Tiges de mil	1,5 à 3 t/ha
Fanes d'arachide	0,6 à 1,5 t/ha
Herbes de jachère	0,3 à 3 t/ha

En ce qui concerne les déjections animales on distingue aussi trois types d'utilisations : l'enrichissement du sol par le bétail divagant, l'enrichissement dans le cadre des contrats de parage de saison sèche du bétail transhumant, le parage d'hivernage du bétail sédentaire.

Ce système d'utilisation des déchets végétaux et animaux est en pleine mutation à la suite de l'évolution des conditions de la production animale et végétale : augmentation des surfaces cultivées, diminution des périodes de jachère, développement d'un élevage dans le carré pour le trait et l'embouche.

On assiste d'autre part sans doute à la suite du développement de cet élevage stabulé à une mobilisation croissante des sous-produits végétaux. Alors que ce n'était pas le cas il y a une dizaine d'années les fanes d'arachide sont totalement stockées et font l'objet d'une spéculation intense, les herbes de jachère sont récoltées depuis plusieurs années et ceci dans certains cas jusqu'à l'épuisement du stock ; enfin phénomène récent les tiges de mil sont désormais récoltées dans une proportion allant de 30 à 50 %. Une véritable appropriation privée des déchets végétaux se développe qui se manifeste par la mise en défens des champs après la récolte et par des échanges monétarisés importants, phénomène qui donne lieu à des conflits fréquents entre agriculteurs et éleveurs et qui est par ailleurs plus marqué au Nord qu'au Sud de la région.

Par suite l'élevage traditionnel non sédentarisé aura sans doute du mal à se maintenir, ce qui créera des difficultés pour les propriétaires de peu de bêtes bénéficiant jusqu'à présent de la possibilité de confier leurs bêtes au gardien d'un troupeau important. D'autre part, une autre conséquence est d'ores et déjà une diminution des parcs de saisons sèches de bétail transhumant non compensée par les parcs de bétail sédentarisé moins nombreux. Comment pourrait se faire le développement du biogaz à grande échelle dans ce contexte ? Il faut d'abord envisager quel substrat pourrait être utilisé et plus précisément s'il s'agirait d'un substrat de déchets à dominante animale ou végétale.

La disponibilité actuelle de tiges de mil (50 % du total) ne fournirait qu'environ 50% de ce qui est nécessaire pour satisfaire les besoins de gaz pour la cuisine des familles. Ce calcul est fait sur la base de :

100 l de gaz par kg de matière sèche entrante  
 0.5. ha de mil par personne  
 2 t. de tiges de mil par ha dont 50 % serait disponible  
 Besoin de 0.2 m3 de gaz par personne et par jour pour la cuisine.

Les paramètres étant soumis à de fortes variations, nous ne prétendons donner qu'un ordre de grandeur de la contribution potentielle des déchets de mil aux besoins énergétiques des familles.

Il faut cependant noter qu'une telle utilisation des tiges de mil accroîtrait encore les difficultés de l'élevage traditionnel. On peut envisager de faire jouer un rôle plus grand aux déchets végétaux à la condition d'un relâchement de la demande dont ils sont l'objet ce qui peut être provoqué par un ou plusieurs des facteurs suivants : un net recul de l'élevage, par un abandon des végétaux dans l'habitat, par un développement important des cultures fourragères corrélatif à une augmentation de la productivité des sols, un arrêt de l'extension des surfaces consacrées à l'arachide et au mil. Le complément nécessaire à la satisfaction partielle ou totale de besoins de gaz pour la cuisson serait apporté par les déjections des animaux stabulés puisque la stabulation a tendance à se développer et il est certain que dans ce cas l'apport de matières organiques au sol serait amélioré de manière très sensible.

Il est cependant à craindre que les paysans les moins favorisés ne puissent pas participer à ce processus de sédentarisation du bétail.

Le biogaz pourrait être une arme précieuse favorisant des processus d'intensification de l'agriculture et de l'élevage. Réciproquement les modalités de son développement dépendront de l'évolution des crises du système agraire et de ses relations avec l'élevage en particulier de l'intérêt que les paysans trouveront à développer les cultures fourragères, l'intensification de l'agriculture, la stabulation du bétail et donc des niveaux des prix des produits agricoles.

Les modalités d'usage de la technologie que nous étudions ne se dessineront vraiment qu'au moment où les rapports entre les différents systèmes d'élevage et d'agriculture se seront stabilisés et son usage ne s'imposera que lorsque les problèmes de productivité des sols et de manque de bois deviendront cruciaux, même si les paysans sont dès aujourd'hui conscients de ces problèmes.

## 5. Analyse des expérimentations en cours et propositions

ENDA a établi fin 78 une carte des expérimentations de production de méthane en cours. Il en ressort que cette technologie suscite beaucoup d'intérêt un peu partout en Afrique. Les expériences recensées ont été poursuivies dans des directions variées : mise en place de technologies chères ou bon marché, de filières en continu ou discontinu. Cette réunion devrait permettre de faire le point sur ces problèmes et il nous semble primordial que chacun puisse profiter des expériences des autres. On note que l'ISRA du Sénégal a ainsi repris la technologie développée par l'ISP de Bukavu au Zaïre. Il semble que les Zaïrois aient rencontré des problèmes graves de corrosion des bidons servant de cuve, alors que ce problème a été mieux résolu au Guatemala par le CEMAT.

Un effort de coopération avec la Chine semble s'imposer et il est possible de suggérer qu'un organisme Africain se charge d'évaluer le coût dans les conditions locales de la construction des fermenteurs de type chinois, la documentation commençant à être largement disponible dans ce domaine avec la traduction en français du manuel chinois du Biogaz.

En ce qui concerne les stratégies d'expérimentation-diffusion problème-clé s'il en est, nous avons souligné la complexité des problèmes d'insertion en milieu sahélien, il nous semble donc que les expérimentations doivent se dérouler le plus rapidement possible en situation réelle ; les phénomènes socio-économiques ne pourront en effet être évalués qu'au fur et à mesure de leur manifestation.

Il semble aussi que, pour la filière continue, en particulier, des tâtonnements soient nécessaires pour que se crée au niveau local le savoir faire indispensable. Il est probable ainsi que se mettront en place des solutions transitoires entre l'utilisation du bois et du diesel et l'utilisation du méthane. Une autre possibilité de transition sera, dans les régions où le bois ne manque pas encore gravement, de développer des formules de compostage sans production de gaz.

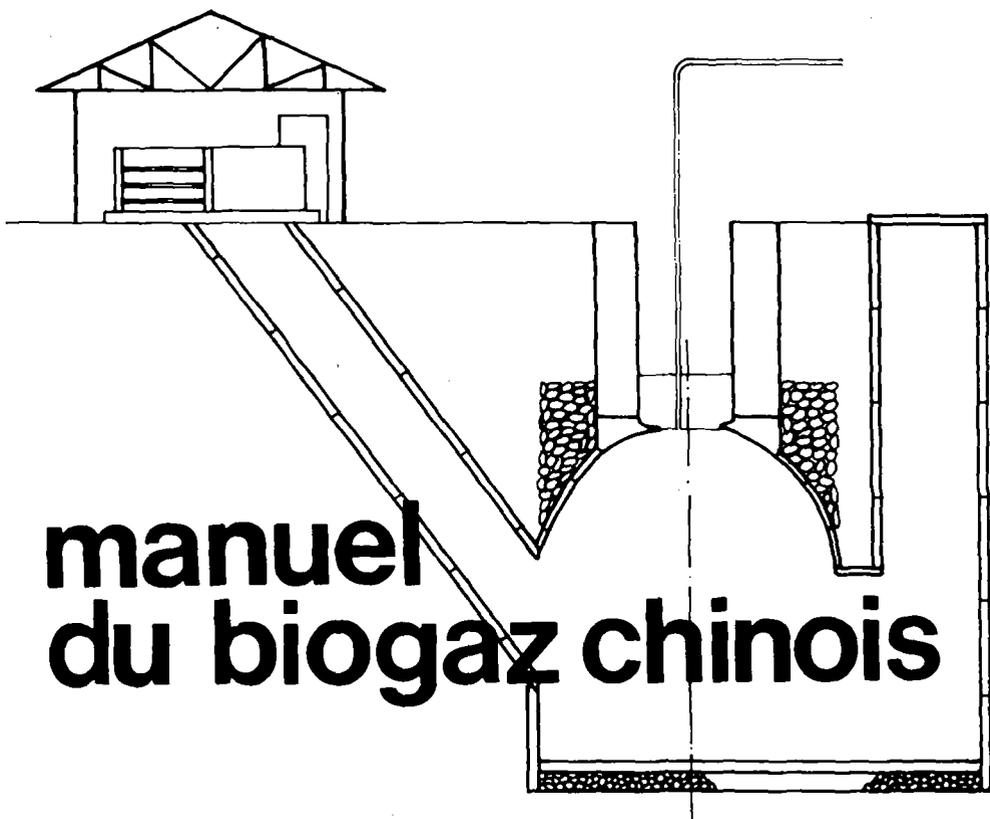
On ne soulignera jamais assez l'importance du travail d'encadrement et d'évaluation à fournir dans une phase transitoire de ce type, il consistera à repérer toutes les conditions à réaliser pour le développement large de la filière ou à conclure à son inadéquation, et nécessitera la mise en place d'efforts et de formes de coopération (sud-sud en particulier) plus cohérents que par le passé.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) Ariane Van BUREN *The Chinese Development of Biogas and its Applicability to East Africa in Energy and Environment in East Africa, Proceedings of an International Workshop UNEP, Nairobi, March 1980.*
- (2) MOLLE (J.F.) *Les potentialités de la biomasse au Sénégal. Compte rendu de mission au Sénégal Août 1979.*
- (3) BERTHEAU (Y) *Note sur les fermenteurs méthanogènes au Sénégal ISRA 1980.*
- (4) LIDON, SOLA, NACRO *La Filière compost-Biogaz : une contribution à une politique intégrée des ressources naturelles dans la zone Soudano-Sahélienne in report on the international Biogas Workshop Bremen May 16 th 20 th 1979. German Agency for Technical Cooperation.*
- (5) DREVON (J.J.) *Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols dans le bassin arachidier au Sénégal ISRA. 1978.*
- (6) SEZE (O.) *Enquêtes sur les disponibilités en matières organiques et leurs modes de restitution aux sols dans la région du Sine Saloum ISRA. 1979.*
- (7) LAGANDRE *Prospective Energétique et Développement Rural au Tiers-Monde : Exemples de l'Inde et du Sahel DEA - EHESS Paris 1979.*
- (8) DARTOIS HOURCADE  
LAGANDRE *Contribution potentielle des nouvelles énergies renouvelables aux besoins énergétiques des pays en voie de développement CIRED/CNUCED PARIS 1980.*
- (9) GODARD *Le compost de broussaille en Haute Volta Frère des Hommes 1976.*
- (10) TCHARRERIAN (E.) *Les relations entre agriculture et élevage dans un milieu agro-pastoral en évolution ISRA - 1980.*
- (11) PARIKH (J.K.) *Energy systems and development IIASA - Luxembourg, Austria, 1978.*
- (12) Fondation Bariloche *Requerimentos Futures des Fuentes No convencionales en America Latina PNUD/OLADE, Quito 1979.*
- (13) Manuel Chinois du Biogaz ENDA/GRET à paraître
- (14) DANG, LAGANDRE, THERY *Energie Solaire et Styles de Développement : Etude sur les usages de La Biomasse CIRED/PIRDES Paris 1979.*
- (15) *Utilisation du gaz méthane en Afrique en fin 78. Environnement Africain supplément Kuiga Mayele ENDA Dakar, Nov.1978.*

# enda

## G.R.E.T.



# manuel du biogaz chinois

doc. 4

à partir de la version anglaise publiée  
par Intermediate Technology Publication Ltd

étude du milieu, technologie  
et aménagement du territoire

**enda** : à la fois organisation internationale non-gouvernementale "Environnement et Développement du Tiers-Monde" et programme commun à plusieurs organisations, et parmi elles les suivantes :



Le Département de la Coopération Technique pour le Développement s'attache notamment à l'appui au développement endogène.

T.C.D., Nations-Unies, N.Y., 10017, (Etats-Unis).

L'Institut Africain de Développement Economique et de Planification, pour sa part, est un institut autonome placé sous l'égide de la Commission Economique des Nations Unies pour l'Afrique qui forme des planificateurs et mène des recherches sur le développement.

IDEP - B.P. 3186, Dakar (Sénégal)



Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement a été établi lors de la première conférence des Nations Unies sur l'environnement humain qui s'est tenue à Stockholm en Suède. Le programme du PNUE est fondé sur la constatation que les considérations d'environnement sont intimement liées à la démographie et aux ressources dans le contexte global du développement.

PNUE - B.P. 30552, Nairobi (Kenya)



L'Organisation Suédoise pour le Développement International est l'organe officiel du gouvernement suédois chargé de la coopération technique. Elle s'intéresse spécialement à l'aménagement de l'environnement, notamment aux problèmes ruraux et aux formes d'enseignement adaptées au Tiers-Monde.

SIDA - Birger Jarlsgatan 61, Stockholm (Suède)



La Coopération au Développement et aide humanitaire (DDA, ex CTS) relève du Département Politique Fédéral et appuie notamment des activités de développement à partir des communautés de base.

DDA - 3003 Berne (Suisse)



L'Institut Autrichien pour la Coopération Internationale est une organisation sans but lucratif qui est chargée de la coopération gouvernementale et privée dans le cadre de l'assistance technique au Tiers-Monde, 117.B.P.364, A-1010 - Vienne Autriche.

# environnement africain

cahiers d'étude du milieu et  
d'aménagement du territoire

Formulaire à détacher et à envoyer à ENDA, B.P. 3370, Dakar, Sénégal.

## ABONNEMENT

Formule choisie (indiquer la lettre en se référant au dos de la couverture).

A  B  A + B

Conditions financières : voir au dos de la couverture.

Les abonnements sont servis par volume, comprenant chacun quatre numéros.

## DEMANDE DE LISTE DE PUBLICATIONS

## COMMANDE DE DOCUMENTS

Indiquer avec précision le numéro, le titre et le prix.

.....  
.....

## MODE DE PAIEMENT

J'envoie à ENDA (B.P. 3370 - Dakar) mon règlement par

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> chèque bancaire à l'ordre de ENDA-T.M. | <input type="checkbox"/> C.C.P. 3 volets |
| ETR. 2. 143. 169-1, SGBS, 19 avenue Roume.                      | <input type="checkbox"/> bons UNESCO     |
| DAKAR (Sénégal)   | <input type="checkbox"/> autres .....    |
| <input type="checkbox"/> mandat-lettre                          |  |

## DESTINATAIRE DE L'ABONNEMENT OU DE LA COMMANDE

NOM .....

PRENOM (S) .....

.....

PROFESSION ET/OU FONCTION .....

.....

S'IL Y A LIEU, PUBLICATIONS .....

.....

CHAMPS D'INTERET .....

.....

N.B. Les souscripteurs doivent s'informer des règlements de change dans leur propre pays. Etant donné les frais d'encaissement prélevés par la Banque, ENDA est au regret de ne pouvoir donner suite à toute commande inférieure à 1000 F.CFA, 20 FF ou US \$ 5.00.

**onda** est à la fois une organisation internationale non-gouvernementale (ONGI) « Environnement et Développement du Tiers-Monde » et un ensemble de programmes menés conjointement avec plusieurs organisations, dont : le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, Nairobi), le Département à la Coopération Technique pour le Développement (DCTD, New-York), la Coopération Technique Suisse (DDA, Berne), l'Organisation Suédoise pour le Développement International (SIDA, Stockholm), l'Institut Africain pour le Développement Economique et de Planification (IDEP, Dakar), l'Institut Autrichien pour la Coopération Internationale (IIZ, Vienne), et l'Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI, Ottawa).

**onda** intervient dans les domaines de l'appui à l'auto-développement des groupes de base, la formation, la recherche, la publication et la vulgarisation en matière d'environnement et de développement dans l'ensemble des zones du continent africain, et il organise des échanges d'expériences, de connaissances et de techniques entre pays du Tiers-Monde.

#### ● Appui à l'auto-développement des groupes de base

A la fois en milieu urbain et en milieu rural, **onda** est à l'écoute des besoins de certains groupes de base, leur apporte son soutien en matière de technologie combinée et de formation. Un relais technologique fonctionne à **onda** avec le concours de plusieurs institutions. Il rassemble et redistribue des informations et propose des adaptations en fonction des environnements naturels et sociaux. Dans les actions menées avec les groupes de base comme dans le travail du relais, la plus grande attention est portée aux problèmes et perspectives des femmes, des enfants et des jeunes.

#### ● Formation

Depuis 1972, le programme et l'ONGI ont organisé dans de nombreux pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine, des sessions de formation et de réflexion, des séminaires et des conférences qui ont réuni près de 3.000 cadres, chercheurs et techniciens venant des différentes zones écologiques du Tiers-Monde. **onda** organise aussi des cours post-universitaires de formation en « écologie et aménagement », de trois mois chacun, sur les thèmes : « initiation à l'écologie appliquée », « aménagement des écosystèmes ruraux », « aménagement des écosystèmes urbains », « aménagement régional ». **onda** met en place et anime des cours sub-régionaux portant sur le développement et l'environnement.

#### ● Recherche

En étroite liaison avec des établissements de formation, des instituts de recherche et des services officiels, **onda** participe à l'orientation de la recherche, apporte son assistance à des chercheurs du Tiers-Monde et organise des groupes de recherche-action, notamment à propos :

- des écosystèmes ruraux et urbains ;
- des bases régionales de l'éco-développement ;
- de l'environnement infra-urbain et des disparités socio-spatiales ;
- de la situation des petits métiers, des énergies alternatives, des technologies combinées et de la participation de la population au développement

#### ● Consultations et expertises :

A la demande des Gouvernements ou institutions de recherche et de formation du Tiers-Monde, ou des organisations rattachées aux Nations Unies.

#### ● Publications

##### 1. Environnement africain/african environment

- revue trimestrielle éditée en français et en anglais
- suppléments « Etudes et Recherches » — « Occasional Papers »
- numéros hors série
- suppléments préparés par le relais technologique

##### 2. Série « onda - documents Tiers-Monde »

##### 3. Etudes et essais (document rotocroisé à tirage limité).

# african environmental studies and regional planning bulletin

## environment

### A. PERIODICAL, published in French and in English. REVUE PERIODIQUE.

- n° 8 - 9 : special issue on agriculture (600 F. CFA, 9 \$)  
 n° 10 : in particular « The regional impact of a new highway in Sierra-Leone » by J. A. S. Blair (300 F. CFA, 4.50 \$).  
 n° 11 - 12 : special issue on traditional technologies (2000 F. CFA, 15 \$).  
 n° 13 : in particular « The Dolphin Scheme in Lagos » by O. Areola (500 F. CFA, 7.50 \$).  
 n° 14 - 15 - 16 : Unicef - Enda special joint issue on childhood - youth in the sudano-sahelian environments (2.500 F. CFA, 30 \$).

### B. SUPPLEMENTS « OCCASIONAL PAPERS », « ETUDES ET RECHERCHES » (64 issues already published - Titles and prices available on request).

#### C. NUMBERS « HORS-SERIE ».

- « Rural housing in Africa » (out of print).
- « Cartographical approach of the medical and health environment in Senegal » (2000 F. CFA).
- « Caribbean environment » (450 F. CFA, 5 \$).
- « African environment - arab environment », in arabic (450 CFA, 5 \$)

#### D. « ENDA THIRD WORLD DOCUMENTS » SERIES. « ENDA - DOCUMENTS TIERS MONDE ».

- Quelques aspects environnementaux de la santé et de la nutrition, out of print.
- A propos de la santé, out of print.
- Que consommer pour être en bonne santé? (Werner), 300 F. CFA, 4.50 \$.
- Manuel du biogaz chinois
- Limitations of U.N. technical assistance. Sri Lanka as a case study (Bartolo). 500 F. CFA, 7.50 \$.
- Ecotechniques pour les tropiques humides (Romanini), 800 F. CFA, 12.00 \$.
- La vie dans nos mers (Michel) Enda Océan Indien, 1900 F. CFA, 28.50 \$.
- Quelle formation pour l'aménagement des environnements africains? (Cissé, Bugnicourt), out of print
- Enfants et jeunes dans l'environnement infr urbain (Bugnicourt), 250 F. CFA, 3.75 \$.
- The medicinal plants of Mauritius (Wong Ting Fook) Enda Océan Indien, 350 F. CFA, 5.25 \$.
- Communiquer à la base : pour manipuler ou libérer? (in press).
- Femmes des îles de l'Océan Indien occidental, Enda Océan Indien, in press.
- Transports en sursis? (s.d. Guibbert) 800 F. CFA, 11 \$.
- Enda at work.
- Regards sur le monde rural mauricien (s.d. Benoist), Enda Océan Indien, 550 F. CFA, 8 \$.
- Antilles et Mascareignes : constantes et variations des archipels créoles (Benoist), Enda Caraïbes, (out of print).

#### E. « TECHNOLOGICAL RELAY » Series (available on request).

#### F. SPECIAL REPORTS (order directly from IAI, 210 High Holborn, London WC1V7BW).

- African environments : problems and perspectives, 3.50 \$.
- Rehab : drought and famine in Ethiopia, 4.50 \$.
- Cholera in Africa : diffusion of the disease 1970-75, 4.50 \$.
- Environmental research register, 4.50 \$.
- Land use and development, 4.50 \$.

### PRICES

- A, B, C, D, E :** Apply to ENDA, P.O. Box 3370, Dakar, Senegal.  
**F.** order from IAI, 210 High Holborn, London WC1V7BW, G.B.

#### I. PURCHASE OF A SINGLE ISSUE (Postage not included)

Prices given in CFA Francs apply to Third World countries. Prices given in \$ (or equivalent in convertible currency) apply to the rest of the World. Third World institutions : increase Third World prices by 50%. Students : reduce prices for corresponding areas by 30%.

II. SUBSCRIPTIONS (postage included)	Third World			Other countries
	regular	students	institutions	
A Periodical (4 issues a year)	2000 F CFA or \$ 10	1400 F CFA or \$ 7	3000 F CFA or \$ 15	120 FF or \$ 30
B Occasional Papers (10 issues) Etudes et Recherches. (10 n°).	3600 F CFA or \$ 18	2100 F CFA or \$ 10.50	4500 F CFA or \$ 22.50	180 FF or \$ 45
A + B Combined subscription	4500 F CFA or \$ 22.50	3150 F CFA or \$ 15	6700 F CFA or \$ 33.50	270 FF or \$ 67.50