

**UNITE PILOTE TRANSPAILLE  
POUR LA VALORISATION ENERGETIQUE  
DE LA PULPE DE CAFE AU MEXIQUE**

**Rapport final de recherche**

**JL. FARINET - CIRAD-CA**

Septembre 1995

**Etudes et Recherches financées par le Ministère de l'Industrie,  
des Postes et Télécommunications et du Commerce Extérieur -  
Convention n° 93-218-0148**

**UNITE PILOTE TRANSPAILLE  
POUR LA VALORISATION ENERGETIQUE  
DE LA PULPE DE CAFE AU MEXIQUE**

**Rapport final de recherche**

**JL. FARINET - CIRAD-CA**

Septembre 1995

**Etudes et Recherches financées par le Ministère de l'Industrie,  
des Postes et Télécommunications et du Commerce Extérieur -  
Convention n° 93-218-0148**

## NOTE DE SYNTHÈSE

Le Mexique est le quatrième producteur mondial de café, qui constitue une importante ressource agricole du pays. Le café est cultivé entre 800 et 1700 mètres d'altitude dans 12 États mexicains, dont les principaux sont ceux de Veracruz, Chiapas et Oaxaca.

La production de café vert marchand nécessite tout une série de traitements post-récoltes qui sont réalisés en 2 grandes phases:

- la préparation par voie humide qui permet la production de café parche à partir des cerises récoltées dans les plantations;

- le déparchage/conditionnement, qui permet la production des cafés verts commerciaux à partir du café parche.

La première phase de préparation est décentralisée dans de nombreuses usines à proximité immédiate des plantations, alors que la deuxième est centralisée dans de grandes usines proches des lieux de commercialisation. La préparation par voie humide nécessite l'emploi de grandes quantités d'eau et engendre 2 sous-produits: la pulpe de café et les eaux résiduaires. Les autorités mexicaines sont très sensibilisées aux problèmes de pollution localisée entraînés par ces sous-produits et le Gouvernement a promulgué une loi qui fixe les normes à appliquer aux rejets d'effluents dans le milieu naturel.

Depuis plusieurs années, le CIRAD travaille à l'amélioration de la caféiculture et au développement de cette production dans la zone de Xalapa/Coatepec, dans l'État de Veracruz, en collaboration avec les institutions locales et une coopérative de producteurs, l'ABCC. Ces travaux ont permis de définir les conditions d'une meilleure prise en compte de la protection de l'environnement dans les usines de préparation par voie humide, notamment à travers la réduction de la consommation d'eau, le traitement de l'effluent concentré et la valorisation de la pulpe.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent projet, avec pour objectif de tester une filière de valorisation de cette pulpe par la voie de la fermentation anaérobie qui permet la production d'énergie et de compost. Ces 2 produits sont ensuite réutilisables sur place, respectivement pour l'alimentation énergétique des usines et pour la replantation des caféiers. Le procédé "TRANSPAILLE", mis au point et breveté par le CIRAD pour d'autres applications dans les domaines agricole et agro-industriel, est bien adapté à ce type de substrat solide à forte humidité. La digestion anaérobie de la pulpe de café a été peu étudiée et l'adaptation du procédé nécessitait la mise en oeuvre d'une unité pilote afin d'en établir le référentiel technique préalable.

Le projet a été conduit en 2 phases successives:

1. Etudes préalables de diagnostic, d'identification des partenaires et du site d'implantation et de conception de l'unité pilote;

2. Fabrication, mise en place et suivi de l'unité pilote au cours d'une première campagne.

La première phase a été menée à bien au cours des 9 premiers mois, à la suite d'une mission sur place de 2 experts du CIRAD. La coopération existante entre le CIRAD et l'ABCC dans la zone de Xalapa/Coatepec a permis de formaliser le projet et d'en définir l'implantation. Afin de préparer le transfert de technologie ultérieur, en cas de succès de la phase pilote, le CIRAD s'est par ailleurs assuré la participation d'un industriel mexicain, l'entreprise SEQUOIA basée à Xalapa.

Les travaux de fabrication et d'implantation de l'unité pilote ont débuté en juillet 1994 et ont été réalisés conjointement par le CIRAD et SEQUOIA, en collaboration avec l'ABCC qui a mis à notre disposition le site de l'usine "EL Fundador" à Coatepec. A l'issue de ces travaux, l'unité pilote a été mise en service début février 1995 et a été inaugurée le 28 avril 1995 en présence des autorités françaises. Les équipements mis en place comprennent:

- un fermenteur TRANSPAILLE de capacité 5 m<sup>3</sup>, semi enterré, avec régulation de température et centrale hydraulique de commande;
- un gazomètre de stockage du biogaz de capacité 10 m<sup>3</sup> en PVC souple normalisé avec réseau d'adduction du biogaz;
- une aire de stockage et maturation du compost ;
- les équipements de mesure: compteurs et analyseur à biogaz, pHmètre, thermomètre.

L'ensemble est installé sur une aire bétonnée couverte de 27 m<sup>2</sup> aménagée à cet effet.

Les premiers essais de fermentation se sont déroulés de février à mai 1995, suivant le protocole d'expérimentation pré-établi. Les principaux résultats sont les suivants:

### **Caractéristiques de la pulpe de café**

Au cours de la première partie de la campagne d'essai, de février à avril 1995, plus de 20 analyses de pulpe fraîche âgée d'un jour au plus ont été réalisées, au rythme de 1 à 2 prélèvements par semaine. Les résultats moyens sont les suivants:

- matière sèche (MS): 13% de la matière brute
- matière organique (MO): 94% de la MS, soit 12,2% de la matière brute
- pH: 4 à 4,5

A l'approche de la fin de campagne, il a été nécessaire d'utiliser de la pulpe stockée pendant 2 à 5 jours. Les analyses montrent qu'elle ne subit pas dans ce cas de dégradation notable de son potentiel de digestion.

### **Phase de démarrage**

Le profil acide du substrat a nécessité quelques précautions particulières pour le démarrage du fermenteur "TRANSPAILLE". A l'issue de l'ensemencement initial, le fermenteur a été progressivement rempli sur 83 jours avec des charges journalières augmentant progressivement de 10,5 à 76,2 kg pulpe/j, soit 1,3 à 9,3 kg MO/j. Après une phase de latence, la production de biogaz a augmenté régulièrement et le pH est resté au voisinage de la neutralité dans la dernière partie du fermenteur. Les résultats obtenus nous ont permis d'approcher par le calcul le

rendement ultime de la digestion anaérobie de la pulpe de café, qui se situerait à 0,774 m<sup>3</sup> biogaz/kg MO ou 0,387 m<sup>3</sup> méthane/kg MO.

### **Phase de régime continu**

Le régime continu du fermenteur n'a pu être maintenu qu'au cours des 22 derniers jours de la campagne. Une plage de régime permanent avec une charge moyenne de 134,2 kg pulpe/j, soit 16,3 kg MO/j, a été maintenue. La production de biogaz moyenne est de 2,9 m<sup>3</sup>/j, soit un rendement de 0,179 m<sup>3</sup>/kg MO, indiquant que l'on s'approche de la charge maximale sans correction du pH. Ce résultat est à confirmer lors de la prochaine campagne d'essai qui doit débuter en novembre 1995.

Bien que ces résultats soient encore insuffisants pour conclure sur les performances définitives de la filière proposée, les nombreux contacts avec les professionnels mexicains nous ont permis d'aborder l'analyse économique à travers les perspectives d'utilisation des produits que sont le biogaz et le compost. Ainsi, sur la base d'un rendement de digestion de 0,320 m<sup>3</sup>/kg MO, l'utilisation du biogaz suivant le principe de la cogénération permettrait à une usine une autonomie complète en électricité et une autonomie de 25% en énergie thermique. A priori, le compost serait principalement utilisé dans les pépinières de caféiers et pourrait se substituer aux supports de cultures traditionnels.



# **SOMMAIRE**

## **I - AVANT-PROPOS**

## **II - PRESENTATION GENERALE DE LA FILIERE CAFE AU MEXIQUE**

II.1 - ORGANISATION DE LA FILIERE

II.2 - LA PREPARATION PAR "VOIE HUMIDE" AU MEXIQUE

II.3 - LES SOUS-PRODUITS DE LA PREPARATION

## **III - MONTAGE INSTITUTIONNEL DU PROJET**

III.1 - ORGANISMES PARTICIPANTS ET REPARTITION DES TACHES

III.2 - MONTAGE FINANCIER

## **IV - PRESENTATION DE L'UNITE PILOTE**

IV.1 - LA DIGESTION ANAEROBIE ET LE PROCEDE "TRANSPAILLE"

IV.2 - APPLICATION A LA PULPE DE CAFE

IV.3 - DESCRIPTIF TECHNIQUE

IV.4 - FABRICATION ET IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS

## **V - RESULTATS OBTENUS**

V.1 - PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION

V.2 - RESULTATS ET INTERPRETATION

## **VI - ELEMENTS POUR L'ANALYSE ECONOMIQUE**

## **VII - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXES**



## **I - AVANT-PROPOS**

Le Mexique est un important producteur de café qui occupe le 4ème rang mondial. Cependant, il n'est pas très bien placé sur le plan de la technologie post-récolte et de la qualité, notamment par rapport à d'autres pays latino-américains tels que la Colombie, le Costa Rica, le Guatemala et le Salvador. Par ailleurs, les autorités mexicaines sont très sensibilisées aux problèmes que pose la contamination des cours d'eau par les sous produits de préparation du café vert par "voie humide".

L'objectif essentiel du projet consistait à l'étude préalable, la mise en place et le suivi d'une unité pilote implantée en milieu industriel au Mexique et permettant l'adaptation du procédé TRANSPAILLE au cas spécifique de la valorisation de la pulpe de café. Cette technologie de digestion anaérobie en milieu solide a été mise au point par une équipe de chercheurs du CIRAD, sur les fumiers pailleux et la matière stercoraire. Par ailleurs, une autre équipe de chercheurs du CIRAD a travaillé de longue date sur la filière café dans l'état de Veracruz, au Mexique.

Dans cet état, la région de Xalapa/Coatepec est l'une des principales zones caféières du pays. L'action des chercheurs du CIRAD s'est développée dans le cadre d'un projet de coopération les associant à des institutions ou groupements de producteurs locaux. Les thèmes essentiels de leurs travaux concernent la modernisation de la caféiculture, la diversification des productions agricoles et la technologie post récolte.

L'adaptation du procédé TRANSPAILLE à la valorisation de la pulpe, associée à d'autres actions dans le domaine de la reconversion de la préparation du café par "voie humide", est donc un complément logique aux opérations déjà développées dans le cadre de cette coopération. L'intérêt des autorités et des techniciens mexicains pour la modernisation de la technologie caféière rend cette démarche particulièrement opportune.

Les travaux qui font l'objet de ce rapport ont été effectués au Mexique et en France et se sont déroulés en 2 phases successives:

1. Etudes préalables de diagnostic, d'identification des partenaires et du site d'implantation et de conception de l'unité pilote;
2. Fabrication, mise en place et suivi de l'unité pilote au Mexique.

La phase 1 a fait l'objet d'un rapport intermédiaire en Mai 1994. Le présent rapport final reprend les principaux enseignements mis à jour (§ II à IV), puis présente les équipements mis en œuvre au Mexique et expose les résultats obtenus au cours de la campagne caféière 1994/95.

## **II - PRESENTATION GENERALE DE LA FILIERE CAFE AU MEXIQUE**

### **II.1 - ORGANISATION DE LA FILIERE**

Le Mexique est le 4ème producteur mondial de café (essentiellement arabica), après le Brésil, la Colombie, et l'Indonésie. L'évolution de la production nationale, au cours des treize dernières années, est présentée dans le tableau 1.

**Tableau 1 - Evolution de la production de café vert au Mexique**

CAMPAGNE	PRODUCTION NATIONALE DE CAFE VERT	
	(en sacs de 60 kg par an)	(en tonnes par an)
1980/81	3 862 000	231 720
1981/82	3 900 000	234 000
1982/83	4 530 000	271 800
1983/84	4 530 000	271 800
1984/85	4 250 000	255 000
1985/86	4 826 000	289 560
1986/87	5 297 000	317 820
1987/88	4 717 000	283 020
1988/89	5 500 000	330 000
1989/90	5 100 000	306 000
1990/91	4 550 000	273 000
1991/92	4 400 000	264 000
1992/93	4 200 000	252 000

Sources : "Café de Mexico"

Le café est une importante ressource agricole du pays, cependant sa part reste très modeste dans la formation du produit national brut.

### **Les caractéristiques de la zone caféière**

La zone caféière concerne douze états mexicains, parmi lesquels les principaux producteurs sont ceux de Veracruz, Chiapas et Oaxaca. Les caféiers sont cultivés entre 800 et 1 700 m d'altitude soit au soleil, soit sous ombrage d'Inga ou de bananiers plantains. Les variétés botaniques les plus fréquentes sont le Typica, le Bourbon, le Mundo Novo, Le Caturra et le Maragogype. La superficie des plantations de caféiers est extrêmement variable : si beaucoup sont inférieures à 5 ha, certaines dépassent largement 50 ha. Les producteurs sont parfois regroupés en coopératives.

### **La préparation du café**

Les petits exploitants ne possèdent généralement pas d'atelier de préparation et vendent le café en cerises fraîches à des intermédiaires. Les intermédiaires livrent les cerises aux usines de préparation (*beneficios húmedos*) qui préparent le café en parche sec. Ces usines de sont le plus souvent la propriété d'entrepreneurs privés, qui disposent parfois de grandes plantations. Certaines coopératives de producteurs se sont équipées d'une ou plusieurs usines. A l'issue de cette préparation, le café en parche sec est ensuite traité dans les usines de départage et conditionnement (*Beneficios secos*) appartenant à des sociétés privées d'exportation ou à des usiniers sous-traitants. Ces usines conduisent au café vert marchand.

Certains opérateurs possèdent à la fois des plantations, une ou plusieurs usines de préparation et une usine de départage et conditionnement. Ils peuvent ainsi exporter le café marchand eux-mêmes et leur activité s'étend, dans ce cas, à l'ensemble de la filière.

La filière café était autrefois encadrée par une structure étatique très importante, l'INMECAFE,

qui employait près de 2 000 personnes et prenait en charge :

- la recherche (agronomique et technologique),
- une partie du traitement et de la commercialisation du produit,
- la représentation du gouvernement mexicain dans le domaine du café.

Cet institut a été démantelé en 1993 pour être remplacé par un organisme beaucoup plus restreint, le *Consejo Mexicano del Café*, qui n'a conservé qu'un rôle de représentation, de suivi et d'animation.

### La préparation du café par "voie humide"

Une usine mexicaine de préparation par "voie humide" (*beneficio húmedo*) présente les éléments suivants :

- trémie(s) de réception pour séparer les cerises flottantes ainsi que les matières étrangères (pierres, branches et feuilles) ;

- dépulpeur(s) à disques ;

- bac(s) de fermentation en béton armé, parfois suivi(s) d'un canal de lavage et de classification du café en parche humide (la fermentation est généralement effectuée "à sec" pendant 24 à 48 heures) ;

- séchage artificiel intégral ou mixte :

- le café parche humide est égoutté sur des aires cimentées (*planillas*) ou des égouttoirs à ventilation d'air ;

- le séchage artificiel est conduit dans des séchoirs à tambour rotatif de type Guardiola.

La durée du séchage artificiel varie entre 18 et 30 heures, la température de l'air de séchage est souvent élevée (> 80° C). Le fuel-oil, bon marché au Mexique, est la source d'énergie la plus répandue, mais l'utilisation du gaz (LPG) se développe. La plus grande partie des équipements utilisés est construite localement.

Les usines de départage et conditionnement (*beneficios secos*) reçoivent le café en parche sec et le traitent jusqu'au stade du café vert marchand. Ces unités regroupent les opérations technologiques suivantes :

- nettoyage préalable et, éventuellement, re-séchage ;
- départage ;
- classification granulométrique ;
- triage densimétrique ;
- triage colorimétrique, le plus souvent électronique ;
- pesage et ensachage ;
- stockage et expédition.

Dans ce cas là également, la majorité des équipements est de construction locale, à l'exception toutefois des trieuses électroniques.

### Les types commerciaux du café vert

A l'achat, un échantillon de café en parche est départagé puis expertisé : une quantité excessive de défauts physiques entraîne une réfaction. Deux qualités de café marchand sont exportables: Altura (1ère qualité) et Prima lavado (2ème qualité). Les prix pratiqués en 1994 sont donnés tableau 2.

**Tableau 2. Les prix du café mexicain (en 1994)**

PRODUIT	ETAPE	PRIX
Café en cerises fraîches	payé au producteur	NP 0,650/kg
Café en parche sec	à la sortie du beneficio humedo	NP 190/q
Café marchand	à l'exportation	décote de US\$ 6 à 10/q, par rapport aux <i>Otros suaves</i>
Café torréfié	sur le marché consommateur mexicain	NP 10/kg

1 quintal (q) = 45,4 kg

cours du Nuevo Peso (NP) : US \$ 1,00 = NP 3,00 en 1994

## II.2 - LA PREPARATION PAR "VOIE HUMIDE" AU MEXIQUE

Les ateliers de préparation du café par la voie humide (*beneficios húmedos*) implantés au Mexique peuvent être classés en trois catégories données tableau 3.

**Tableau 3. Classement des ateliers de préparation selon leur capacité**

Capacité annuelle en équivalent café vert		Consommation en eau (en m <sup>3</sup> /jour)
(en quintaux/an)	(en tonnes/an)	
1 500	68	entre 5 et 15
20 000	908	entre 70 et 100
150 000	6 810	environ 500

La caféière de la région Xalapa/Coatepec représente environ 23 500 ha et 118 usines de préparation sont implantés dans cette zone. Les pratiques mises en oeuvre sont très diverses mais quelques principes généraux peuvent être retenus; nous les examinons ci-après.

### **La cueillette**

La cueillette est pratiquée manuellement ; en période de pointe, un récolteur peut cueillir jusqu'à 80 kg de cerises fraîches par journée. Le taux de cerises vertes dans la récolte est inférieur à 6 %.

### **La réception**

La réception est effectuée à sec ou sous eau, dans une trémie en béton armée munie d'un siphon de type classique.

### **Le dépulpage**

Les cerises sont dépulpées à l'aide de dépulpeurs à disques ; les dépulpeurs à tambour sont utilisés seulement dans l'état du Chiapas, où de nombreux producteurs traitent eux-mêmes le café manuellement.

Les cerises sont souvent dépulpées en un seul étage, sans dispositif de séparation du non dépulpe ni repasseur. Le café dépulpe contient, de ce fait, un taux de cerises et de pulpes folles relativement élevé.

### **La fermentation**

Le café dépulpe est soumis à une fermentation à sec dont la durée dépasse en général 24 heures. Les bacs, construits en ciment brut, ne sont le plus souvent ni carrelés ni peints. La taille des bacs est variable. La durée de la fermentation peut être attribuée aux conditions climatiques des zones caféières mexicaines, relativement fraîches et humides.

Certains ateliers pratiquent un léger trempage du café en parche humide pendant quelques heures après le lavage, mais ce n'est pas une règle générale.

### **Le lavage**

Le café fermenté est généralement soumis à trois lavages successifs dans les bacs en ciment. Le lavage manuel est encore pratiqué dans les installations de petite taille. Les ateliers plus importants utilisent des pompes à liquide chargé centrifuges fixes pour le transfert et le lavage du café en parche humide. Il n'y a généralement pas de classification densimétrique par flottation.

### **Le séchage**

Le séchage artificiel est largement répandu car les conditions atmosphériques locales rendent le séchage solaire difficile à appliquer. Après le lavage, le café en parche humide est fréquemment mis à égoutter sur des aires cimentées pendant une journée environ.

Le séchage artificiel est ensuite conduit dans des séchoirs à tambour rotatif de type Guardiola, alimentés à partir de générateurs d'air chaud équipés de brûleurs indirects à fuel-oil. Le séchage dure entre 18 et 36 heures ; la température de l'air, souvent excessive, est comprise entre 80 et 100° C.

### **II.3 - LES SOUS-PRODUITS DE LA PREPARATION**

La préparation du café par "voie humide" nécessite l'emploi d'une grande quantité d'eau et peut être considérée comme une cause de contamination des cours d'eau dans les zones de production. Les usines de préparation par "voie humide", de type classique, rejettent :

- un sous-produit humide, la pulpe de café (dont la teneur en eau est voisine de 84%).
- des eaux résiduaires de dépulpage et lavage.

#### **La pulpe**

Auparavant la pulpe était souvent déversée directement dans les cours d'eau, cette pratique est actuellement prohibée.

La restitution de la pulpe dans les caféières, après compostage, est l'application la plus répandue. Il est ainsi fréquent de voir des tas de pulpe en cours de décomposition à proximité des usines, puis près des parcelles. Cette pratique n'est pas sans poser des problèmes de nuisances et de pollution localisée. Les autres techniques de valorisation restent encore principalement du domaine de la recherche.

#### **Les eaux résiduaires provenant des ateliers de préparation**

Le traitement du café par "voie humide" est considéré comme l'une des agro-industries les plus polluantes pour l'environnement : les ateliers rejettent des eaux résiduaires qui proviennent essentiellement des opérations de dépulpage du café en cerise et de lavage du café en parche humide. La consommation des ateliers en eau est très variable; au Mexique, elle est comprise entre 6 et 17 litres par kg de cerises traitées soit :

- entre 4 et 5 litres d'eau par kg de cerises pour le dépulpage,
- entre 2 et 12 litres d'eau par kg de cerises pour le lavage.

La production mexicaine de café a atteint 252 000 tonnes pendant la campagne 1992/93, on peut donc estimer que la quantité d'eau contaminée par le traitement du café était comprise entre 7,6 et 21 millions de m<sup>3</sup>/an. Nombreux sont les ateliers de préparation qui puisent de l'eau dans des rivières déjà contaminées par d'autres ateliers implantés plus en amont. L'alimentation des localités en eau potable devient problématique dans le voisinage des usines de préparation, pendant la période de pointe de récolte.

Le Secrétariat à l'Urbanisme et à l'Environnement (SEDUE) s'est penché sur ce problème. Le gouvernement a promulgué une loi relativement drastique qui fixe les normes à appliquer aux eaux rejetées dans les cours d'eau. Les limites fixées par cette norme sont données tableau 4.

**Tableau 4. Limites fixées par la norme de rejet des eaux**

PARAMETRES	MOYENNES JOURNALIERES	VALEUR INSTANTANEE
pH	6 à 9	6 à 9
MES (mg/l)	60	120
Matières grasses et huiles (mg/l)	10	20
DCO (en mg de O <sub>2</sub> /l)	60	120
Matières flottantes	Absence	Absence
Matières décantables (ml/l)	1	2

MES: Matières en suspension

DCO : Demande Chimique en Oxygène

Les valeurs portées dans ce tableau constituent les limites maximales de contamination. Ces recommandations paraissent très sévères et difficiles à appliquer dans la pratique (notamment du point de vue économique).

Depuis 1990, des agents du CIRAD en poste à Xalapa ont travaillé dans le domaine de l'épuration des eaux résiduaires du traitement du café. Ces travaux ont été menés en relation avec un groupement de producteurs sur le site de l'atelier de Tlapexcatl. L'évaluation des résultats de ces travaux a montré que la stratégie de décontamination des eaux ne peut pas être dissociée d'une approche plus générale qui envisage de reconverter tout le concept de la technologie du café. La préparation par "voie humide" doit être redéfinie en fonction d'impératifs, parfois contradictoires, qu'il sera nécessaire de prendre en considération et notamment:

• *L'économie de l'eau*

il n'est pas logique de contaminer de l'eau pour la traiter par la suite, ainsi les premières dispositions qui devront être prises auront pour but :

- de supprimer l'usage de l'eau, chaque fois que ce sera possible,
- de la recycler à chaque étape du traitement où son usage s'avère indispensable.

• *Assurer une bonne qualité du café marchand*

Il sera nécessaire de vérifier que les modifications apportées à la préparation ne sont pas préjudiciables à la qualité du produit marchand.

• *Traiter les eaux résiduaires*

Les dispositions notées ci-dessus doivent permettre de réduire la consommation en eau. Cependant, même si un atelier de conception nouvelle permet de réduire les besoins en eau, il ne réussira pas à les annuler totalement.

Une réduction du débit d'eau s'accompagnera d'une augmentation de la concentration de la charge contaminante. Cette caractéristique de l'effluent n'est pas une contrainte, le traitement d'une contamination concentrée est en effet plus facile et plus rentable.

• *Associer une installation de valorisation de la pulpe*

Dans chaque cas, la solution devra être adaptée à la capacité et au niveau de sophistication de l'atelier. On peut envisager une valorisation conjointe des eaux résiduaires et de la pulpe dans la mesure où les premières seraient très concentrées.

### III - MONTAGE INSTITUTIONNEL DU PROJET PILOTE

#### III.1 - ORGANISMES PARTICIPANTS ET REPARTITION DES TACHES

Trois partenaires interviennent dans l'étude d'adaptation du procédé TRANSPAILLE à la pulpe de café au Mexique:

- le CIRAD, à travers ses départements CA et CP;
- une entreprise industrielle privée mexicaine, SEQUOIA, identifiée lors de la première phase du projet ;
- une coopérative mexicaine, l'*Asociación de Beneficiadores de la Cuenca de Coatepec* (ABCC), avec laquelle le CIRAD entretient une coopération depuis plusieurs années.

Le CIRAD assure la maîtrise d'oeuvre du projet. La répartition des tâches entre les différents intervenants est détaillée tableau 5.

**Tableau 5. Organisation du projet pilote**

PARTICIPANTS	DEFINITION DES TACHES
<b>CIRAD</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- maîtrise d'oeuvre générale du projet ;</li><li>- fourniture du procédé TRANSPAILLE (conception et savoir-faire) ;</li></ul>
<b>SEQUOIA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- étude préalable du projet ;</li><li>- assistance technique aux travaux de fabrication et aménagements</li><li>- fourniture et expédition au Mexique des équipements spécifiques et de l'instrumentation nécessaire au suivi;</li><li>- réception des installations, mise en service des équipements et supervision du suivi;</li><li>- évaluation du procédé.</li></ul>
<b>ABCC</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- construction de la cuverie ;</li><li>- exécution des ouvrages de génie civil sur le site ;</li><li>- transport jusqu'au site, montage de la cuverie, adaptation des équipements spécifiques et de l'instrumentation ;</li><li>- participation à la mise en service et au suivi technique.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- mise a disposition du site pour l'implantation de l'unité ;</li><li>- participation au montage, à la mise en service et au suivi technique.</li></ul>

La mise en place de ce projet dans les meilleures conditions a été rendue possible par la présence, sur le terrain, d'un équipe du CIRAD travaillant en collaboration avec l'ABCC, qui constitue la contrepartie mexicaine et regroupe 110 ateliers de traitement du café.

#### III.2 - MONTAGE FINANCIER

Le projet est financé par le Ministère Français de l'Industrie d'une part et par le CIRAD d'autre part. Une participation a été demandée à l'entreprise mexicaine SEQUOIA S.A. sous forme de

travaux et prestations complémentaires en échange desquels, cette entreprise pourra être intéressée à la commercialisation ultérieure du procédé. Le montage financier est résumé dans le tableau 6.

**Tableau 6. Montage financier du projet pilote**

SOURCE DE FINANCEMENT	MONTANT (en FF)
MINISTERE DE L'INDUSTRIE	340 000
CIRAD	226.650
Contribution de SEQUOIA. (sous forme de travaux et prestations complémentaires)	67 760
<b>COUT TOTAL DU PROJET.....</b>	<b>634 410</b>

Un contrat a été signée entre SEQUOIA et le CIRAD pour définir les modalités de collaboration et de valorisation des résultats entre ces deux entités.

#### **IV - PRESENTATION DE L'UNITE PILOTE**

##### **IV.1. - LA DIGESTION ANAEROBIE ET LE PROCEDE TRANSPAILLE**

Les matières organiques contenues dans les déchets végétaux ou les déjections animales dégagent, lorsqu'elles se décomposent à l'abri de l'air et dans certaines conditions de température et d'humidité, un gaz combustible appelé le biogaz. C'est un mélange constitué principalement de méthane (CH<sub>4</sub>) et de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Son pouvoir calorifique est voisin de 5500 Kcal/m<sup>3</sup>. Le biogaz est facilement utilisable à l'état brut pour alimenter des brûleurs ou des moteurs classiques. Le résidu de la décomposition est un compost stabilisé de bonne valeur agronomique. La digestion anaérobie des déchets organiques permet donc d'obtenir 2 produits susceptibles d'être valorisés commercialement.

Le processus de digestion anaérobie est connu de longue date et il est couramment mis en application dans les pays industrialisés, notamment pour les déchets sous forme liquide (lisiers, boues d'épuration, eaux de blanchissage, etc...). Dans les pays en développement, on cite souvent les expériences de développement indienne et chinoise également basées sur des déchets agricoles liquides.

Pour les déchets sous forme solide, tels que par exemple le fumier, les matières stercoraires, les épiluchures de tubercule, leur manutention difficile imposait jusqu'à présent le recours à des techniques de fermentation en discontinu avec plusieurs cuves de fermentation en parallèle (Procédé Isman et Ducellier). Le procédé continu TRANSPAILLE permet la digestion anaérobie en continu de ce type de déchets et allège considérablement les coûts d'investissement et d'exploitation.

Dès la fin des années 70, le CIRAD a entrepris des expérimentations en laboratoire à Montpellier avec comme objectif la mise au point d'un procédé apte à la fermentation en continu des déchets solides. Le procédé TRANSPAILLE a été breveté en 1983 et un premier exemplaire a été testé

à partir de 1984 au Sénégal (Farinet et al, 1984,1987). Les résultats très positifs ont entraîné la mise en place d'autres unités dans plusieurs pays tropicaux.

Le procédé est basé sur un dispositif de transfert des déchets solides en immersion dans un fermenteur tubulaire horizontal (cf. annexe). Le fermenteur est constamment rempli de déchets en fermentation et l'on charge chaque jour en une seule fois une quantité déterminée de déchets frais. Grâce au dispositif de transfert, cette charge entraîne l'évacuation d'une quantité correspondante de déchets fermentés à l'autre extrémité du réacteur.

La charge spécifique élevée dans le fermenteur permet une productivité en biogaz supérieure à celle du procédé discontinu. Pour une température de fermentation de 30°C, facilement atteinte en région chaude, le rendement sur des déchets organiques à forte concentration de cellulose peut atteindre 250 m<sup>3</sup> de biogaz par tonne de matière organique (MO), soit l'équivalent de 120 kg de butane ou de 150 litres de fuel.

Le procédé est bien adapté aux besoins du monde rural avec pour seule pièce en mouvement l'arbre central de transfert qui est actionné par un vérin hydraulique double effet alimenté par une pompe manuelle ou une petite électropompe. Le vérin n'effectue qu'un aller-retour par jour lors de l'opération de chargement avec donc une très faible consommation d'énergie, de l'ordre de 0,1% de l'énergie produite. L'alimentation en déchets et l'évacuation du compost s'effectuent manuellement ou mécaniquement à chaque extrémité du fermenteur. Les coûts de maintenance du fermenteur sont par ailleurs réduits (2% du coût d'investissement par an). Le fermenteur est entièrement construit en tôle d'acier doux mécano-soudée. La fabrication peut être aisément assurée par une entreprise locale disposant d'un minimum d'équipements. Le fermenteur construit localement est complété par les équipements périphériques suivants:

- ensemble hydraulique comprenant vérin, distributeur, pompe, flexibles HP et raccords;
- gazomètre de stockage du biogaz en PVC souple normalisé avec système de raccordement et de lestage pour une pression maximum de 30 millibars. Capacité de stockage de 2 à 100 m<sup>3</sup>;
- groupes électrogènes et motopompes adaptés à une alimentation au biogaz (puissance minimale 5 CV); sur ces moteurs peuvent être montés en usine la pompe hydraulique de commande du vérin et un circuit de récupération de chaleur pour entretenir la température du fermenteur;
- brûleurs domestiques et industriels basse pression adaptés à une alimentation au biogaz;

Les travaux de terrassement, petit génie civil, plomberie et électricité peuvent être réalisés en régie avec des entreprises locales.

#### IV.2. - APPLICATION A LA PULPE DE CAFE

La pulpe de café, dont la teneur en eau varie de 70 à 90%, renferme essentiellement des hydrates de carbone, des matières grasses, des protéines, des sels minéraux, des polyphénols et de la caféine. Les teneurs de ces différents constituants varient suivant l'espèce de caféier et selon l'état de maturité du fruit. Des analyses effectuées par l'IRCC (Institut de Recherche sur le Café et le Cacao) sur de la pulpe lyophilisée de *Coffea arabusta* donnent les résultats suivants, exprimés en pourcentage de la matière sèche :

Matière sèche (MS)	12,2 - 14,5% de la matière brute
Matière organique (MO)	90 - 91
Cellulose	16,5 - 18,2
Hémicellulose	9,5 - 11,6
Lignine	17,5 - 20,5
Acides gras volatiles	5,6 - 11,2
Caféine	1,1 - 1,3
Carbone total (C)	34,1 - 36,1
Azote total (Nt)	1,7 - 1,9
Phosphore (P)	0,2
Potassium (K)	3,2 - 3,9

Le rapport C/N de l'ordre de 20 est compatible avec la digestion anaérobie. La pulpe fraîche a un pH voisin de 6,5 qui baisse très rapidement lors du stockage à l'air libre, d'où l'intérêt d'une digestion anaérobie en continu en réacteur "piston" qui limitera les risques d'acidification du milieu (Cuzin et al, 1992). La teneur assez élevée en lignine limitera le rendement de digestion pour des temps de séjour de l'ordre de 15 à 20 jours. Par contre ces fibres amélioreront la qualité du compost final.

Pour être traitée directement en continu, la pulpe de café, de consistance solide, nécessite le recours à une technologie spécifique. Le procédé TRANSPAILLE semble particulièrement adapté à ce type de substrat. Il convient toutefois de tester les potentialités de production du procédé avant d'envisager toute application de taille industrielle et c'est dans cet esprit que la présente unité pilote a été mise en oeuvre.

#### IV.3 - DESCRIPTIF TECHNIQUE

L'unité pilote TRANSPAILLE est implantée dans une usine de préparation par la voie humide. Les équipements comprennent:

- un fermenteur TRANSPAILLE de capacité 5 m<sup>3</sup>, semi enterré, avec régulation de température et centrale hydraulique de commande;
- un gazomètre de stockage du biogaz de capacité 10 m<sup>3</sup> en PVC souple normalisé avec réseau d'adduction du biogaz;
- une aire de stockage et maturation du compost ;
- les équipements de mesure: compteurs et analyseur à biogaz, pHmètre, thermomètre.

Le plan type de l'unité pilote est donné en annexe. Les équipements sont installés sur une aire bétonnée couverte de 27 m<sup>2</sup> aménagée à cet effet. L'alimentation en pulpe fraîche est effectuée journalièrement au cours de la campagne d'usinage. La pulpe est reprise à partir de la trémie de réception/égouttage de l'usine, puis pesée et chargée dans le fermenteur. Après fermentation, les effluents sont déversés sur l'aire de compostage équipée d'un puisard de reprise des jus. Ils subissent plusieurs retournements afin d'assurer la maturation du produit.

Compte tenu des conditions climatiques de la zone et afin d'obtenir des résultats fiables au niveau des performances de digestion, le fermenteur semi enterré est isolé dans sa partie supérieure et est équipé d'un circuit de régulation de température comprenant un échangeur et une boucle d'eau sous pression chauffée par une résistance électrique de 4 KW. Sur une installation industrielle, cette boucle serait alimentée par la cogénération chaleur/électricité à partir du biogaz.

#### IV.4 FABRICATION ET IMPLANTATION

##### Site d'implantation

A l'issue de la première phase d'identification, le site d'implantation avait été prévu sur l'usine de Tlapexcatl, à environ 80 km de Xalapa, dans la suite logique des travaux déjà entrepris par le CIRAD sur ce site, en collaboration avec une petite coopérative affiliée à l'ABCC. Lors d'une première mission de préparation des chantiers en octobre 1994, une visite de ce site avec l'entreprise SEQUOIA a mis en évidence un certain nombre de difficultés, notamment au niveau de l'accès du site pour les engins de travaux publics et pour le camion transportant le fermenteur. Par ailleurs, des difficultés logistiques pour le suivi de l'unité pilote ont été mises en évidence compte tenu de l'éloignement de ce site.

D'un commun accord avec l'équipe CIRAD locale et le partenaire industriel, il a été décidé d'implanter l'unité pilote à Coatepec, à environ 15 Km de Xalapa. L'usine "EL Fundador" qui traite en moyenne 6000 quintaux de café par campagne a été retenue. Cette usine fait également partie de l'ABCC. Elle est équipée de 2 lignes de dépulpage de 2,5 tonnes/h, soit une capacité d'usinage de 18 tonnes cerise/jour.

Le choix de ce nouveau site d'implantation a été formalisé à travers un avenant à la convention de collaboration signée entre le CIRAD et l'entreprise SEQUOIA. Indépendamment des aspects techniques, il s'avère que ce nouveau site offre de meilleures perspectives de promotion du projet, grâce à un accès facile et un environnement technique de qualité.

##### Fabrications et constructions locales

Sur la base du cahier des charges fourni par le CIRAD, la construction du fermenteur a été entièrement réalisée dans les ateliers dépendants de SEQUOIA à Xalapa. Les plans de fabrication sont donnés en annexe. Fin 1994, l'ensemble des équipements périphériques fournis par le CIRAD a été expédiée à Xalapa par voie aérienne. Ces équipements comprenaient :

- une ensemble hydraulique avec vérin double effet, centrale, distributeur de commande, flexibles HP et raccords spéciaux ;
- un gazomètre en toile PVC de capacité 10 m<sup>3</sup> avec ses accessoires ;
- un ensemble d'éléments pour circuit de chauffe : réchauffeur en ligne 4 KW, clapet anti-retour, purgeur d'air, vase d'expansion, circulateur eau chaude, contrôleur de circulation ;
- une armoire de commande, mesures et contrôle comprenant un régulateur de température et 4

sondes Pt 1000, un régulateur de pH et 2 sondes industrielles PI 11 ;

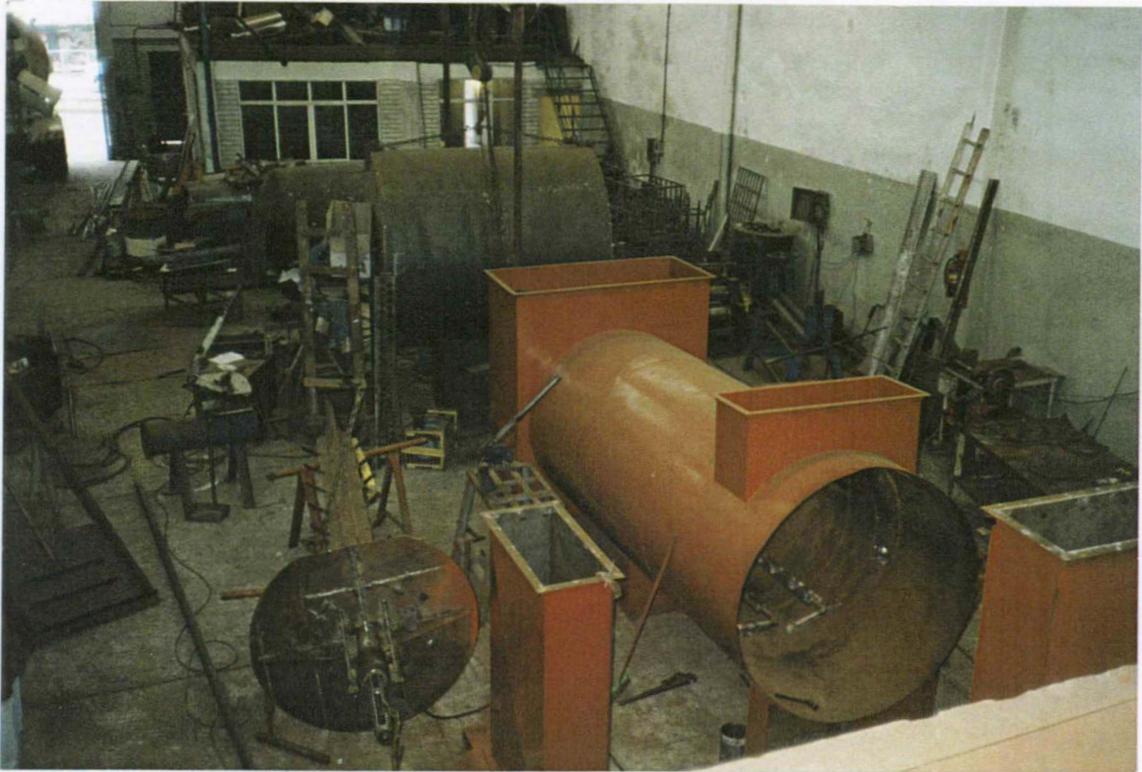
- 2 compteurs gaz dont un de rechange ;

- un analyseur CO<sub>2</sub> de terrain ;

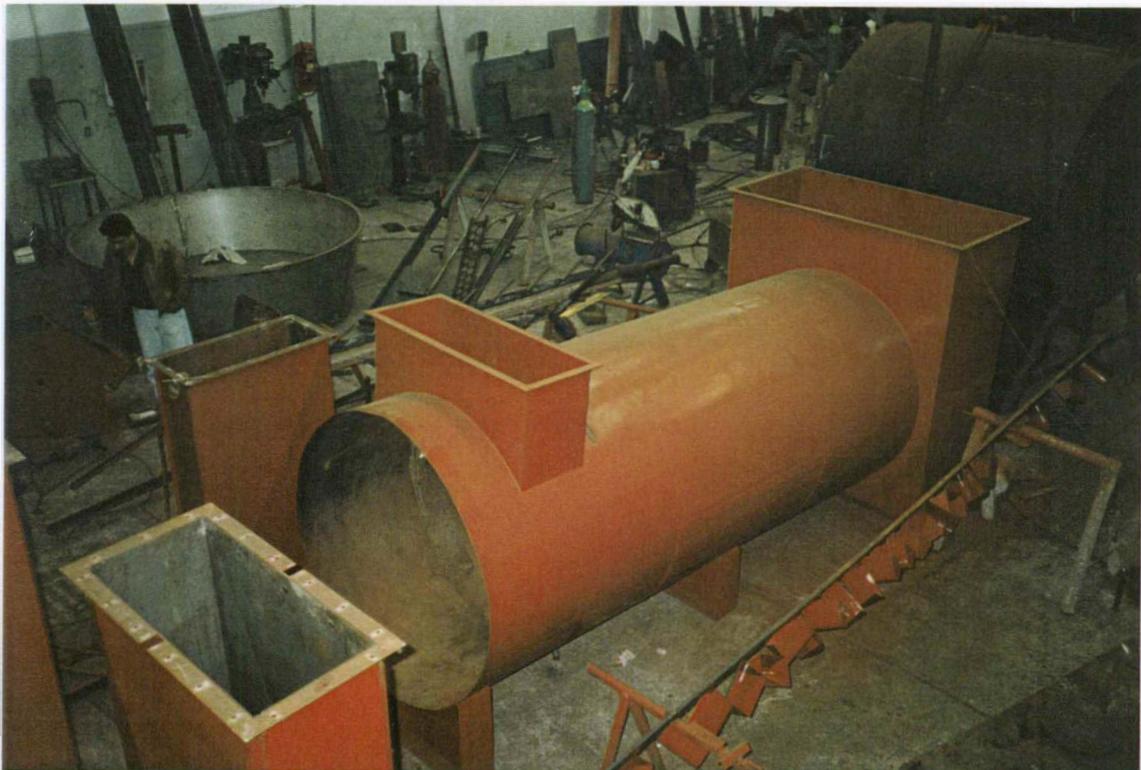
- une pompe spéciale liquide chargée pour la reprise et l'évacuation des jus de compostage.

Les travaux d'aménagement ont débuté en novembre 1994 sur le nouveau site d'implantation, à Coatepec. Le fermenteur a été transporté et déposé sur le site début décembre 1994. Le montage des équipements périphériques, la mise en eau et les tests d'étanchéité et de montée en température se sont déroulés en janvier 1995. Au 2 février 1995, l'unité pilote était entièrement fonctionnelle et prête au démarrage de la fermentation.

Sur le plan officiel, l'unité pilote a été inaugurée le 28 avril 1995 en présence des autorités mexicaines, la France étant représentée par l'attaché de coopération de l'ambassade de France à Mexico.

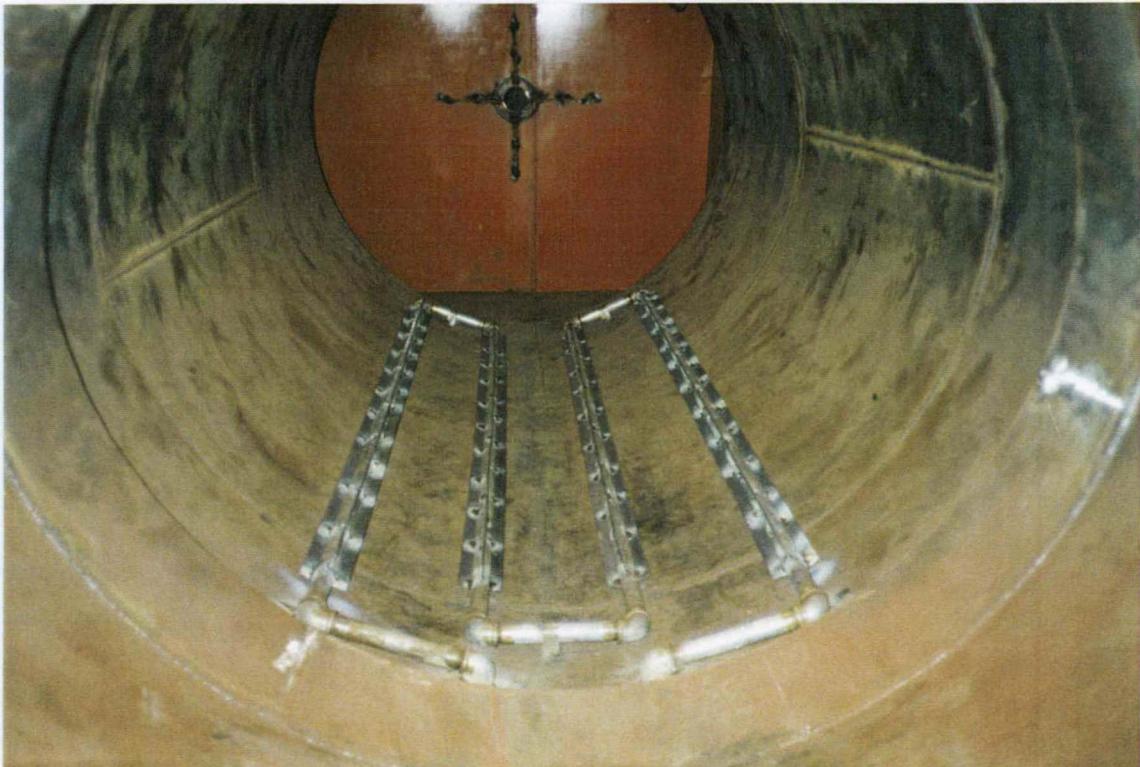


Vue générale de la fabrication du fermenteur TRANSPAILLE dans l'atelier dépendant de SEQUOIA à Xalapa.





Fabrication de l'arbre axial de transfert



Vue de l'échangeur de chaleur dans le fermenteur



Vue générale de l'usine "El Fundador" à Coatepec

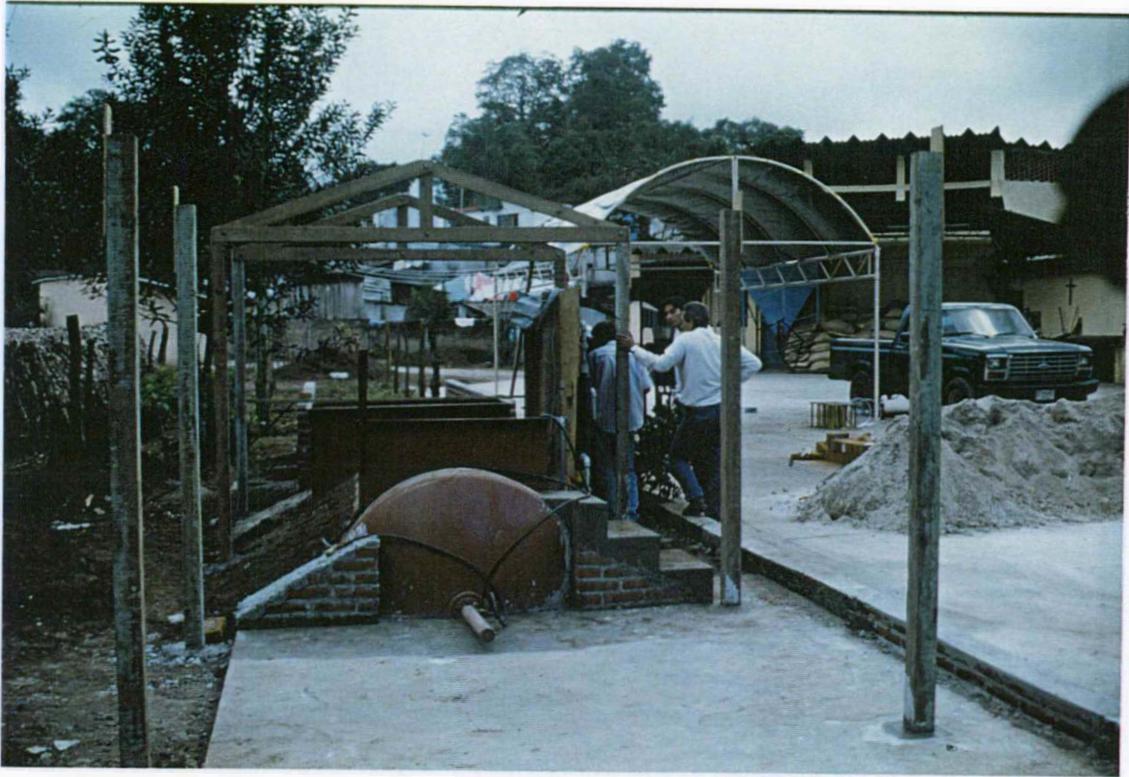


Trémie d'égouttage/stockage de la pulpe de café



Vues d'un site de décharge de la pulpe dans l'attente de son évacuation au champs

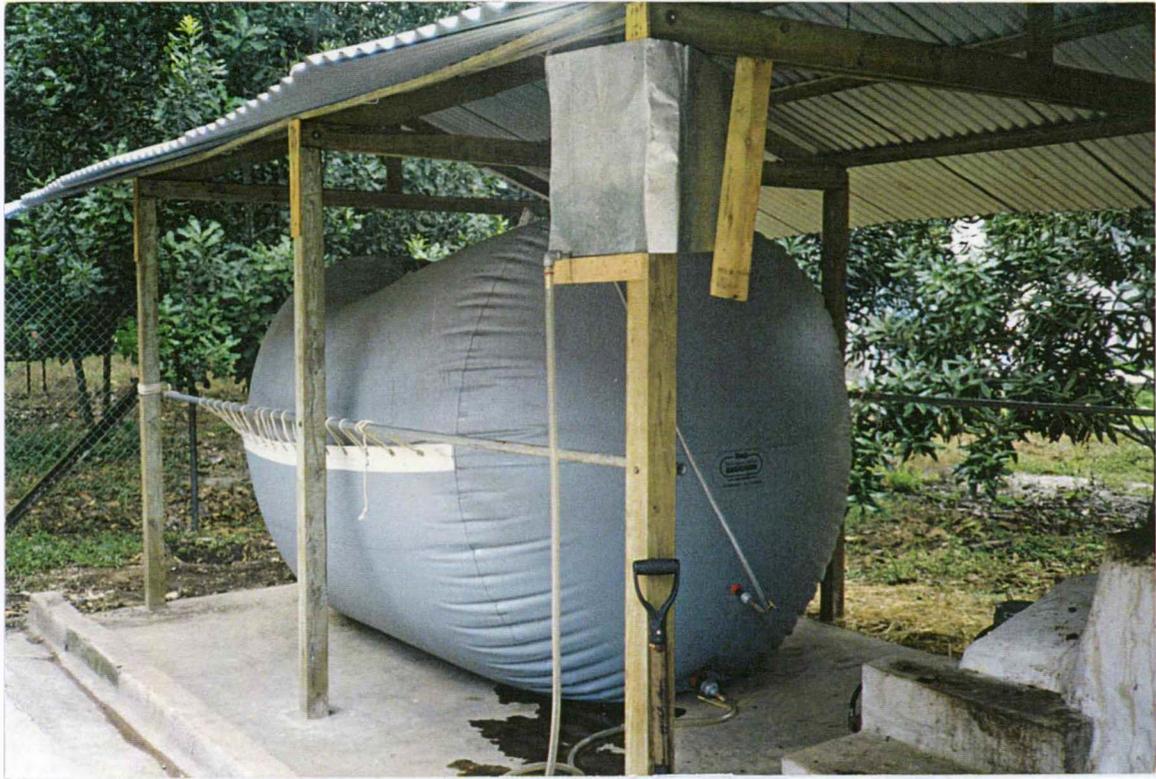




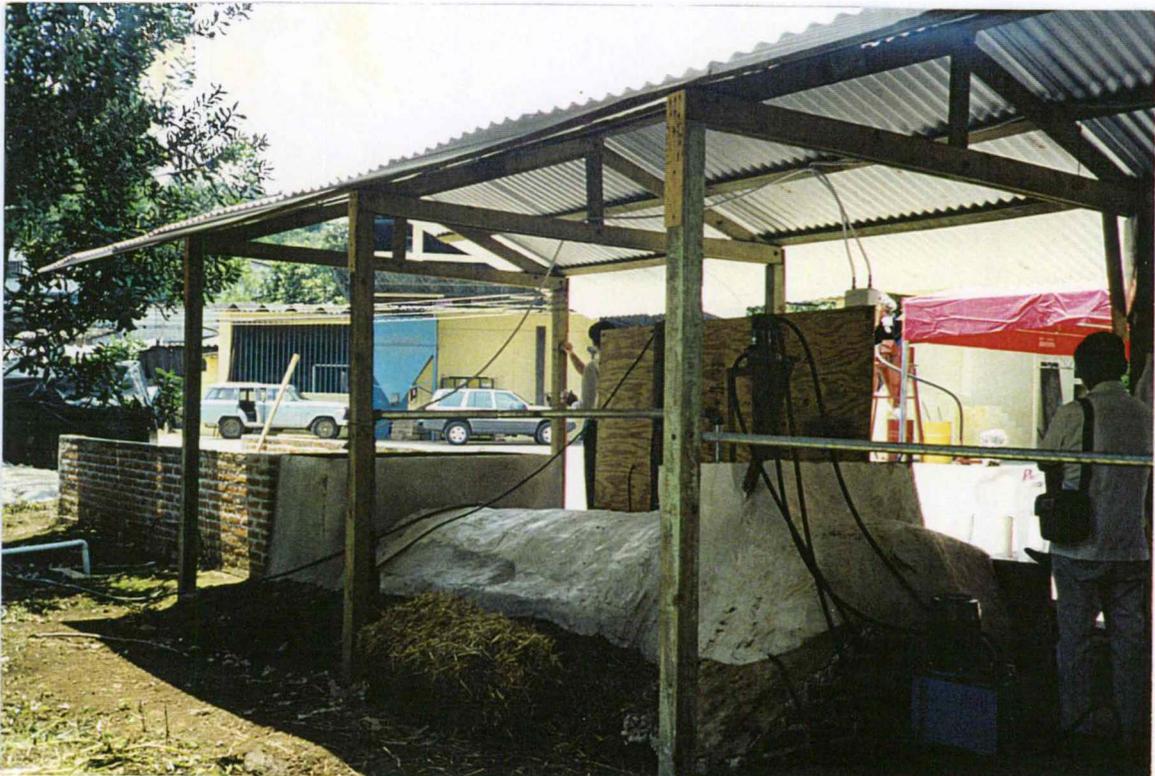
Construction de l'unité pilote sur le site



Vue de l'unité pilote terminée



Stockage du biogaz dans un gazomètre souple de 10 m<sup>3</sup>



Vue arrière de l'unité pilote. On distingue l'isolation de la partie supérieure de la cuverie.

## V - RESULTATS OBTENUS

### V.1 - PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION

#### Méthodologie

La digestion anaérobie de la pulpe de café en l'état, sans broyage ni dilution, a été peu étudiée. Des essais de laboratoire en réacteur continu menés par l'IRCC (Blanes, 1982) sur de la pulpe broyée et diluée à 37°C ont démontré que le rendement en biogaz atteint 480 l/kgMS pour un temps de séjour moyen de 40 jours et une charge spécifique de 1 kgMS/m<sup>3</sup>.jour. Ce rendement chute à 220 l/kgMS pour un temps de séjour de 20 jours correspondant à une charge spécifique de 3,3 kgMS/m<sup>3</sup>.jour. On note dans ce cas une tendance à l'acidification du milieu, qui peut être corrigée en **neutralisant** la pulpe lors de l'alimentation. Le taux de méthane dans le biogaz produit est de 64% et le taux de conversion du carbone de 40%.

Compte tenu des résultats observés dans la bibliographie et des conditions prévalant au Mexique, les paramètres opératoires suivants ont été fixés par avance pour l'expérimentation sur l'unité pilote TRANSPAILLE :

- utilisation de pulpe fraîche égouttée et non broyée ayant subi au maximum 1 jour de stockage à l'air libre; nous verrons qu'en fin de campagne, de la pulpe âgée de 1 à 5 jours a été utilisée;
- digestion en mésophilie à une température moyenne de 35°C;

Le facteur limitant de la digestion de la pulpe de café sera en premier lieu l'hydrolyse rapide qui peut engendrer une acidification du milieu aux fortes charges. L'objectif des expérimentations sur le pilote TRANSPAILLE consiste d'abord à définir la **charge maximale** (kgMO/jour en pulpe fraîche) du réacteur en régime permanent. On entend par "charge maximale", la charge au delà de laquelle il sera nécessaire de corriger systématiquement le pH pour entretenir le processus de digestion. Par la suite, on déterminera la **charge maximale admissible** qui correspondra à la charge au delà de laquelle aucune amélioration des performances n'est constatée bien que le pH soit constamment corrigé.

Le régime permanent du fermenteur est établi lorsque pour une charge donnée et maintenue constante, les performances obtenues sont elles même constantes, toutes conditions égales par ailleurs (température, neutralisation). Préalablement, le fermenteur doit être démarré en tenant compte des risques d'acidification exposés plus haut. Nous avons donc procédé à un remplissage progressif du réacteur après mise en eau et ensemencement. Cette procédure de démarrage à l'inconvénient d'être assez longue, mais permet une parfaite maîtrise de l'acidification du milieu.

#### Caractéristiques et fonctionnement du fermenteur

Nous rappellerons les principales caractéristiques dimensionnelles du fermenteur:

- diamètre (D): 1,5 m
- longueur utile (Lu): 2,7 m
- capacité utile (Cu): 4,77 m<sup>3</sup>

- course du piston (C): 0,6 m
- rapport Lu/D: 1,8
- rapport Lu/C: 4,5

La charge du jour est opérée en une seule fois par introduction de la quantité voulue de pulpe dans la trémie et actionnement de l'arbre axial de transfert. En régime continu, chaque charge se traduit par l'évacuation d'un volume correspondant d'effluents dans la fosse d'évacuation, en bout de fermenteur. Ces effluents de fermentation forment une crôte à la surface de la fosse et sont évacués une à deux fois par semaine.

Avant l'établissement du régime continu, le fermenteur a été démarré en respectant la procédure suivante:

1. Mise en eau au 3/4 (environ 6,5 m<sup>3</sup> d'eau) et mise en température du réacteur (35 °C), contrôle de la régulation et de l'homogénéité de la température dans le fermenteur;
2. Introduction de 2 charges successives de paille de céréales, qui vont permettre d'accumuler la pulpe avec une densité élevée lors du remplissage progressif du fermenteur;
3. Ensemencement avec des matières stercoraires issues d'un abattoir; de nombreux essais ont montré que cet écosystème était le plus efficace pour démarrer un fermenteur;
4. Complément du niveau avec une quantité mesurée de pulpes fraîches et fermentation en l'état pendant plusieurs jours en contrôlant le pH et le débit de gaz;
5. Chargements réguliers et progressifs de pulpe, avec contrôle du pH et de la production de gaz et neutralisation à la demande;
6. L'évacuation de la paille à la sortie du fermenteur indique que la phase de remplissage est terminée et que le fermenteur entre en régime continu.

Après cette phase de démarrage, l'expérimentation consiste à augmenter graduellement la charge pour atteindre la charge maximale. Des palliers intermédiaires à charge constante sont observés pour l'obtention de résultats fiables.

### **Mesures et analyses**

La quantité de pulpe introduite dans le réacteur est pesée à chaque chargement à l'aide d'une bascule commerciale. En régime continu, les effluents sont également pesés en sortie du fermenteur.

Des échantillons de pulpe sont prélevés régulièrement à l'entrée et à la sortie du fermenteur et conservés à 4°C avant analyse. Le pH est mesuré à l'aide d'un pHmètre de laboratoire, la pulpe étant préalablement mise en suspension dans l'eau distillée. Le taux de matière sèche (MS) est analysé par pesée différentielle après passage à l'étuve à 105°C d'un échantillon d'environ 25 g de pulpe jusqu'à poids constant. Le taux de matière organique (MO) est analysé par pesée différentielle des résidus de cendres obtenus après calcination à 560°C pendant 2 heures.

On procède chaque jour à la mesure de la production de biogaz grâce à un compteur totalisateur Schlumberger type G4. La température de fermentation est régulée à 35°C à l'aide de la température moyenne donnée par 4 sondes platine 1000 Ohms disposées dans le fermenteur. Le pH est mesuré en entrée/sortie par 2 sondes Bioblock type PI 11.

La teneur en méthane du biogaz est évaluée par barbotage d'un volume prédéterminé de biogaz dans une solution de soude. Le volume de gaz résiduel est mesuré et assimilé à du méthane, aux impuretés près.

## V.2 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### Caractéristiques de la pulpe

Au cours de la première partie de la campagne d'essai, de février à avril 1995, plus de 20 analyses de pulpe fraîche âgée d'un jour au plus ont été réalisées, au rythme de 1 à 2 prélèvements par semaine. Les résultats moyens sont les suivants:

- MS: 13% de la matière brute
- MO: 94% de la MS, soit 12,2% de la matière brute
- pH: 4 à 4,5

Il n'a pas été constaté de variation notable au cours du temps et ces résultats moyens sont utilisés pour qualifier la charge du fermenteur pendant la première partie des essais, de février à avril 95. En fin de campagne, à partir du 1er mai 1995, les opérations de préparation du café se sont raréfiées et il a été nécessaire d'utiliser de la pulpe stockée pendant plusieurs jours dans la trémie de l'usine pour poursuivre l'alimentation du fermenteur. Les résultats moyens d'analyse pour cette période sont donnés tableau 6 et sont utilisés pour qualifier la charge au cours du mois de mai 95.

**Tableau 6 . Evolution de la composition de la pulpe stockée**

Age (j)	pH	MS (%)	MO/MS (%)	MO (%)
0 à 1	4	12,61	94,39	11,90
2 à 3	4,7	11,89	93,76	11,14
4	5	15,98	91,90	14,69
5	-	15,30	91,24	13,95

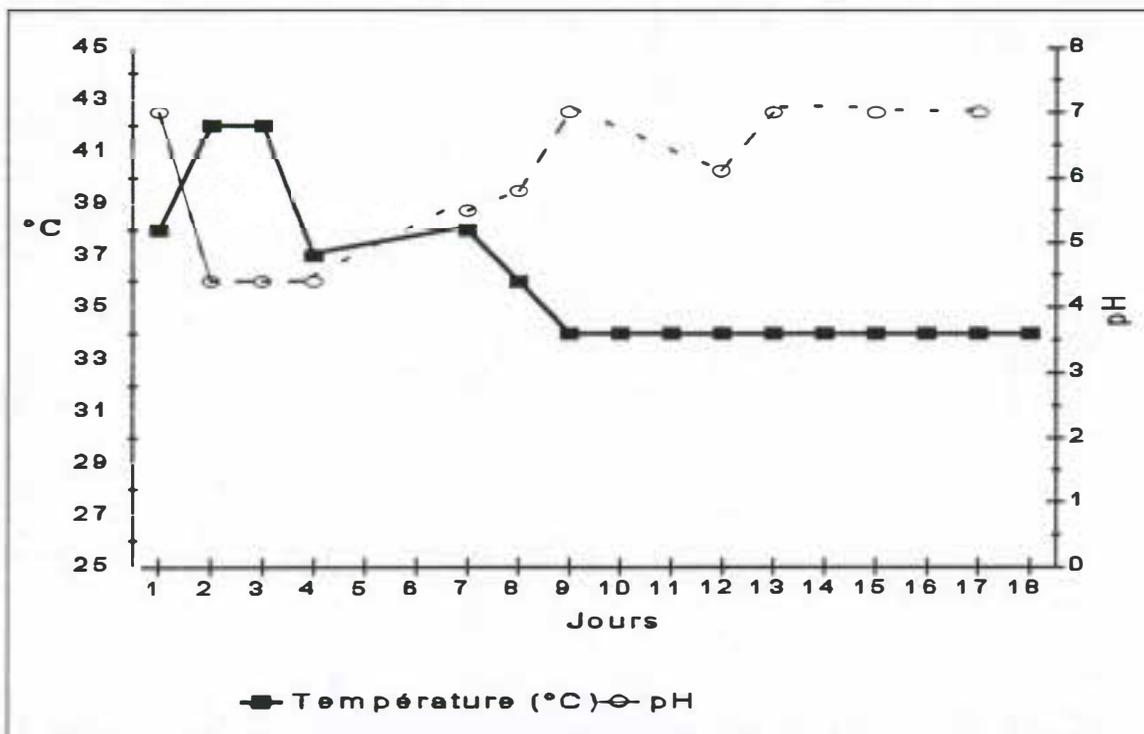
On observe que le taux de MS de la pulpe augmente au cours du stockage, de même que le pH. La pulpe subit un début de compostage/séchage qui se traduit également par des pertes progressives de MO. Ces pertes sont cependant faibles sur 5 jours et influent peu sur le potentiel de digestion anaérobie du substrat.

## Phase de démarrage

Le fermenteur a été démarré le 7 février 1995 à partir d'une charge initiale constituée de :

- 50 kg de paille de céréale,
- 200 kg de matières stercoraires issues de l'abattoir de Xalapa,
- 200 kg de pulpe fraîche.

Cette charge initiale correspond à 87 kg MO. A l'issue de ce chargement initial, le fermenteur a été laissé en l'état pendant 12 jours afin de favoriser l'implantation et le développement de la flore microbienne. L'évolution de la température et du pH du milieu au cours de ces premiers jours est donnée figure 1.



**Figure 1** Evolution des paramètres de fermentation au démarrage

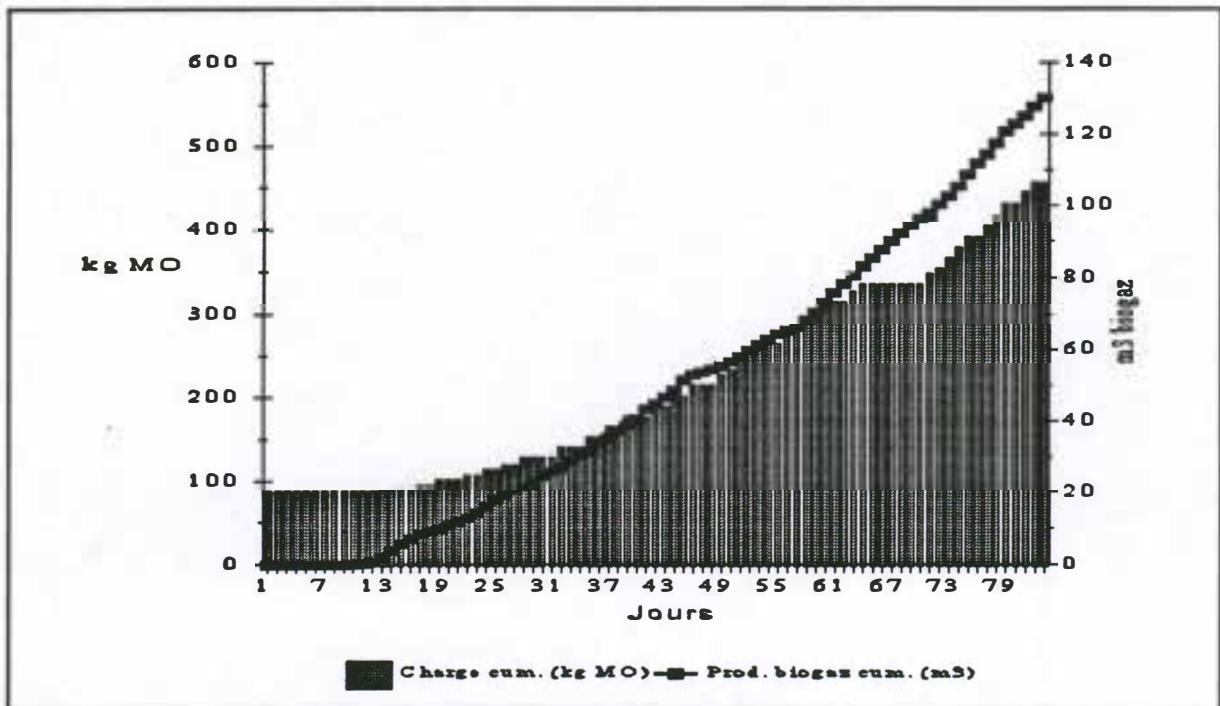
Le pH a d'abord chuté jusqu'à un minimum de 4,4 sous l'effet de l'acidogénèse, puis est remonté progressivement jusqu'à 7 simultanément avec le début de la production de biogaz constaté au jour 10. Il n'a pas été nécessaire d'ajouter de neutralisant, seule la méthanogénèse a permis ce résultat. On assiste par ailleurs à une légère augmentation de la température du milieu, consécutive à la consommation de l'oxygène présent. Par la suite, la régulation maintient la température à une valeur constante. Cette séquence est caractéristique du démarrage de la digestion anaérobie d'un substrat à profil acide.

A partir du jour 13, le chargement régulier du fermenteur a débuté sur la base de 20 kg pulpe tous les 2 jours. La phase de démarrage s'est ensuite poursuivie en augmentant très progressivement la charge de pulpe. L'évolution de la charge moyenne journalière est donnée tableau 7.

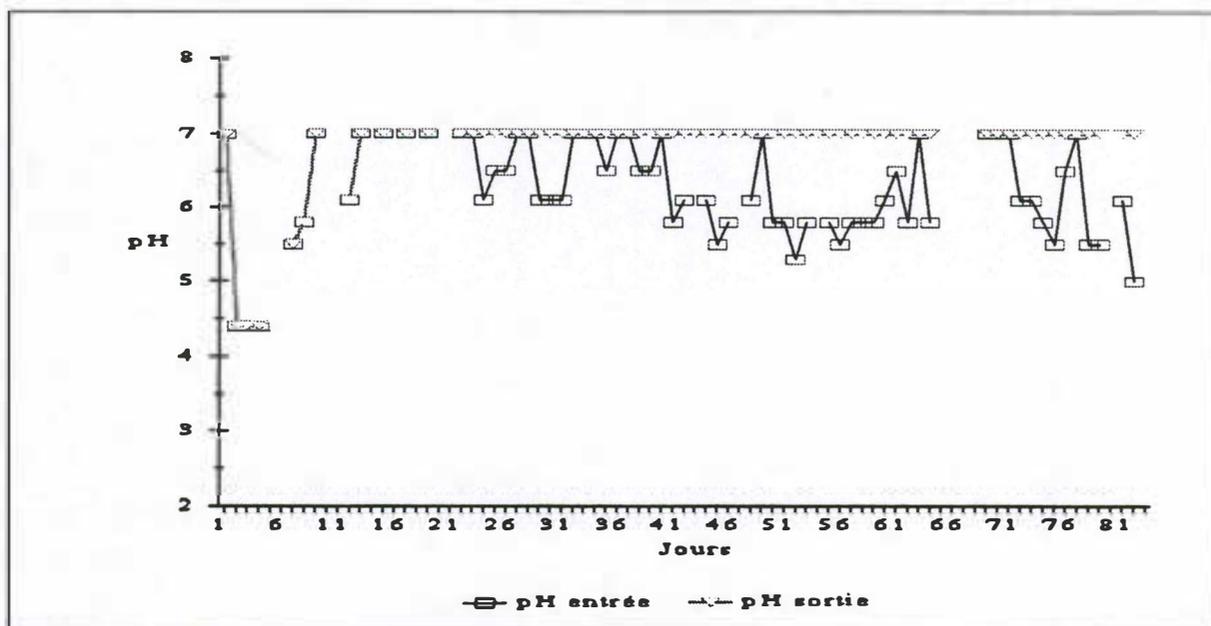
**Tableau 7. Evolution de la charge moyenne journalière du fermenteur en phase de démarrage.**

Période	nb jours	charge brute (kg/j)	charge MO (kg/j)
j13 à j19	7	10,5	1,3
j20 à j31	11	21,2	2,6
j32 à j70	38	43,5	5,3
j71 à j83	12	76,2	9,3

Au jour 83, correspondant au 1er mai 95, une première sortie de paille était constatée dans la fosse d'évacuation et le fermenteur est entré en régime continu. L'évolution des paramètres au cours de toute la phase de démarrage est donnée figures 2 et 3 et les mesures sont détaillées en annexe.



**Figure 2 Phase de démarrage - Charge et production de biogaz cumulées**



**Figure 3** Phase de démarrage - Evolution du pH entrée/sortie

La charge et la production de biogaz cumulées évoluent de la même manière au cours du remplissage progressif du fermenteur, ce qui signifie l'absence d'acidification du milieu ou de surcharge organique préjudiciables au bon déroulement de la fermentation. Les variations à la baisse du pH à l'entrée du réacteur confirment toutefois qu'il était prudent de procéder au démarrage par remplissage progressif. Le pH sortie est mesuré dans la fosse d'évacuation et permet de s'assurer qu'il n'y a pas acidification complète du milieu. La mesure du pH entrée/sortie pourrait, à terme, être utilisée pour la régulation des apports de neutralisants à forte charge. Les analyses du biogaz effectuées au cours de cette phase montrent que la proportion de méthane est de l'ordre de 50%. Sur l'ensemble de la phase de démarrage, le bilan est le suivant:

- charge MO totale: 456,3 kg (y compris paille et ensemencement)
- production totale biogaz: 130,2 m<sup>3</sup>
- rendement moyen: 0,285 m<sup>3</sup>/kg MO

En considérant que la durée de cette phase de démarrage est suffisamment longue et en défalquant la production de biogaz issue de la paille et de l'ensemencement, ces résultats nous permettent d'approcher le rendement ultime de la digestion de la pulpe de café à une température moyenne de 35°C. La charge réelle en matière organique (Cr) est calculée en pondérant chaque charge effective par son temps de séjour dans le fermenteur suivant la formule:

$$Cr = \sum (Ci \times TSj) / 83$$

avec: Ci: charges effectives de pulpe en kg MO, i variant de 1 à 83

TSj: temps de séjour effectifs en jours, j variant de 83 à 1

La production de biogaz issue de la paille et de l'ensemencement est évaluée sur la base d'un

rendement respectif de 0,200 et 0,250 m<sup>3</sup>/kg MO. La charge réelle calculée s'établit à 149,9 kg MO et la production de biogaz à 116 m<sup>3</sup>, soit un rendement ultime de 0,774 m<sup>3</sup> biogaz/kg MO ou 0,387 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg MO. Pour toute matière organique dégradée en anaérobie, on admet couramment un rendement ultime de 0,500 m<sup>3</sup>/kg (de La Farge, 1995). Le taux de biodégradabilité de la pulpe de café serait donc de 77%. Ce résultat se vérifie sur l'unité pilote; à l'issue de la phase de démarrage, les effluents étaient surtout constitués de paille et on ne retrouvait que très peu de résidus de pulpe.

### Phase de régime continu

A partir du jour 84, le régime continu du fermenteur a pu être maintenu jusqu'à la fermeture de l'usine pour la campagne 94/95, soit le jour 105 correspondant au 22 mai 95. Sur ces 22 jours, un pallier de régime continu a été observé en conservant la charge atteinte en fin de phase de démarrage. L'évolution des paramètres de fermentation est donnée figure 4 et les mesures effectuées sont détaillées en annexe.

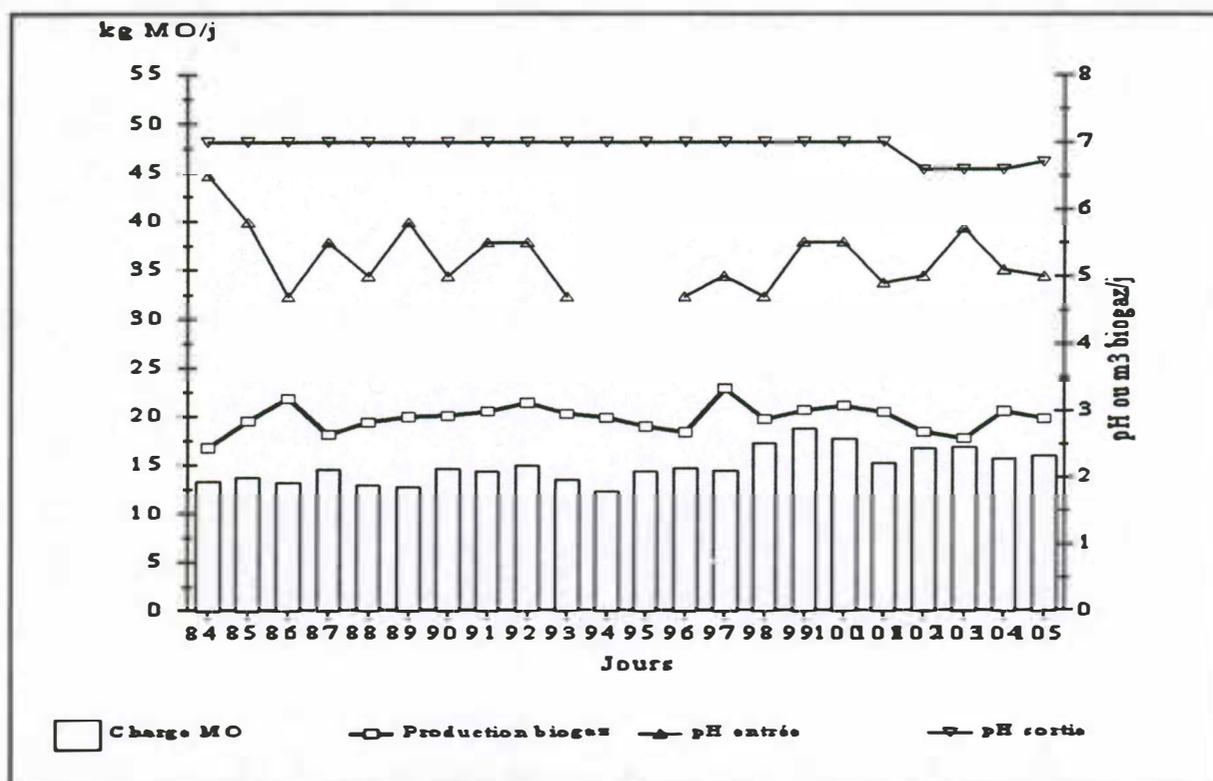


Figure 4 Régime continu à 3,1 kg MO/m<sup>3</sup>.j - Evolution des paramètres de fermentation.



Pulpe fraîche dans la trémie du fermenteur



Effluent constitué de paille et de pulpe fermentée en fin de phase de démarrage

La charge en MO subit quelques variations du fait de l'utilisation de pulpe stockée dont la composition varie comme exposé précédemment. De ce fait, il est difficile de prévoir exactement la quantité à charger pour obtenir la charge en MO voulue. Par rapport à une moyenne de 14,8 kg MO/j sur l'ensemble de l'essai, le coefficient de variation n'est cependant que de 9,5%.

On observe que le pH en entrée varie entre 4,5 et 6, alors qu'il reste à 7 en sortie. Malgré le profil acide du substrat, les acides gras volatiles sont métabolisés par la flore méthanogène dominante dans le dernier tiers du réacteur (Cuzin et al, 1992). La baisse légère du pH en sortie à la fin de l'essai n'est pas significative mais montre toutefois que l'on s'approche certainement de la charge maximale. Ce résultat est à confirmer lors des essais de la prochaine campagne.

Les mesures des 10 derniers jours sont utilisées pour définir les performances de fermentation à ce régime. Les résultats moyens sont les suivants (écarts types entre parenthèses):

- charge brute: 134,2 kg/j (6,8)
- charge MO: 16,3 kg/j (1,1) soit 3,4 kg MO/m<sup>3</sup>.j
- production de biogaz: 2,9 m<sup>3</sup>/j (0,17)

Le rendement moyen est de 0,179 m<sup>3</sup>/kg MO, soit seulement 23% du rendement ultime calculé précédemment. Il semble donc bien que l'on s'approche de la charge maximale et qu'une augmentation de la charge ne sera possible qu'en corrigeant le pH. Ce résultat est assez proche de celui observé par l'IRCC, pour une charge légèrement inférieure (Blanes, 1982).

## **VI - ELEMENTS POUR L'ANALYSE ECONOMIQUE**

Les résultats obtenus sont encore insuffisants pour aborder l'analyse économique de la filière de valorisation proposée pour la pulpe de café. La mise en oeuvre de l'unité pilote en collaboration avec les partenaires locaux nous a néanmoins permis de définir les grandes lignes d'utilisation des produits de la filière proposée, à savoir le biogaz et le compost. Il faut également observer que cette filière se traduira par une diminution notable des nuisances aux abords des usines et une réduction de la pollution localisée occasionnée par les tas de pulpe en attente d'évacuation. Ces effets sont cependant difficilement quantifiable économiquement.

### **Valorisation du biogaz**

Dans un atelier de préparation du café par la voie humide, on peut envisager 2 options de substitution du biogaz aux énergies conventionnelles:

1. biogaz utilisé comme carburant dans un groupe électrogène à récupération totale pour la cogénération chaleur/électricité :

- production d'énergie électrique pour les opérations mécanisées d'usinage;
- production d'énergie thermique basse température pour le pré-séchage du café parche.

2. biogaz utilisé comme combustible dans les brûleurs des séchoirs:

2. biogaz utilisé comme combustible dans les brûleurs des séchoirs:

- production d'énergie thermique pour le séchage du café parche.

La première option est la plus séduisante sur le strict plan énergétique. Elle implique par contre des investissements importants (groupe électrogène spécifique, pré-séchoir) alors que la deuxième option n'entraîne qu'un changement du brûleur sur le séchoir.

Pour des unités d'usinage d'une capacité moyenne de 2000 quintaux/an (\*) comme rencontrées dans la zone de Xalapa/Coatepec, on peut tabler sur les hypothèses de consommation d'énergie suivantes, issues des résultats de l'IRCC :

- *énergie électrique* : puissance installée de 13 KW sur 1000 heures/an, soit 13 000 KWh/an correspondant à 113 KWh/tonne café parche;
- *énergie thermique (sans préséchage)* : 1200 kcal par tonne d'eau à évaporer, ce qui correspond à 1 090 000 kcal/tonne café parche.

Le tableau 4 présente les taux d'autonomie énergétique attendus pour différentes hypothèses de rendement de la digestion anaérobie de la pulpe et ceci pour les 2 options de substitution des énergies conventionnelles. Ces résultats sont basés sur les hypothèses techniques suivantes:

- 306 kg MO pulpe/tonne café parche à 12% humidité
- température de digestion: 35°C
- consommation d'énergie pour le maintien en température du digesteur: 15% du biogaz produit
- rendement de co-génération chaleur/électricité: . 1,4 KWh électrique/m3 biogaz  
. 3300 kcal/m3 biogaz
- rendement de production de chaleur seule: . 4400 kcal/m3 biogaz

**Tableau 4 - Autonomie énergétique en % pour différentes hypothèses de rendement de la digestion anaérobie de la pulpe.**

Rendement (1/kg MO)	180	215	245	280	320
Cogénération :					
. électricité	58	69	79	89	103
. chaleur	14	17	19	22	25
Combustible :					
. chaleur	19	22	26	29	34

(\*) 1 quintal est égal à 100 livres de café vert, soit 45,4 kg, ce qui correspond à environ 57,5 kg de café parche à 12%

La poursuite des expérimentations sur l'unité pilote devrait permettre de préciser le rendement de la digestion anaérobie de la pulpe par le procédé TRANSPAILLE et ainsi de situer le potentiel d'autonomie possible en vue de l'étude économique.

### **Valorisation du compost**

Le régime continu n'a pu être maintenu suffisamment pour assurer une production significative de compost. En première approche et compte tenu du taux de biodégradabilité élevé de la pulpe, on peut considérer qu'elle représentera environ 30% de la matière sèche initiale. Les éléments minéraux majeurs seront conservés et la plupart de l'azote sera minéralisé.

Compte tenu des quantités produites, il y aura lieu de donner un maximum de valeur ajoutée à ce produit, par exemple en le transformant en support de culture utilisable pour la production de plants caféiers. Il est courant que les usiniers soient eux mêmes planteurs et ils tireraient donc un bénéfice direct de ce produit.

## VII -CONCLUSIONS

L'adaptation du procédé de digestion anaérobie en milieu solide "TRANSPAILLE" au cas spécifique de la pulpe de café rejetée par les ateliers de préparation par "voie humide" s'inscrit dans une démarche générale visant à reconverter la technologie caféière.

Les travaux menés par le CIRAD au Mexique visent à développer un procédé global qui satisfasse aux objectifs suivants :

- diminuer la consommation en eau,
- traiter les rejets et valoriser les sous-produits,
- produire un café marchand présentant les meilleures qualités physique et organoleptique possibles.

L'expérimentation de ce procédé de valorisation de la pulpe renforce donc l'importance des travaux en cours, dans le domaine de la technologie du café et de la protection de l'environnement. La participation d'un industriel mexicain à ces travaux sur pilote permettra, en fonction des résultats obtenus, d'engager ensuite la phase de transfert de la technologie TRANSPAILLE au Mexique.

A l'issue d'une première campagne d'essai, il a été démontré que le procédé se prête bien à la digestion de la pulpe de café sous réserve d'un processus de démarrage adéquat compte tenu du profil acide du substrat. Les premiers résultats obtenus en régime continu montrent que le rendement est de l'ordre de 0,180 m<sup>3</sup>/kg MO pour une charge spécifique de 3,4 kg MO/m<sup>3</sup>.j. Il est probable qu'une correction du pH soit nécessaire pour des charges supérieures. Compte tenu du taux de biodégradabilité de la pulpe, des rendements supérieurs pourraient être obtenus dans ces conditions. Les essais se poursuivront au cours de la campagne 95/96 qui débutera en novembre 95.

Bien que les résultats obtenus soient insuffisants pour l'analyse économique de la filière proposée, de premières options ont pu être dégagées pour l'utilisation du biogaz et du compost.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Blanes R., 1982. Fermentation anaérobie de la pulpe de café avec production de méthane. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université des sciences et techniques du Languedoc, Sciences alimentaires, Montpellier, France.

Cuzin N., Farinet J.L., Segretain C. et Labat M., 1992. Methanogenic fermentation of cassava peel using a pilot plug flow digester. *Bioresource Technology* 41, 259-264.

Farinet J.L., Sarr P.L., 1984; La filière compost biogaz au Sénégal, résultats acquis et perspectives. Rencontres Internationales "Energie et développement", Marseille 22-26 Mai 1984.

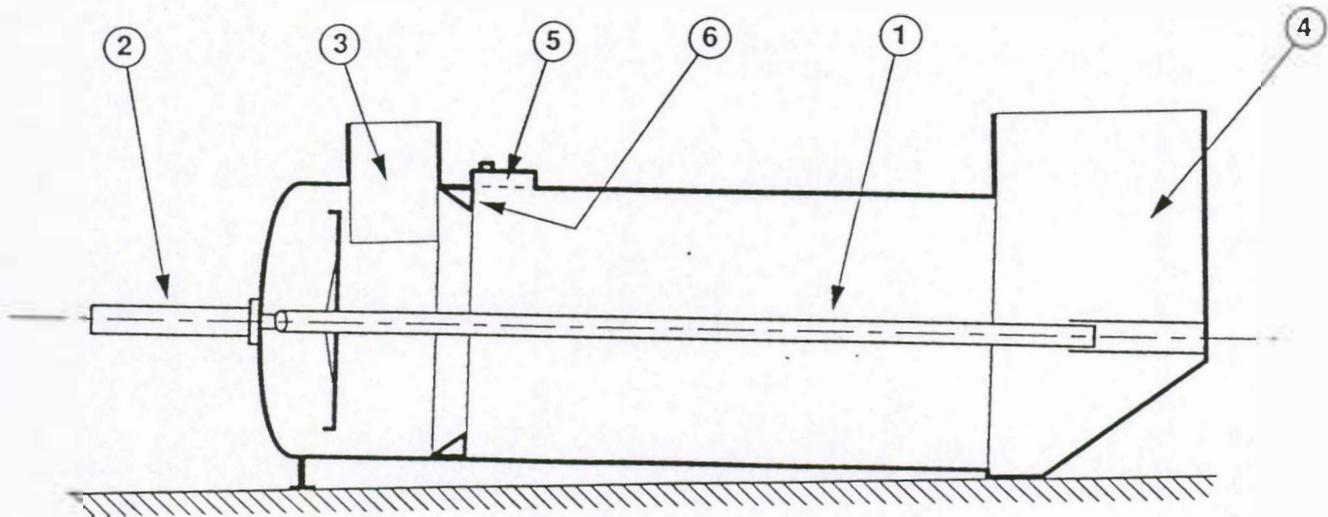
Farinet J.L., Forest F., Bocquien C.Y., 1987. The energy valorization of heterogeneous lignocellulose residues by the continuous Transpaille process. 4th E.C. Conference "Biomass for energy and industry". Grassi, Delmon, Molle and Zibetta editors. Elsevier Applied Sciences, London, 898-903.

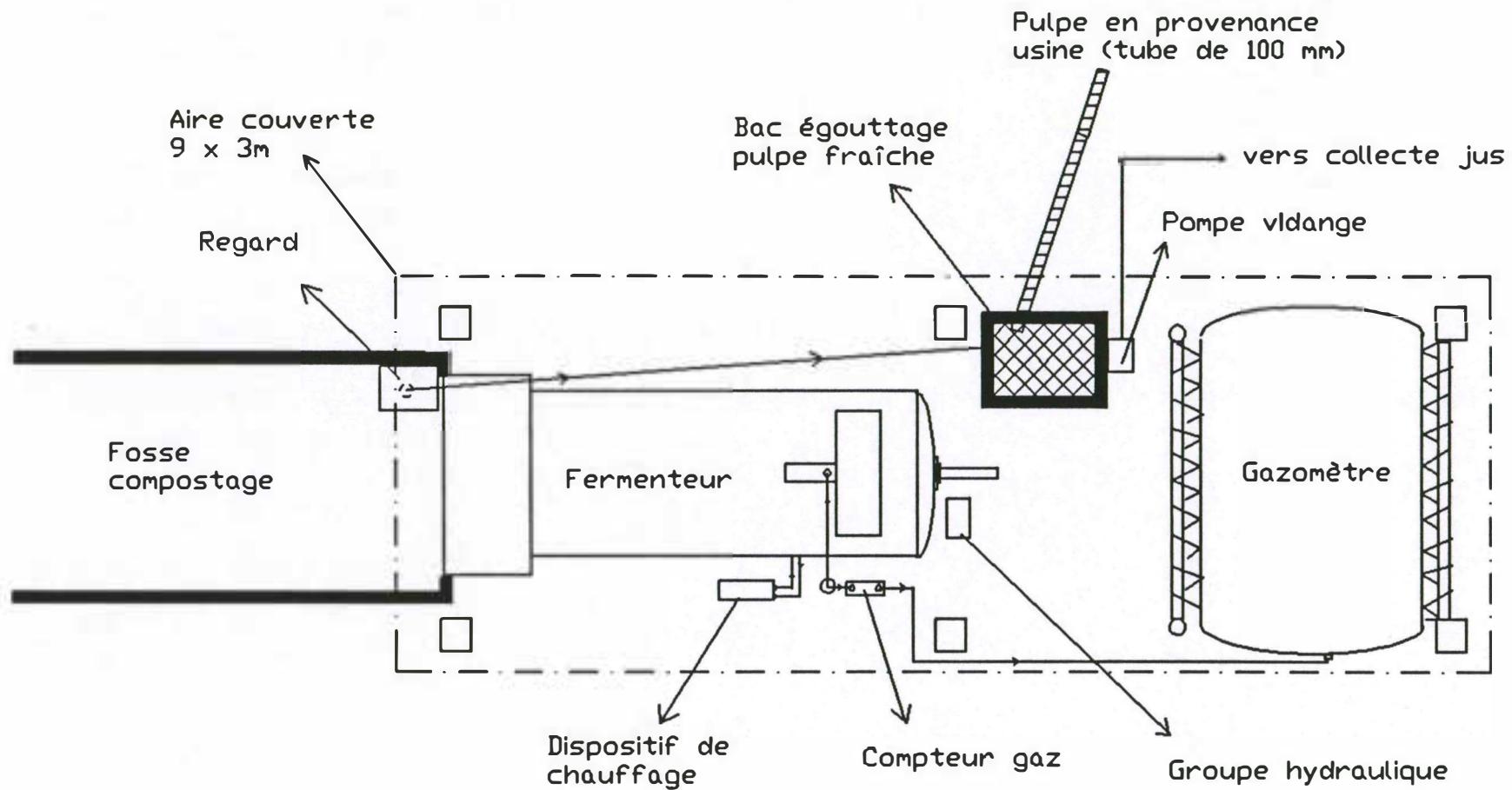
LA FARGE (de) B., 1995. Le biogaz. Procédés de fermentation méthanique. Ed. Masson, collection Ingénierie de l'environnement, Paris, France.

## **ANNEXES**

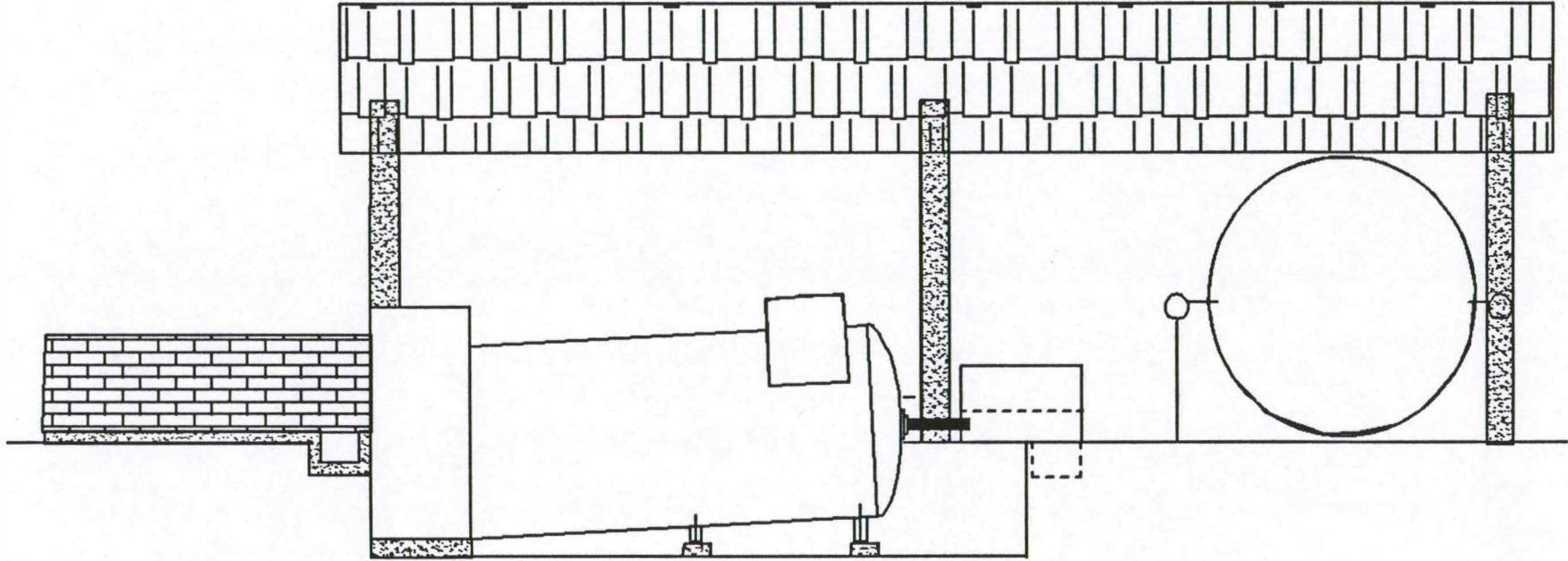
## SCHEMA DE PRINCIPE DU FERMENTEUR TRANSPAILLE.

- 1: arbre denté avec bouclier de poussée
- 2: vérin double effet
- 3: trémie de chargement
- 4: fosse d'évacuation
- 5: collecteur biogaz
- 6: joint à eau

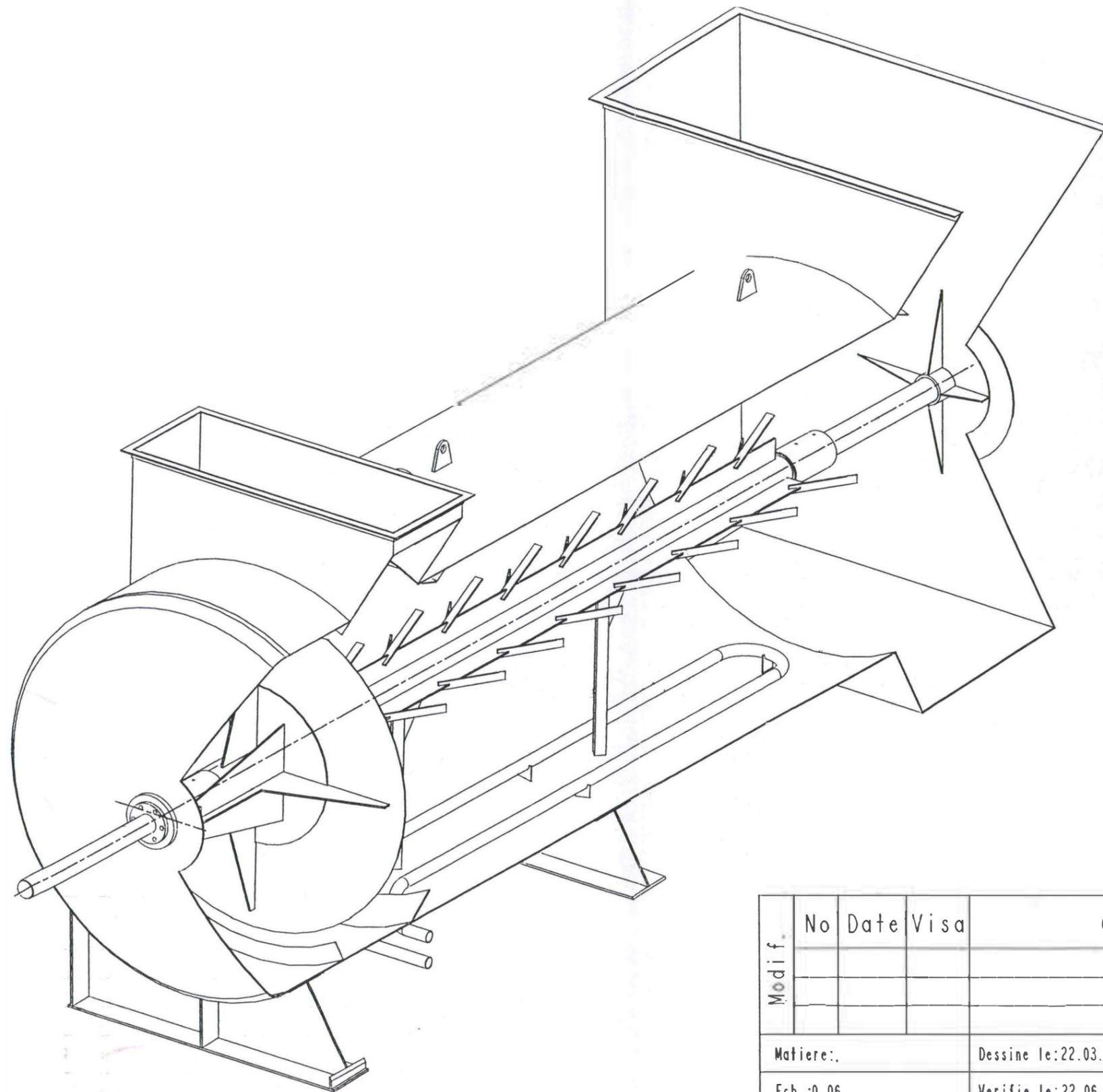




# IMPLANTATION DE L'UNITE PILOTE

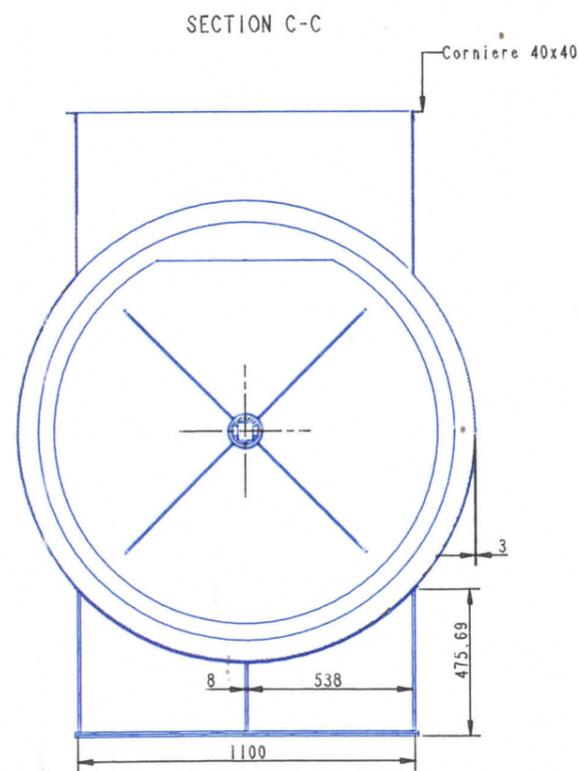
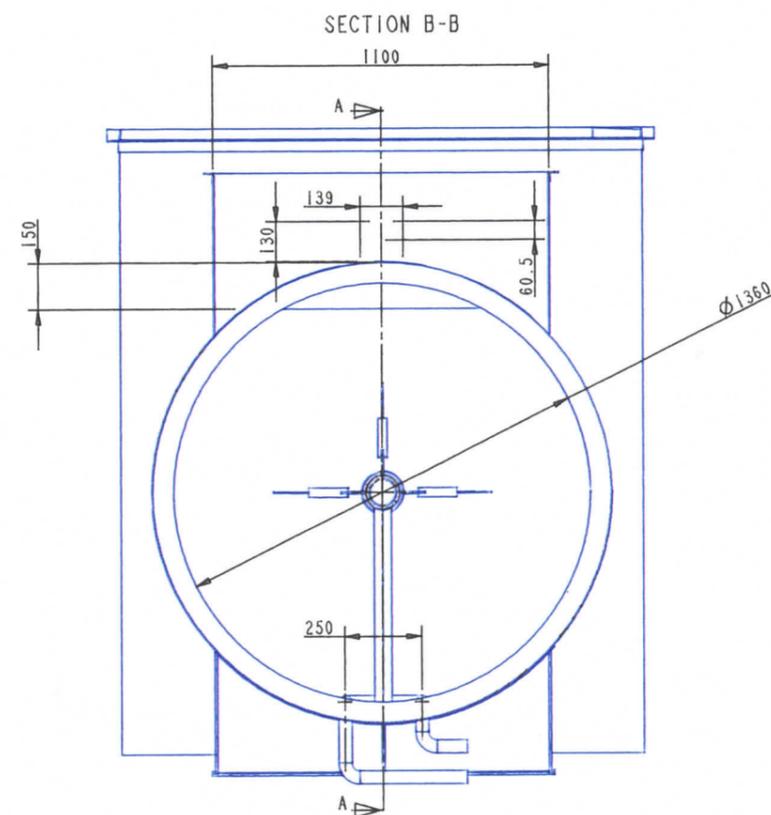
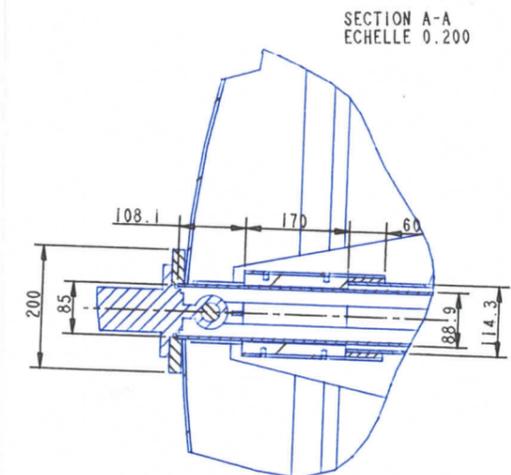
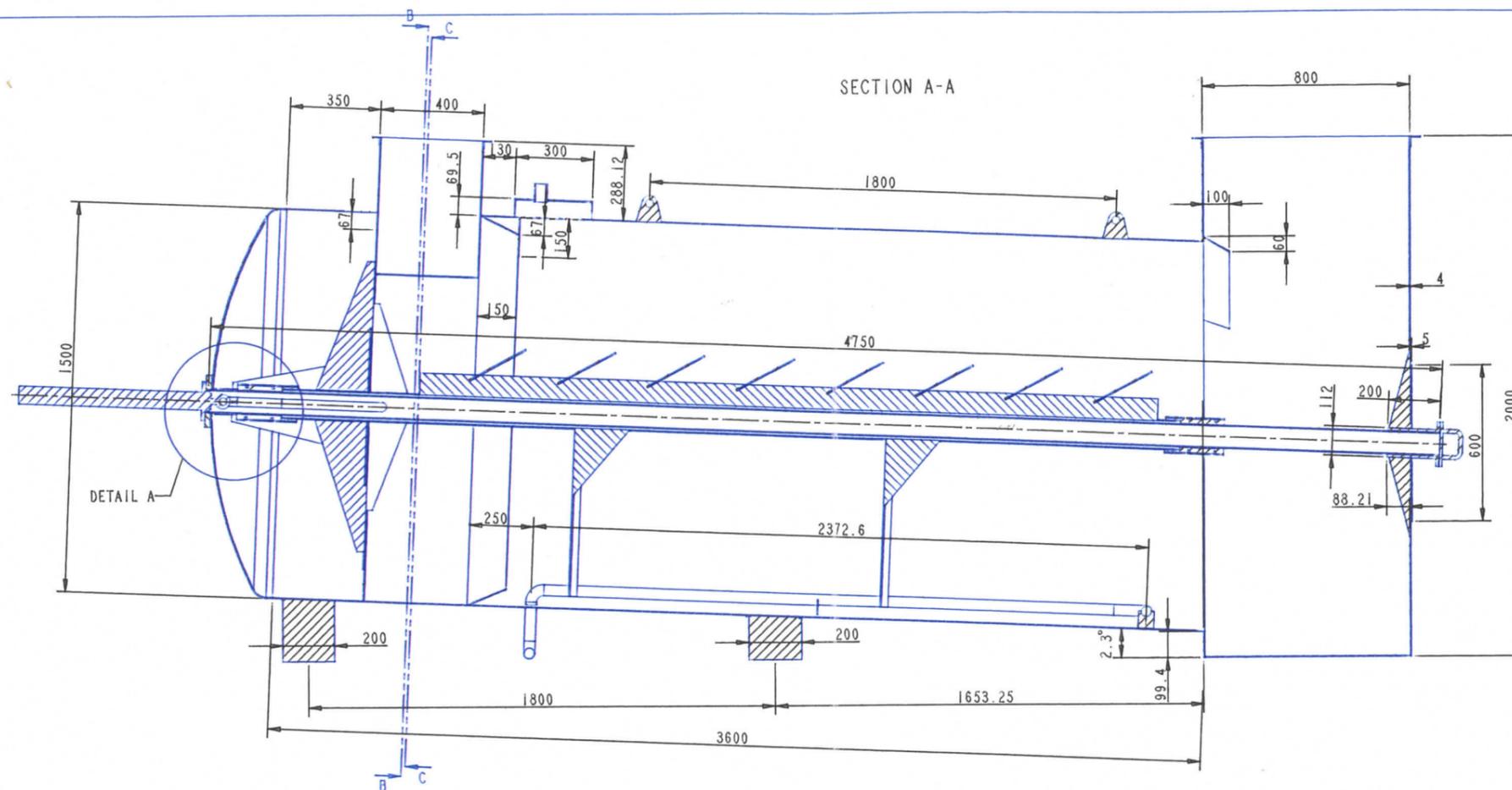


IMPLANTATION DE L'UNITE PILOTE



VERIN SORTI

Modif.	No	Date	Visa	Objet	
Matiere:.		Dessine le:22.03.94		Par:J.BROUAT	
Ech.:0.06		Verifie le:22.06.94		Par:J-L.FARINET	
CIRAD - CA U.R.GESTION DE L'EAU AGROPOLIS B.P.5035 34032 MONTPELLIER Cedex 1 Tel.67 61 56 41 Fax.67 61 56 32					
PILOTE TRANSPAILLE PERSPECTIVE COUPEE					



No	Date	Visa	Objet	CIRAD - CA U.R. GESTION DE L'EAU AGROPOLIS B.P. 5035 34032 MONTPELLIER Cedex 1 Tel. 67 61 56 41 Fax. 67 61 56 32
Modif.				
Elab.:		Dessiné le: 22.03.94		Per: J. BENOAT
Ck.:		Vérifié le: 22.04.94		Per: L. FANDET
PILOTE TRANSPAILLE COUPES				FI

Date	Jour	Age (j)	pH entree	pH sortie	Charge brute (kg)	Charge MO (kg)	Cumul MO (kg)	Biogaz (l)	Cumul biogaz (m3)
07/02/95	1	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	50+200+200	87,1	87,1	0	0
08/02/95	2	0 <sup>a</sup> 1	4,4	4,4	0	0	87,1	0	0
09/02/95	3	0 <sup>a</sup> 1	4,4	4,4	0	0	87,1	0	0
10/02/95	4	0 <sup>a</sup> 1	4,4	4,4	0	0	87,1	0	0
11/02/95	5	0 <sup>a</sup> 1			0	0	87,1	0	0
12/02/95	6	0 <sup>a</sup> 1			0	0	87,1	0	0
13/02/95	7	0 <sup>a</sup> 1	5,5	5,5	0	0	87,1	0	0
14/02/95	8	0 <sup>a</sup> 1	5,8	5,8	0	0	87,1	0	0
15/02/95	9	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	87,1	0	0
16/02/95	10	0 <sup>a</sup> 1			0	0	87,1	100	0,1
17/02/95	11	0 <sup>a</sup> 1			0	0	87,1	200	0,3
18/02/95	12	0 <sup>a</sup> 1	6,1	6,1	0	0	87,1	560	0,9
19/02/95	13	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	20	2,44	89,5	1097	2,0
20/02/95	14	0 <sup>a</sup> 1			0	0	89,5	1830	3,8
21/02/95	15	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	23	2,806	92,3	1830	5,6
22/02/95	16	0 <sup>a</sup> 1			0	0	92,3	1464	7,1
23/02/95	17	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	20	2,44	94,8	1464	8,5
24/02/95	18	0 <sup>a</sup> 1			0	0	94,8	660	9,2
25/02/95	19	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	50	6,1	100,9	660	9,9
26/02/95	20	0 <sup>a</sup> 1			0	0	100,9	970	10,8
27/02/95	21	0 <sup>a</sup> 1			0	0	100,9	970	11,8
28/02/95	22	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	50	6,1	107,0	970	12,8
01/03/95	23	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	107,0	1570	14,3
02/03/95	24	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	50	6,1	113,1	1750	16,1
03/03/95	25	0 <sup>a</sup> 1	6,5	7,0	0	0	113,1	1700	17,8
04/03/95	26	0 <sup>a</sup> 1	6,5	7,0	50	6,1	119,2	1390	19,2
05/03/95	27	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	119,2	1270	20,5
06/03/95	28	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	75	9,15	128,3	980	21,4
07/03/95	29	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	0	0	128,3	1770	23,2
08/03/95	30	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	0	0	128,3	1510	24,7
09/03/95	31	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	0	0	128,3	1180	25,9
10/03/95	32	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	100	12,2	140,5	1010	26,9
11/03/95	33	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	140,5	2080	29,0
12/03/95	34	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	140,5	1630	30,6
13/03/95	35	0 <sup>a</sup> 1	6,5	7,0	100	12,2	152,7	1270	31,9
14/03/95	36	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	152,7	1990	33,9
15/03/95	37	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	100	12,2	164,9	1590	35,5
16/03/95	38	0 <sup>a</sup> 1	6,5	7,0	0	0	164,9	1930	37,4
17/03/95	39	0 <sup>a</sup> 1	6,5	7,0	100	12,2	177,1	1620	39,0
18/03/95	40	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	0	0	177,1	1660	40,7
19/03/95	41	0 <sup>a</sup> 1	5,8	7,0	0	0	177,1	2750	43,4
20/03/95	42	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	100	12,2	189,3	1430	44,9
21/03/95	43	0 <sup>a</sup> 1		7,0	0	0	189,3	1930	46,8
22/03/95	44	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	100	12,2	201,5	1930	48,7
23/03/95	45	0 <sup>a</sup> 1	5,5	7,0	0	0	201,5	2750	51,5
24/03/95	46	0 <sup>a</sup> 1	5,8	7,0	114	13,908	215,4	1570	53,0
25/03/95	47	0 <sup>a</sup> 1		7,0	0	0	215,4	775	53,8
26/03/95	48	0 <sup>a</sup> 1	6,1	7,0	0	0	215,4	775	54,6
27/03/95	49	0 <sup>a</sup> 1	7,0	7,0	100	12,2	227,6	776	55,4
28/03/95	50	0 <sup>a</sup> 1	5,8	7,0	50	6,1	233,7	1270	56,6
29/03/95	51	0 <sup>a</sup> 1	5,8	7,0	110	13,42	247,2	1390	58,0
30/03/95	52	0 <sup>a</sup> 1	5,3	7,0	44	5,368	252,5	1820	59,8
31/03/95	53	0 <sup>a</sup> 1	5,8	7,0	100	12,2	264,7	1570	61,4
01/04/95	54	0 <sup>a</sup> 1		7,0	0	0	264,7	1440	62,9

Date	Jour	Age (j)	pH entree	pH sortie	Charge brute (kg)	Charge MO (kg)	Cumul MO (kg)	Biogaz (l)	Cumul biogaz (m <sup>3</sup> )
02/04/95	55	0 a 1	5,8	7,0	0	0	264,7	1441	64,3
03/04/95	56	0 a 1	5,5	7,0	100	12,2	276,9	990	65,3
04/04/95	57	0 a 1	5,8	7,0	50	6,1	283,0	970	66,3
05/04/95	58	0 a 1	5,8	7,0	100	12,2	295,2	2050	68,3
06/04/95	59	0 a 1	5,8	7,0	60	7,32	302,6	2210	70,5
07/04/95	60	0 a 1	6,1	7,0	100	12,2	314,8	2540	73,1
08/04/95	61	0 a 1	6,5	7,0	0	0	314,8	2850	75,9
09/04/95	62	0 a 1	5,8	7,0	0	0	314,8	2390	78,3
10/04/95	63	0 a 1	7,0	7,0	100,	12,2	327,0	2240	80,5
11/04/95	64	0 a 1	5,8	7,0	70	8,54	335,5	2590	83,1
12/04/95	65	0 a 1			0	0	335,5	2270	85,4
13/04/95	66	0 a 1			0	0	335,5	2270	87,7
14/04/95	67	0 a 1			0	0	335,5	2270	89,9
15/04/95	68	0 a 1			0	0	335,5	2270	92,2
16/04/95	69	0 a 1	7,0	7,0	0	0	335,5	2270	94,5
17/04/95	70	0 a 1	7,0	7,0	0	0	335,5	1840	96,3
18/04/95	71	0 a 1	7,0	7,0	100	12,2	347,7	1700	98,0
19/04/95	72	0 a 1	6,1	7,0	50	6,1	353,8	2340	100,4
20/04/95	73	0 a 1	6,1	7,0	100	12,2	366,0	2260	102,6
21/04/95	74	0 a 1	5,8	7,0	100	12,2	378,2	2710	105,3
22/04/95	75	0 a 1	5,5	7,0	100	12,2	390,4	3260	108,6
23/04/95	76	0 a 1	6,5	7,0	0	0	390,4	3220	111,8
24/04/95	77	0 a 1	7,0	7,0	110	13,42	403,8	2530	114,3
25/04/95	78	0 a 1	5,5	7,0	100	12,2	416,0	3020	117,4
26/04/95	79	0 a 1	5,5	7,0	120	14,64	430,7	3400	120,8
27/04/95	80	0 a 1			0	0	430,7	2100	122,9
28/04/95	81	0 a 1	6,1	7,0	114	13,908	444,6	2100	125,0
29/04/95	82	0 a 1	5,0	7,0	96	11,712	456,3	2800	127,8
30/04/95	83	0 a 1			0	0	456,3	2440	130,2

**Taux MO moyen pour age 0 a 1 jour: 12,2%**

Date	Jour	Age (j)	pH entree	pH sortie	Charge brute (kg)	Charge MO (kg)	Biogaz (l)
01/05/95	84	0 a 1	6,5	7,0	112	13,3	2440
02/05/95	85	0 a 1	5,8	7,0	115	13,7	2840
03/05/95	86	2 a 3	4,7	7,0	118	13,1	3170
04/05/95	87	0 a 1	5,5	7,0	122	14,5	2640
05/05/95	88	2 a 3	5,0	7,0	116	12,9	2820
06/05/95	89	2 a 3	5,8	7,0	114	12,7	2900
07/05/95	90	2 a 3	5,0	7,0	131	14,6	2920
08/05/95	91	0 a 1	5,5	7,0	120	14,3	2980
09/05/95	92	0 a 1	5,5	7,0	125	14,9	3110
10/05/95	93	0 a 1	4,7	7,0	113	13,4	2950
11/05/95	94	2 a 3	-	7,0	110	12,3	2890
12/05/95	95	0 a 1	-	7,0	120	14,3	2760
13/05/95	96	0 a 1	4,7	7,0	123	14,6	2670
14/05/95	97	2 a 3	5,0	7,0	129	14,4	3320
15/05/95	98	4	4,7	7,0	117	17,2	2870
16/05/95	99	5	5,5	7,0	134	18,7	3000
17/05/95	100	0 a 1	5,5	7,0	148	17,6	3070
18/05/95	101	2 a 3	4,9	7,0	136	15,2	2970
19/05/95	102	0 a 1	5,0	6,6	140	16,7	2680
20/05/95	103	0 a 1	5,7	6,6	141	16,8	2580
21/05/95	104	2 a 3	5,1	6,6	140	15,6	2990
22/05/95	105	0 a 1	5,0	6,7	134	16	2880

Analyses moyennes  
de la pulpe stockee

Age (j)	pH	MS (%)	MO/MS (%)	MO (%)
0 a 1	4,70	12,61	94,39	11,90
2 a 3	5,00	11,89	93,76	11,14
4	5,00	15,98	91,90	14,69
5	-	15,30	91,24	13,95

