

Bibliothèque

LABORATOIRE DE MICROBIOLOGIE ORSTOM-ENSUT

(Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer,
Ecole Nationale Supérieure Universitaire de Technologie)

ENSUT B.P. 5085 DAKAR SENEGAL

RECHERCHE SUR LA PRODUCTION
DE METHANE A PARTIR
D'ALGUES MARINES.

Cas des algues de la petite côte du Sénégal.

Stéphane LECLERCQ (ORSTOM)
Travail réalisé au CRODT
(Centre de Recherche Océanographique
de Dakar-Thiaroye)

avec la participation de M^{rs} Jean PAGES
et Emanuel SUISSSE de SAINTE CLAIRE.

JUILLET 1984

METHANISATION DES ALGUES MARINES

-SOMMAIRE-

Introduction.

- 1- Contexte - Localisation et estimation du volume d'algues.
 - 2- Matériel et analyses.
 - 2-1- Fermenteurs de laboratoire en discontinu de 2,5 l.
 - 2-2- Analyses de gaz.
 - 3- Sélection d'un ensemencement.
 - 4- Essais de fermentation de différentes algues sur boues de mangrove.
 - 4-1- Algues de Joal.
 - 4-2- Algues de Joal préfermentées.
 - 4-3- Cladophora sp.
 - 4-4- Ulva Lactuca.
 - 5- Résultats des essais de fermentation.
 - 5-1- Courbes de fermentation et production de biogaz.
 - 5-2- Durée optimale de fermentation.
 - 5-3- Rendements massiques en biogaz et méthane.
 - 5-4- Synthèse des résultats.
 - 6- Conclusion.
-

Introduction

D'importantes quantités d'algues marines s'échouent chaque année sur la "petite cote" du Sénégal, entre Dakar et Joal-Fadiou.

Cette accumulation d'algues, parfois sur une couche de 50 cm., provoque par endroits des nuisances, en particulier par les odeurs que dégage leur fermentation (en baie de Hann par exemple) et constitue une source de biomasse végétale non encore valorisée.

Différentes filières de valorisation ont été envisagées, et déjà testées, comme la fabrication de compost (qui donne des résultats intéressants, mais demanderait des essais sur plusieurs années), ou l'extraction de composés utilisés en industrie pharmaceutique ou alimentaire (projet finalement abandonné après une analyse des algues en France).

D'autres filières peuvent être étudiées, comme inclure des algues dans la nourriture animale, ou enfin la fermentation méthanique.

Le CRODT. a ainsi construit un fermenteur en continu de 8m³ à Thiaroye, à proximité de la plage. Cependant, ne disposant que de très peu de données sur la fermentation méthanique des algues marines, et d'aucun résultat sur celles de la petite côte, cette préétude a été réalisée en laboratoire, de façon successive, à sélectionner un ensemencement caractéristique des algues, à connaître la fermentescibilité de ces algues, les conditions optimales de travail, et les rendements en biogaz et en méthane.

Cette étude se déroule donc en deux phases:

- sélection d'un ensemencement sur un type d'algue choisi et identique pour chaque essai.
- étude des rendements obtenus à partir de cet inoculum sur différentes algues.

1- Contexte. Localisation et estimation du volume d'algues.

Globalement des algues s'échouent tout le long de la petite côte entre Dakar et Joal, avec une période dominante entre décembre et le début de l'hivernage. Les quatre principales espèces rencontrées sur cette côte sont:

- Ulva Lactuca
- Cladophora sp.
- Hypnéea sp.
- des Phanérogames

Cependant, on note deux pôles principaux où les algues sont présentes: tout d'abord à proximité de Dakar, en baie de Hann et jusqu'à Thiaroye-Rufisque, on trouve Ulva et Cladophora essentiellement, dont on estime la quantité à 20 à 100 tonnes de matière sèche selon les années (les données quantitatives sont très difficiles à estimer du fait de la quantité d'algues flottant, d'algues enterrées, et la difficulté pour séparer les algues fraîches des vieilles).

Le deuxième pôle se situe entre Mbodiène et Joal, où l'on retrouve de grosses quantités du mélange 50% Cladophora, 50% Hypnéea avec une faible présence localement d'Ulva et de Phanérogames. On en estime la quantité à environ 100 tonnes de MS par an sur ces 10 km. de côte. Lors de notre tournée en février 1984, il y avait environ 50 à 100 kg de matière fraîche par mètre de plage.

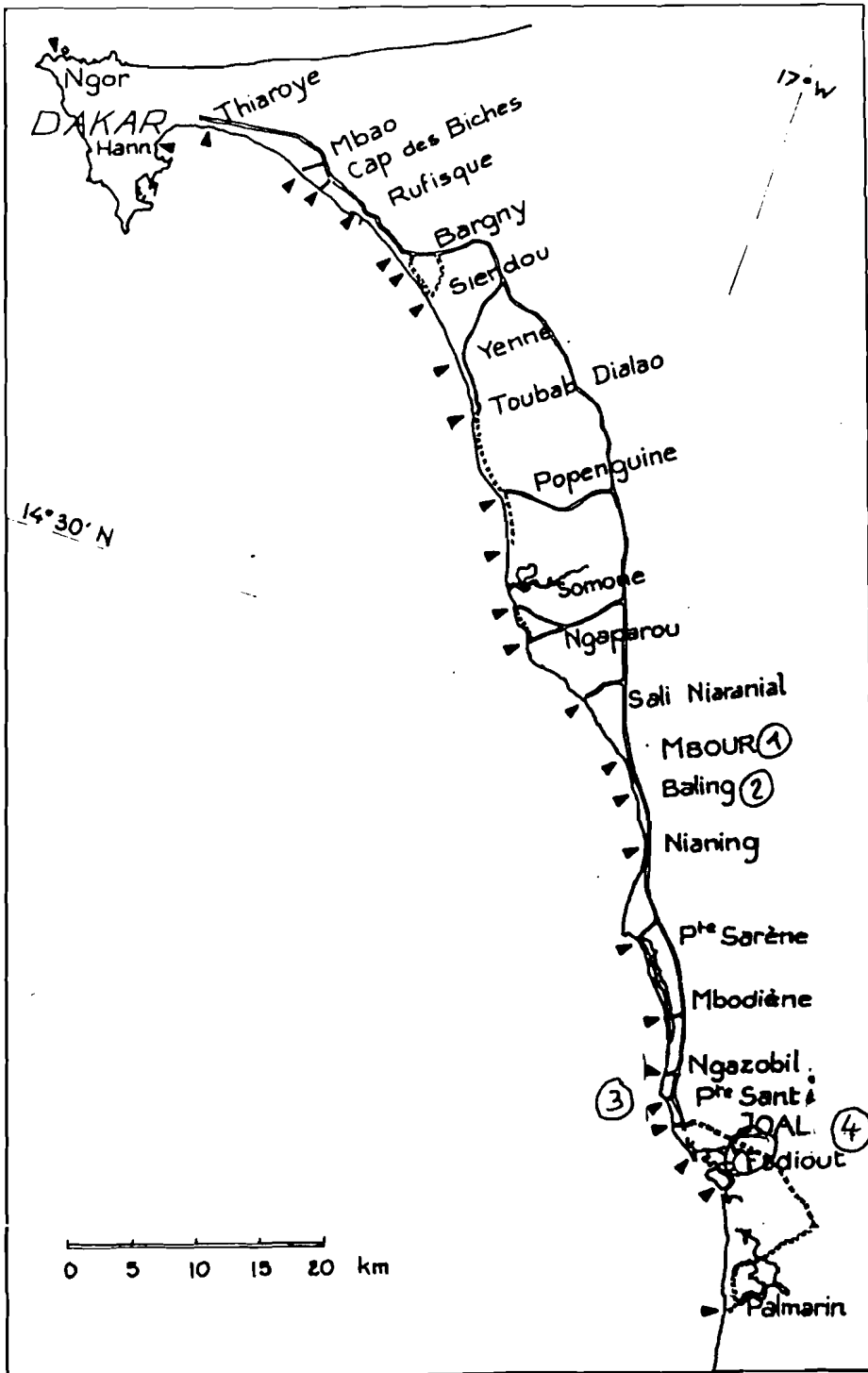
Entre ces deux pôles on retrouve une moindre quantité d'algues (Hypnéea 50%, Cladophora 30%, Ulva 20%), essentiellement entre Mbour et Mbodiène.

(cf. carte page suivante.)

Nous avons tout d'abord choisi de tester différents ensemencements sur le mélange de Joal-Pointe Santi pour deux raisons:

- La volonté de tester la qualité de divers inoculum du milieu marin présents dans cette région, sur des algues prélevées à proximité de ces sources d'ensemencement.
- La volonté de travailler sur la valorisation des algues en milieu rural ou semi rural, la région de Dakar disposant de substrats beaucoup plus intéressants que celui ci.

Petite côte du Sénégal



La composition élémentaire des algues révèle de fortes teneurs en matières minérales (30 à 40% des MS.), et notamment en calcium (Brouard 1983) qui peut précipiter en carbonate de calcium, avec une augmentation du pouvoir tampon du milieu vis à vis des acides gras volatils, au fur et à mesure de la fermentation des algues. La présence de soufre en quantité importante a posé des problèmes d'odeurs d'hydrogène sulfuré durant les essais (d'après Brouard, 1983, on relève 2 à 3,5% de soufre dans les matières sèches, suivant les algues).

Avec un titre en bicarbonates de 120 mg./l., l'eau de mer constitue également un milieu tampon des AGV.

%de la matière solide	algues de Joal (cladophora+ hypnèa+ulva)	cladophora
solides volatils (MSV)	65%	60%
cendres (matière minérale MM.)	35%	40%

2- Matériel et analyses

2-1- Fermenteurs de laboratoire en discontinu de 2,5 litres

Les essais ont été effectués en discontinu dans des fermenteurs de volume utile de 2,5 l, chauffés par bain-marie à 35-37°C . Le bain-marie est chauffé et brassé par un bloc thermique plongeur thermostaté. Le niveau est régulé par une réserve d'eau déminéralisé relié au bac, au niveau choisi, par un tube en verre. L'évaporation est limitée par une feuille de plastique posée à la surface du bain.

Les fermenteurs sont agités manuellement en secouant le substrat vigoureusement 1 à 2 fois par jour. Cette agitation trop succincte et l'absence de broyage initial des algues expliquent pourquoi nous avons dû travailler à des faibles concentrations en matière sèche dans les fermenteurs. Il s'en est suivi des faibles rendements volumiques en biogaz par rapport au rendements massifs

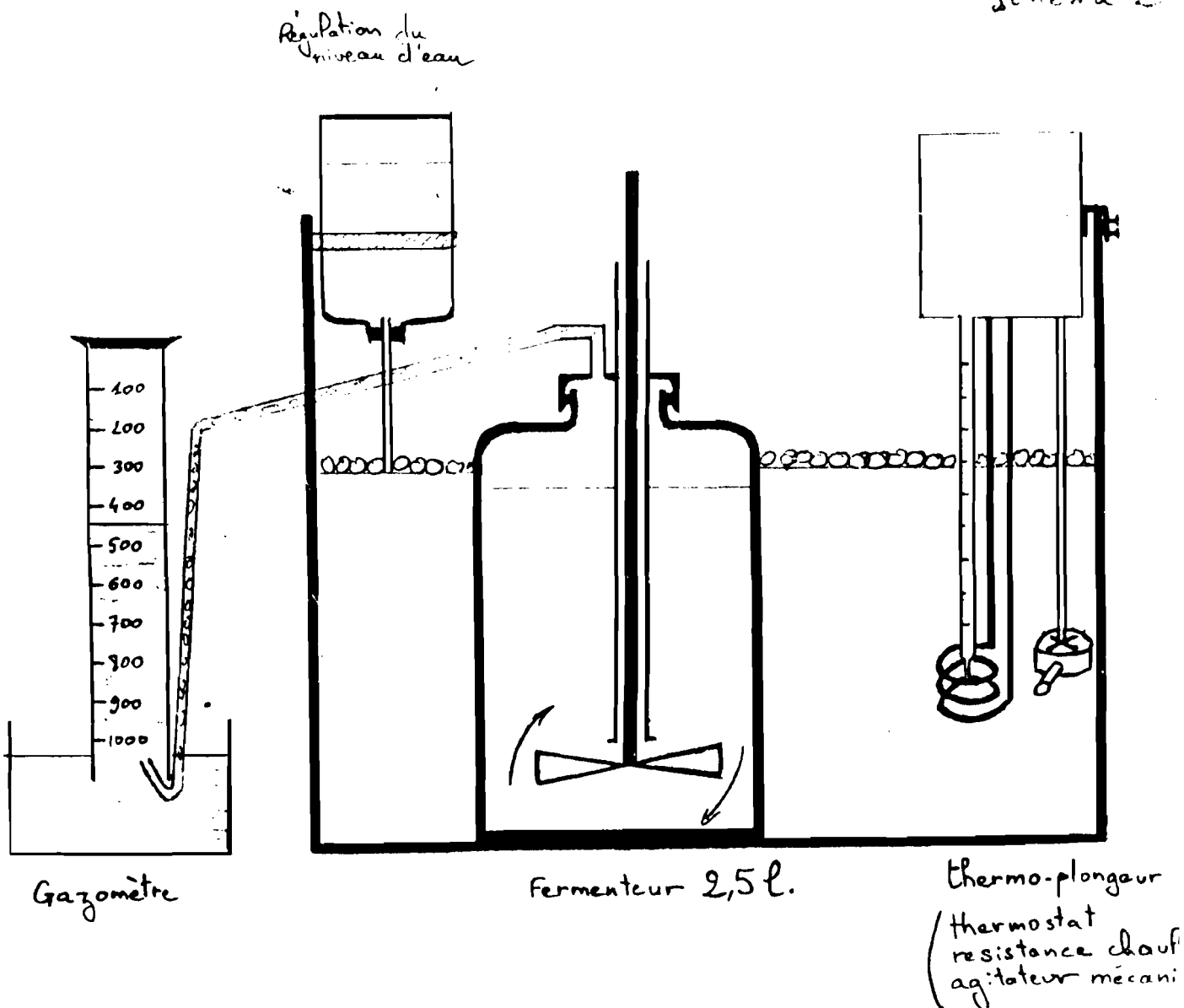
Ce défaut d'agitation a entraîné la flottation du substrat durant une partie du temps de fermentation, formant un bouchon et empêchant la bonne humidification des algues, ce qui a fait baisser les rendements en biogaz. On considérera les résultats en fonction de ces problèmes de matériel.

La quantité de gaz formé est mesurée dans des éprouvettes graduées en verre plongées dans une solution acide de sulfate de potassium, pour éviter la solubilisation du CO_2 (acide sulfurique + K_2SO_4 + hélianthine). Le volume est mesuré quotidiennement après prélèvement d'un échantillon pour analyse.

On a suivi l'évolution du pH au cours de la fermentation

FERMENTEUR DE LABORATOIRE EN DISCONTINU

Schema 2



2-2- Analyses de gaz.

La composition du gaz en méthane, gaz carbonique et air a été mesuré quotidiennement par chromatographie en phase gazeuse dans les conditions suivantes:

- . Chromatographe Beckman GC 2120 à catharomètre
- . Colonne en acier inox 3mm x 1,5m remplie de charbon ac
- . Gaz vecteur: Hélium
- . Pression du gaz vecteur dans la colonne: 2 bars
- . Température du four: 50°C
- . Température de l'injecteur: 60°C
- . Température du détecteur: 100°C
- . Catharomètre réglé à 150 mA.

Le pic composite d'air (O_2+N_2) sort à 2 mn, le méthane à 6 mn et le gaz carbonique à 20 mn. Deux analyses sont faites simultanément, le pic composite d'air et le pic de méthane du 2^{ème} échantillon sortants entre le pic de méthane et celui de C du premier échantillon. (cf. courbe)

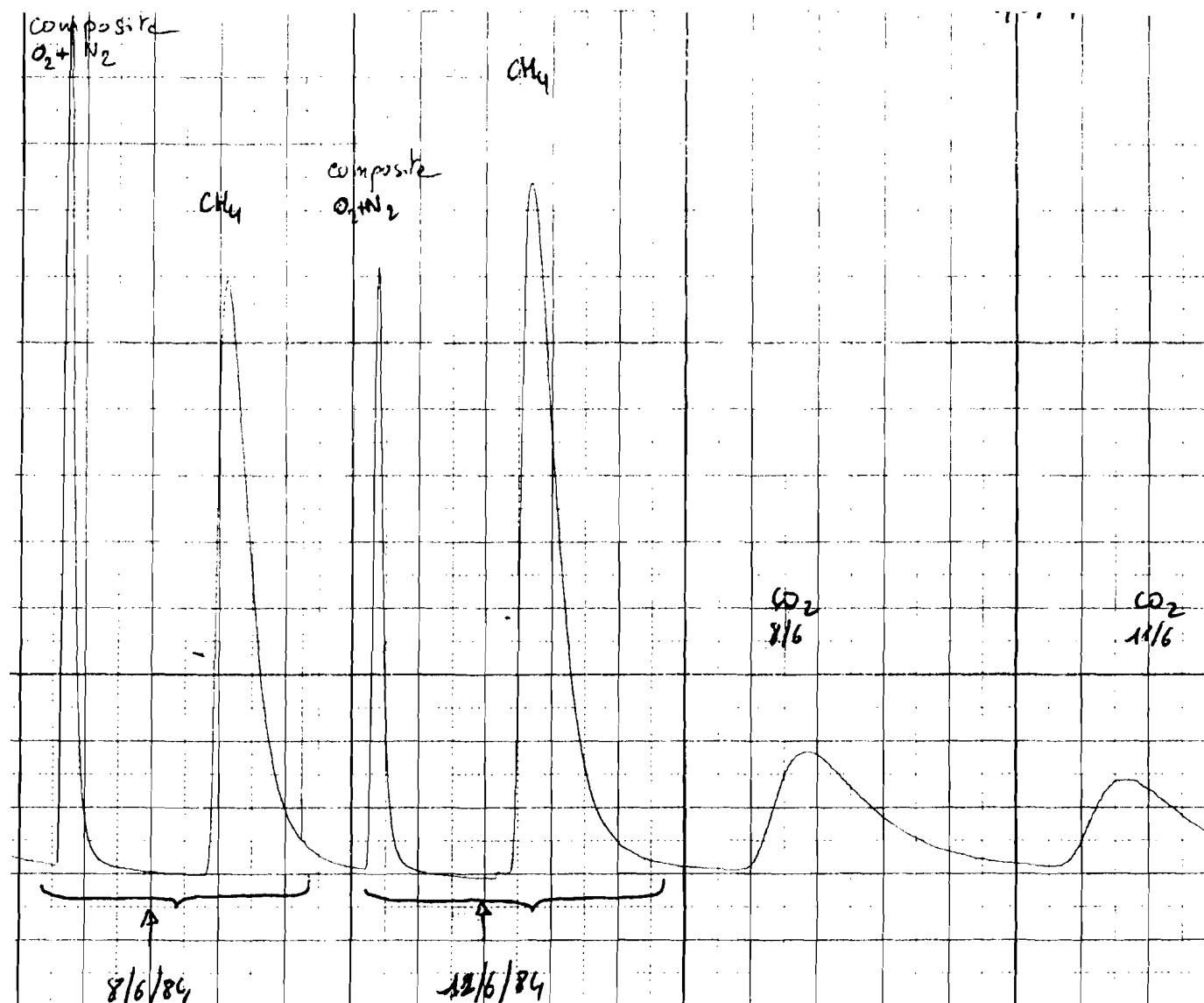
1 ml de gaz est injecté à la seringue. L'étalonnage est effectué en injectant des quantités connues de gaz pur. Les courbes d'étalonnage sont réalisées en fonction de la hauteur des pics d'air et de gaz carbonique, et de la surface du pic de méthane.

3- Sélection d'un ensemencement.

La première phase du travail a consisté à ensemencer 100g d'algues sèches du mélange de Joal-Pointe Santi, avec quatre boues d'ensemencement différentes:

1. Boues d'une vasière située à 200m de la plage à la pointe Santi. (boues noires à forte odeur sulfureuse (fermenteur en eau de mer)
2. Algues prefermentées prélevées sous une épaisse couche d'algues à la pointe Santi. (fermenteur en eau de mer)

Courbe d'analyse du gaz du fermenteur n°1. (échantillons du
8/6/84 et 11/6/84)



3. Boues de mangrove prélevées à 2km de Joal sur la route de Djiffer. Boues grisâtres, fortement sablonneuses, faible odeur de vase.

(fermenteur en eau de mer)

4. Boues anaérobies d'un fermenteur sur fumier de bovins de l'ENSUT.

(fermenteur en eau douce)

Un dernier ensemencement a finalement été laissé de côté: les déchets de poissons. En effet les poissons de la petite côte so

essentiellement des filtreurs et des carnivores. Peu de poissons de cette région sont herbivores. Par conséquent leur flore intestinale paraît peu adaptée à la fermentation méthanique des algues.

Parmi ces essais seul le fermenteur 3 sur boues de mangrove a donné de bons résultats: 12,7 litres de biogaz dont 4,5 litres de méthane. Le fermenteur 1 et le 4 (en eau douce) n'ont pas fermentés, et le fermenteur 2 a produit seulement 3 litres de biogaz après 15 jours de temps de latence.

Dans la suite de l'étude on a ainsi conservé les boues de mangrove comme ensemencement.

4- Essais de fermentation de différentes algues sur boues de mangrove.

Suite aux résultats du 3- les fermenteurs ont été remplis de boues de mangrove, d'algues sèches et d'eau de mer.

4-1- Fermenteur n°1- Algues de Joal. Ce fermenteur a été rempli avec 100g du mélange Cladophora/ Hypnèa/ Ulva, sèc inoculé avec 200g de boues, et complété avec 1,7 l. d'eau de mer.

4-2- Fermenteur n°2- Algues de Joal préfermentées. On a procédé comme précédemment, avec 100g poids sec du mélange Cladophora/Hypnèa/Ulva, laissé à la rosée sur des claies pendant 1 mois.

4-3- Fermenteur n°3- Cladophora. On a procédé comme précédemment, avec seulement 50g poids sec de Cladophora seule.

4-4- Fermenteur n°4- Ulva Lactuca. Ce dernier fermenteur a été chargé avec 100g poids sec d'Ulva Lactuca seule.

Ces quatre essais ont été réalisés dans les mêmes conditions.

5- Résultats des essais de fermentation.

5-1- Courbes de fermentation et production de biogaz.

Les courbes p.10 et p.11 donnent les résultats de la production de biogaz et de méthane au jour le jour, pour les fermenteurs 1 et 2. Les résultats du fermenteur n°3 n'ont pas été portés sur ces courbes, car du fait de sa faible charge volumique, la production de gaz n'est pas élevée. On retrouvera les résultats de ce fermenteur sur la courbe de rendements massifs p.15. Le fermenteur n°4 n'a donné aucun résultat, les algues (*Ulva Lactuca*) n'ayant pas fermenté dans ces conditions et la production de gaz étant restée nulle.

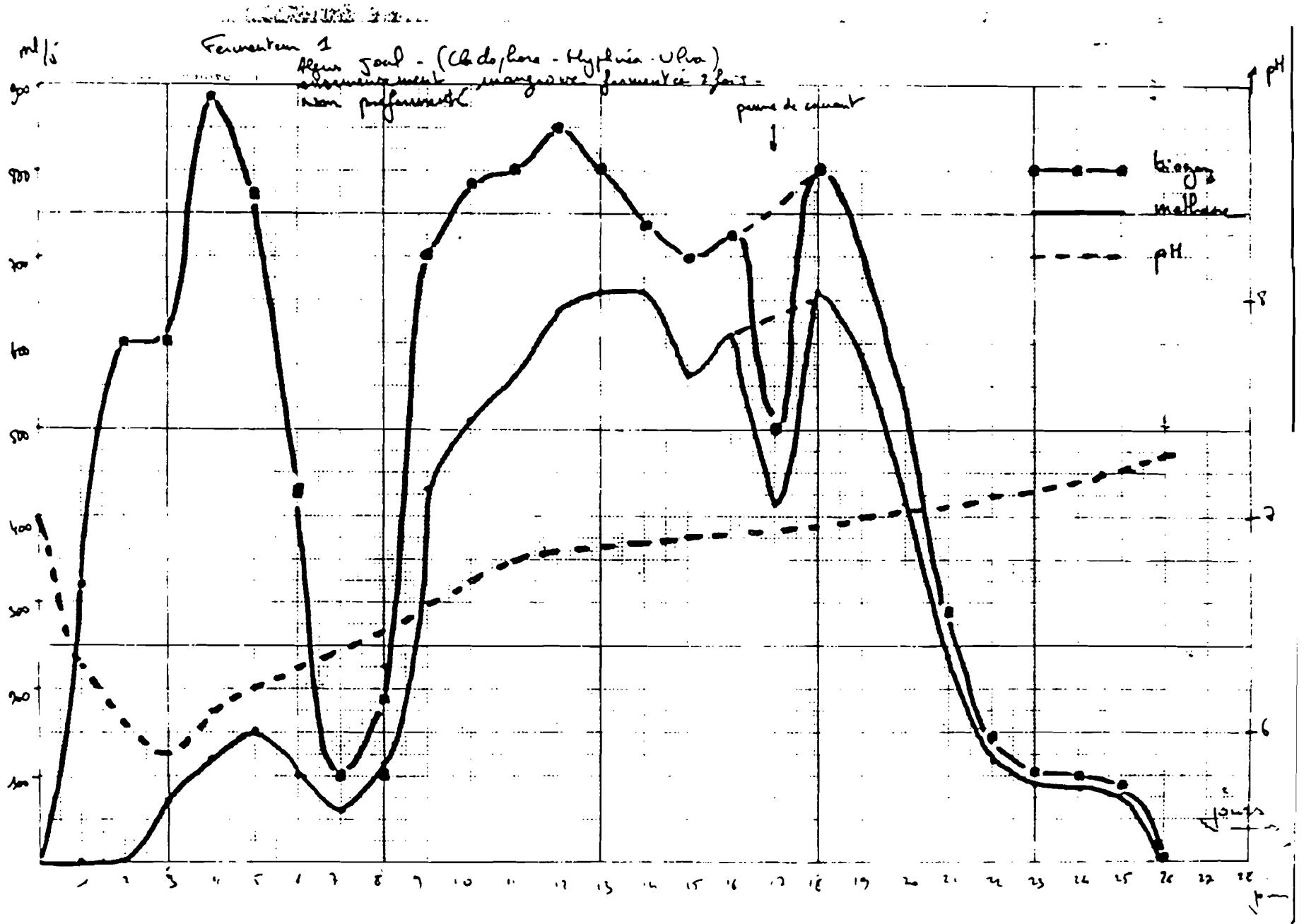
L'observation des courbes de fermentation montre que cette dégradation des algues se déroule en deux temps:

- . Une phase d'acidification et d'hydrolyse de la matière organique. Cette phase dure 7 à 10 jours. Durant cette période le pH descend progressivement de 7 à 5,8/5,9 et on obtient uniquement du gaz carbonique à raison de 24 & 37 l/kg de MS.
- . Une deuxième phase, du 8^{ème}/10^{ème} jour au 25/30^{ème} jour, durant laquelle la flore méthanogène transforme les acides gras volatiles formés en méthane et gaz carbonique. Durant cette phase, le pH remonte doucement jusqu'à 7 à 7,5, et l'on produit un biogaz se rapprochant de 90% de méthane.

La fermentation anaérobie des algues marines se sépare donc nettement en une phase acidogène et une phase méthanogène.

5-2 Durée optimale de fermentation.

Le tableau 1 permet de comparer les résultats des trois fermenteurs pour deux durées de fermentation, et de connaître la productivité en gaz en fonction du temps de séjour.



Fermenteur 2
 Algues Jaunes (Closterium - Hydrocoleum - Ulva)
 enrichies avec Manganèse
 Culture en sérum (2 mois)

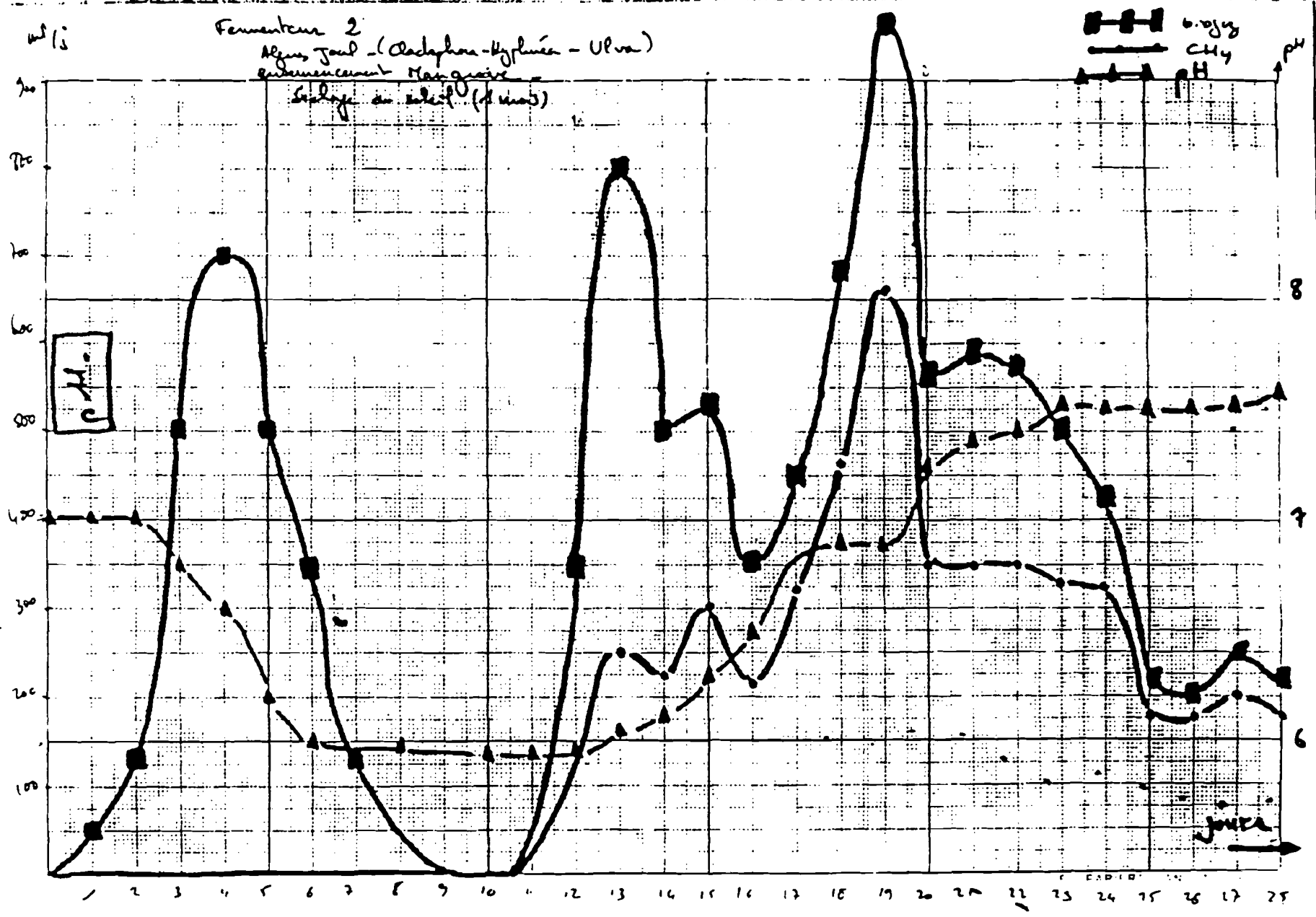


TABLEAU 1.

temps de séjour résultat essai	MS. (g.)	20 jours			25 jours			%CH ₄
		biogaz (l.)	CH ₄ (l.)	CH ₄ /j (l/j.)	biogaz (l.)	CH ₄ (l.)	CH ₄ /j (l/j.)	
ESSAI 1 (algues Joal)	100	12,75	7,65	0,38	13,46	8,1	0,32	5
ESSAI 2 (algues Joal pref)	100	7,7	3,0	0,15	10,0	4,8	0,185	4
ESSAI 3 (cladophora)	50	3,25	2,8	0,14	3,9	3,3	0,135	8

Les fermenteurs 1 et 3 donnent des résultats légèrement meilleurs à 20 jours qu'à 25, soit 0,38 l CH₄/j pour 100g de MS pour le n°1, et 0,14 l CH₄/j pour 50g de MS pour le n°3.

Le fermenteur sur algues préfermentées donne des résultats moins bons.

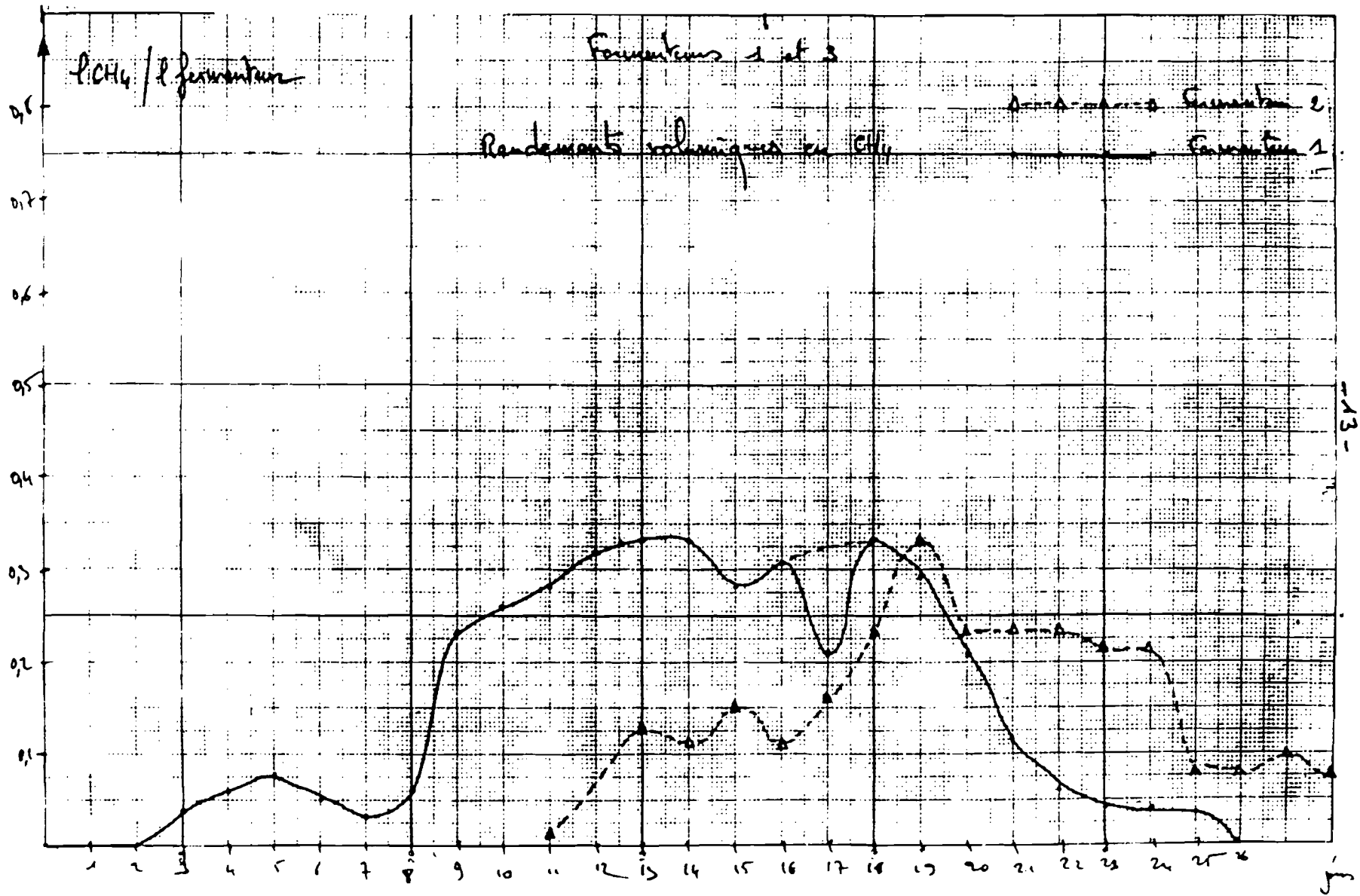
Les rendements volumiques en CH₄ sont relativement faible (0,15 l CH₄/l fermenteur pour le n°1). Ces faibles rendements sont dûs à la faible charge volumique, la mauvaise agitation, et l'absence de broyage, et également à la spécificité de ce substrat qui fermente en deux phases, ce qui allonge le temps de rétention.

Cependant, on remarque sur la courbe des rendements volumiques p.13, que durant la période du 9^e au 20^e jour, on a produit en 12 jours 7,2 litres de CH₄, soit 0,6 l/j.

On obtient ainsi durant la phase methanogène sur 12 jours un rendement volumique de 0,24 l CH₄/ 1 ferm./j. On peut atteindre ce résultat en continu et à cette faible charge vol.

5-3- Rendements massiques en biogaz et en methane.

Le tableau 2 nous donne les rendements massiques des trois fermenteurs en fonction des matières sèches volatiles.



-13-

j

Les fermenteurs 1 et 3 produisent respectivement 125 et 110 l CH₄/ kg MVS. Le rendement massique journalier moyen pour la phase méthanogène est de 9,2 l.CH₄/kg.MVS/j pour le fermenteur 1, et de 7,6 pour le fermenteur 3 (du 9^e au 20^e

TABLEAU 2 Rendements massiques en biogaz et CH₄.

essai	résultat (j.)	TS (g.)	MS (g.)	MSV (g.)	CH ₄ (l.)	CH ₄ /MSV (l/kg.)	biogaz/MSV (l/kg.)
ESSAI 1 (algues Joal)	25	100	65	8,1	125	205	
ESSAI 2 (algues Joal pref)	25	100	65	4,8	75	155	
ESSAI 3 (cladophora)	25	50	30	3,35	110	130	

5-4- Synthèse des résultats.

La comparaison des résultats obtenus avec différents essais de fermentation relevés dans la littérature montre que pour le mélange de Cladophora/Hypnée/Ulva et pour Cladophora seule on retrouve, en fermentant en eau de mer, les valeurs relevées. (tableau p 15 bis)

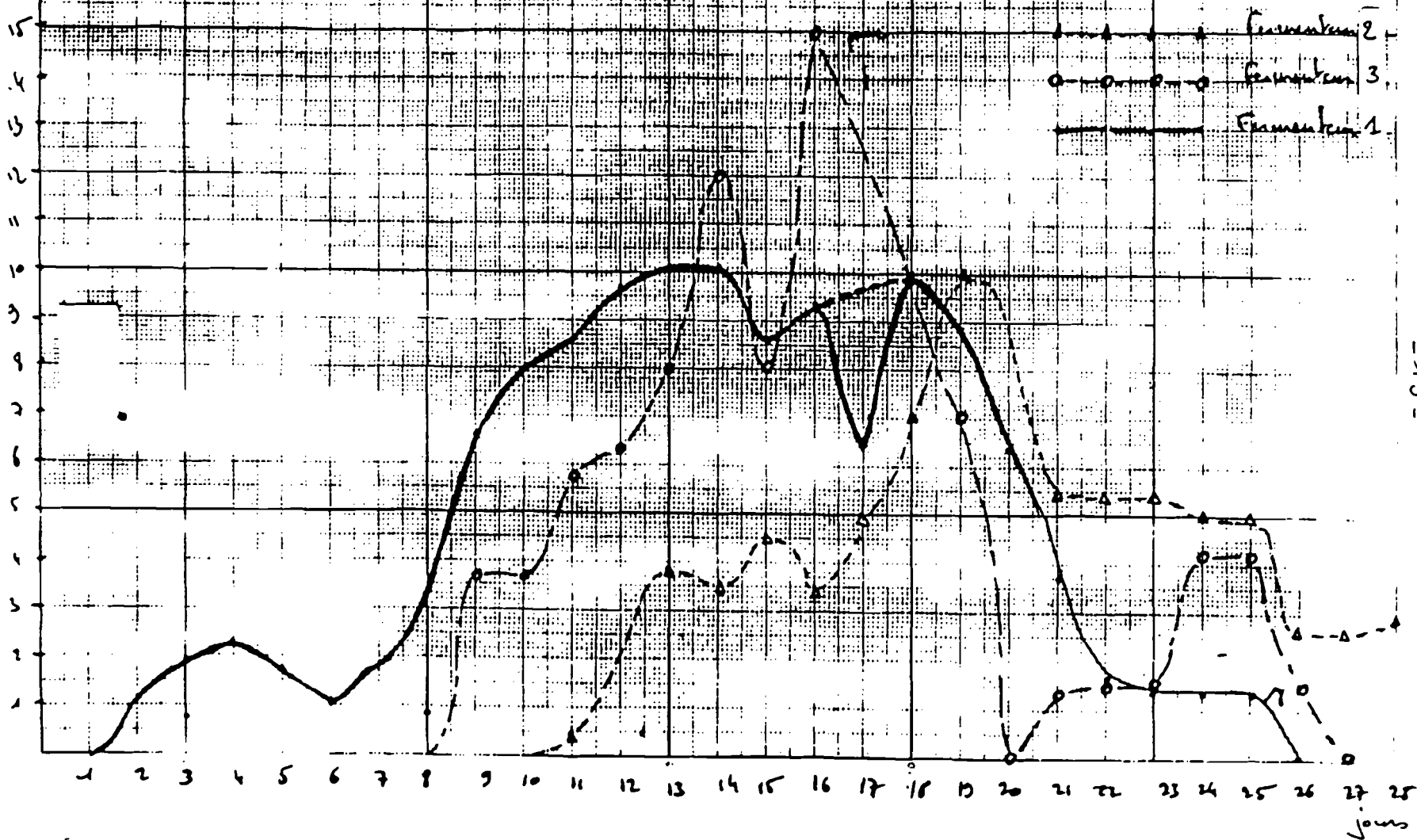
Compte tenu des rendements de fermentation, on peut considérer ces algues comme un bon substrat, puisqu'elles sont susceptibles de produire sensiblement les mêmes quantités de méthane que de nombreux substrats terrestres. De même la boue de mangrove est un bon ensemencement, qui contient les flores acidifiantes et méthanogènes nécessaires à la dégradation des algues en milieu salé.

Sur le plan de la technologie, on notera qu'un broyage fin du substrat permettra un meilleur contact entre les algues et l'innoculum, et une augmentation sensible des rendements de fermentation. D'autre part l'installation d'un

$\rho_{CH_4} / \rho_{H_2S}$

Fermenteur
2-2-3

Rendements massiques



-15-

TABLEAU 3. Comparaison des résultats des essais 1 et 3 à ceux trouvés dans la littérature.

espece	1 CH ₄ /kg MSV	TS.(j)	référence
ESSAI 1 (cladophora, hypnéa)	125	25	-
ESSAI 3 (cladophora)	110	25	-
hydrodyction + cladophora	250	20	Binot et al. 1978
laminaria saccharina	120	25	Trojano et al. 1976
lemna sp.	130	26	Wise et al. 1979
ulva lactuca	150/190	20	Wise et al. 1979 Brouard 1983

Références:

- Wise D.L., Augenstein D.C., Ryther J.M., 1979 - Methane fermentation of aquatic biomass - Res. Rec. Conserv. 4, 217-222
- Brouard F., 1983 - Digestion anaérobie de la biomasse végétale aquatique - Thèse Docteur-Ingénieur 120p. - TOULOUSE
- Trojano R.A., Wise D.L., Augenstein D.C., Kispert R.G., 1976 Fuel gas production by anaerobic digestion of kelp - Res. Rec. Conserv., 2, 171-176.
- Binot R.A., Martin D., Nyns J.F., Naveau M., 1978 - Digestion anaérobie d'algues cultivées dans des eaux de refroidissement Seminaire "Héliosynthèse et aquaculture" MARTIGUES, nov. 1978

système d'agitation intermittente une à deux fois par heure améliorerait également les résultats.

Enfin, compte tenu de la séparation de la fermentation des algues en deux phases, la fermentation en continu paraît beaucoup plus intéressante et peut être séparée en deux étages de traitement: une cuve d'acidification et une cuve de méthanisation reprenant les acides gras volatils. De cette façon les conditions physico-chimiques des deux phases de fermentation seraient optimisées par rapport à un procédé en une seule étape. Le deuxième étage servant à la méthanisation des matières organiques solubilisées, peut éventuellement, si l'on travaille sur un substrat broyé, être réalisé avec les techniques de filtration biologique.

Ce type de substrat paraît très intéressant à fermenter avec ce type de technologie. Des essais de fermentation en continu seront programmés prochainement.

6- Conclusion.

La fermentation méthanique des algues marines *Cladophora*, *Hypnea*, *Ulva lactuca*, et de *Cladophora* seule, en milieu marin et inoculé avec des boues de mangrove donne de bons rendements en biogaz et en méthane. Malgré des moyens limités on retrouve, avec des rendements massiques de 125 et 110 litres de méthane par kg de matières volatiles, des résultats proches de ceux obtenus dans d'autres laboratoires ayant travaillé sur les algues, ainsi que de ceux obtenus sur d'autres substrats végétaux de type rural.

Cependant il paraît difficile de parler de rentabilité financière à partir de tels résultats. En effet compte tenu du coût de fabrication de cuves de fermentation, et sachant que les deux pôles où l'on retrouve des algues en grosse quantité sont des zones électrifiées (Dakar et Joal), il paraît difficile d'envisager la rentabilité comptable d'une telle installation. Pourtant, en zone rurale (de la lagune de Mbodiène à Joal par exemple) où l'on peut considérer ce type d'installat

comme un projet de developpement global source d'activités nouvelles, et non au seul regard de sa rentabilité économique cette opération peut être envisagée .

On peut quand même situer les potentialités du fermenteur en continu de 8m^3 du centre océanographique de Dakar-Thiaroye: en tablant sur une concentration en MVS de 100g/l , avec un temps de rétention de 20 jours, et un rendement massique de $125\text{ l}\cdot\text{CH}_4/\text{kg MSV}$, une telle installation pourrait produire 5 m^3 de méthane par jour (40 kg de MVS par jour). Un essai en continu permettra de préciser ce résultat.