

ORSTOM  
Institut Français de Recherche Scientifique  
pour le Développement en Coopération

Laboratoire de Biotechnologie  
et de Microbiologie Appliquée  
B.P. 81, 97201 FORT DE FRANCE  
Martinique (F.W.I.)

BALDENSPERGER Jacques  
LE MER Jean  
HANNIBAL Laure  
QUINTO Pierre-Jean

CONDITIONNEMENT ET FERMENTATION SOLIDE  
DES ECARTS DE TRIAGE DE BANANES POUR  
LA PRODUCTION D'ALIMENT ENRICHIS EN PROTEINES

C.R. fin d'étude  
d'une Recherche financée  
par le Ministère de la  
Recherche et de la Technologie

Action concertée : CORDET

Juillet 1985

Décision d'aide : 83.L.0930

## S O M M A I R E

---

	pages
REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	2
CONDUITE DE LA RECHERCHE	5
Le conditionnement	6
Les sels minéraux	7
La gélatinisation	8
Le matériel biologique	9
Analyses	10
Le pilote	10
RESULTATS ET DISCUSSION	22
Composition de la farine de banane	23
Essais en colonnes de 20 g	26
cuisson et gélantisation	26
grain de la farine	28
solution de sels minéraux	28
production d'amylases	31
Construction du fermenteur pilote régulé	33
Essais en fermenteur pilote P1 à P24	34
Les conditions expérimentales optimisées	57
Essai de conservation du produit	65
Essai nutritionnel sur post-larves de <u>Macrobrachium rosenbergii</u>	68
CONCLUSIONS GENERALES	70
L'échelle pilote et le scaling-up	71
Qualité nutritionnelle du produit fermenté	72
Considérations économiques	73
Perspective de suite à ce travail	74
BIBLIOGRAPHIE	75

R E M E R C I E M E N T S

Nous remercions particulièrement pour l'aide qu'ils nous ont apportée  
à divers titres :

Le Conseil Régional de la Martinique

M. le Directeur de l'IRCHA et le Département Biotechnologie

M. le Directeur et le personnel de l'IRFA en Martinique

M. le Directeur du Service Météorologique Antilles-Guyane en Martinique

IFREMER et plus généralement les professionnels de l'aquaculture

Le Laboratoire d'Analyse des Sols de l'ORSTOM en Guadeloupe

Le Laboratoire Départemental d'Hygiène de la Martinique

La Société SUNWIND-ENERGIES

La Société J. GUILLEN-ELECTRONIQUE

Nos Collègues du Centre ORSTOM de la Martinique

N° 83.L.0930

Action Cordet.

Thème : Coopération pour le Développement dans les DOM-TOM.

I N T R O D U C T I O N

Les déchets de la production bananière (écarts de triage) représentent 10 à 30 % du tonnage suivant les pays producteurs. En Martinique 15 000 T environ n'ont pas été commercialisées pour une production totale de 220 000 T en 1984. Dans la plupart des plantations de l'île, les écarts sont vendus au prix moyen de 0,40 F, la destination finale des fruits étant difficile à connaître (consommation humaine, revente sur les marchés, alimentation animale). Au Costa Rica les écarts de triage (200 000 T) sont en majeure partie broyés et rejetés dans les rivières, car les quantités accumulées dans les régions bananières sont très supérieures aux possibilités d'utilisation et le transport s'avère trop onéreux. D'une façon générale les écarts de triage sont pour tous les pays producteurs un important problème de gaspillage, et tout procédé permettant de les valoriser serait d'un grand intérêt.

Plusieurs études ont été réalisées pour utiliser les fruits non commercialisés :

- 1) Utilisation en frais pour l'alimentation des porcs (BRANCKAERT et LECOQ, 1971).  
Les principaux obstacles rencontrés sont le stockage et la nécessité de formuler la ration par addition d'un tourteau riche en protéines, ce qui augmente fortement le prix de revient de ce type d'aliment.
- 2) L'ensilage (LE DIVIDICH et al., 1976 ; SEVE et al., 1976)  
qui permet surtout de conserver les écarts. Les travaux de l'INRA de Guadeloupe ont montré que la forte teneur en eau limite la consommation journalière et donc l'efficacité de la ration. Là encore une formulation (addition de tourteau) est indispensable.
- 3) La fermentation liquide (LORBERT, 1978 ; CHUNG et MEYERS, 1979) dans le but de produire des protéines d'organismes unicellulaires.  
Les procédés sont techniquement au point mais ne sont pas appliqués en raison de leur prix de revient (investissements, fonctionnement).

4) La fermentation semi-solide a été étudiée par une équipe des Philippines (UYENCO et CAYABYAD, document non daté). Ces auteurs rapportent l'utilisation d'un fermenteur tambour d'une capacité de 50 à 80 kg. poids frais d'écartes de bananes. L'inoculation est réalisée par une culture mixte d'Aspergillus foetidus et d'A. niger. Un essai nutritionnel sur poussins a été réalisé avec une ration contenant 25 % du produit de la fermentation. Le procédé semble très rustique, mais peu performant. Aucune indication n'est donnée quant à l'aération du milieu pâteux, l'entraînement des calories hors du fermenteur.

5) Une étude de fermentation solide sur plateaux (1 à 5 kg poids frais) a été publiée par une équipe indienne (SETHI et GRAINGER, 1978). Il s'agit d'un procédé artisanal inspiré des fermentations solides traditionnelles d'Extrême Orient. Aspergillus niger a été choisi pour sa composition en amino-acides favorable à l'alimentation. De nombreux substrats amylics sont en effet utilisés dans ces fermentations sur plateaux (riz, soja) dont l'objectif est plus d'améliorer la qualité et le goût des produits que d'augmenter leur teneur en protéines. Ces procédés ont été industrialisés et des fermenteurs pour milieu solide statique sont commercialisés. La limitation en épaisseur du produit est un obstacle à l'abaissement des coûts de production, et les conditions de croissance n'ont en général pas été optimisées.

6) L'épandage des écartes de triage dans les bananeraies a également été étudié (LASSOUDIÈRE et GODEFROY, 1971), et semble rentable par l'augmentation de rendement obtenue. Cependant cette pratique ne semble pas généralisée, tout du moins en Martinique.

Pour explorer une autre possibilité, l'ORSTOM a réalisé en 1978 une étude au laboratoire pour enrichir en protéines les écartes de triage de bananes par fermentation en milieu solide (RAIMBAULT et ALAZARD, 1978). Deux ans plus tard l'I.R.C.H.A. effectuait quelques essais dans un fermenteur pilote de 6 kg poids sec de capacité (PREBOIS, 1980, ) mais le conditionnement des bananes utilisé pour ces expériences était très éloigné des réalités de la production bananière (bananes achetées au marché, cuites à l'autoclave puis lyophilisées). Le laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie Appliquée de l'ORSTOM en Martinique s'est donc attaché à mettre au point un procédé de fermentation solide des écartes de bananes dans des conditions aussi proches que possibles de son éventuelle utilisation. Les résultats de cette étude sont consignés dans le rapport.

N° 83.L.0930

Action Cordet.

Thème : Coopération pour le Développement dans les DOM-TOM

CONDUITE DE LA RECHERCHE

## 1. Le conditionnement

Les écarts de triage de bananes utilisés dans cette étude sont prélevés en début de chaîne, c'est-à-dire avant tout traitement par un fongicide.

Ces bananes, vertes, sont stockées pendant 2 jours dans une pièce climatisée afin de résorber un maximum de latex qui nuirait à la maintenance des matériels utilisés ultérieurement.

Après une semaine, ces bananes ont entamé leur mûrissement, ce qui a pour effet de transformer l'amidon en dextrans et en sucres réducteurs et de rendre impossible la suite du process (voir ci-dessous la discussion des problèmes liés à l'accumulation des sucres libres en cours de fermentation).

Pendant cette période, les bananes subissent les traitements suivant :

Elles sont découpées, avec leur peau, en rondelles de 2 mm d'épaisseur à l'aide d'un coupe légumes Dito Sama.

Ces rondelles sont ensuite disposées sur les claies de 2 séchoirs solaires expérimentés au laboratoire. Le séchage solaire en lui même est un sujet d'études dont on pourra trouver les méthodes d'approche et les résultats dans les rapports BALDENSPERGER et al. 1985 et rapport CEEMAT.

Pour ce qui est du conditionnement des bananes vertes, ces séchoirs ont été utilisés d'une façon purement pragmatique.

Le séchoir CEEMAT permet, par "beau temps" (ce qui est très aléatoire), de sécher 6 kg de bananes par cycle de 48 h. Au delà de cette durée, des phénomènes de contaminations par des moisissures apparaissent. Les capacités de ce séchoir étant insuffisantes pour alimenter le pilote, nous avons décidé la construction d'un séchoir solaire mieux adapté aux conditions du climat tropical humide et d'une plus grande capacité.

Pour ce faire, nous avons obtenu une subvention de l'AFME qui nous a permis de faire construire un prototype par une entreprise locale, SUNWIND ENERGIE. Le séchoir permet de sécher 16 kg de bananes par cycle de 2 ou 3 jours suivant les conditions climatiques et les problèmes de contaminations ont pu en grande partie être résolus.

En fin de séchage, les chips récoltées titrent de 10 à 12 % d'humidité et se conservent très bien en l'état.

Ces chips sont broyées dans un broyeur à marteaux Elektra. 2 tailles de grilles ont été essayées sans modification sur les résultats finaux obtenus en colonnes (voir résultats). Nous avons donc utilisé par la suite une grille de 2 mm donnant une farine fine qui se conserve très bien, et qui permet une très bonne structuration du produit en cours de fermentation.

Le substrat est donc une farine solaire fine de bananes vertes avec leur peau.

## 2. Les sels minéraux

Le produit final de la fermentation solide doit servir d'aliment pour le bétail, en l'état. Il faut donc formuler l'apport minéral nécessaire à une bonne croissance du microorganisme sans perdre de vue que certains minéraux en excès peuvent être toxiques pour les animaux ciblés pour l'utilisation du produit fermenté enrichi en protéines.

Le milieu défini par RAIMBAULT et ALAZARD (1980) optimisé pour la croissance d'Aspergillus niger en milieu solide sur farine de manioc ne peut être utilisé pour les écarts de bananes : excès de Potassium et rapport Ca/P très faible.

Pour résoudre en partie le problème posé par la dualité bonne croissance du microorganisme / obtention d'un aliment pour le bétail, et ne pas faire a priori un poison, nous avons utilisé la solution minérale suivante : pour 100 g de farine, on ajoute avant gélatinisation, 1,26 ml d' $H_3 PO_4$  (pH initial 4) et l'azote est apporté par un mélange de 30 %

d'(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> et 70 % d'urée, soit respectivement 3,3 g et 3,5 g. Ce mélange a 2 avantages : il permet un tampon biologique en cours de fermentation et l'apport de soufre, un des intérêts d'*Aspergillus niger* étant sa richesse en acides aminés soufrés. Pour rétablir l'équilibre Ca/P, le calcium étant un inducteur de la sporulation (PITT et POOLE, 1981), on ajoute 14,7 g de Ca Cl<sub>2</sub>, 2 H<sub>2</sub>O en fin de fermentation. Nous avons comparé en colonnes cette solution minérale à la formule indiquée par RAIMBAULT et ALAZARD (voir résultats).

Même dans ces conditions, il faut tenir compte de l'importance du potassium (1,78 % dans la farine) ce qui peut mener à 2,7 % dans le produit fermenté par consommation de produits organiques.

Le produit obtenu dans ces conditions doit encore être formulé suivant l'animal qui le consommerait. Il peut être soit un complément pour une ration déjà connue et formulée, soit servir de ration de base, et alors être complété. La formulation finale doit de toute façon être établie en collaboration avec un nutritionniste animal.

Dans le même ordre d'idée, des tests d'absence de mycotoxines ou d'alcaloïdes doivent être conduits d'une manière routinière.

### 3. La gélatinisation

Cette étape consiste à faire traverser la farine plus les sels minéraux amenés à une humidité de 30 % par de la vapeur à 1 bar pendant 1/2 heure. Ce traitement qui se fait directement dans le fermenteur porte l'ensemble à une température de 80°C. Son effet est de rendre plus accessible l'amidon aux enzymes du champignon, et, ce qui est intéressant, pasteurise le milieu de culture.

Son coût en énergie et en main d'oeuvre n'étant pas négligeable, nous avons essayé de voir si elle pouvait être évitée sur la farine de banane. Ces essais ont été menés soit en pétrin, soit en colonnes (voir résultats). Les mauvaises croissances et les contaminations observées alors nous amènent à conclure à la nécessité de cette étape pour le procédé.

#### 4. Le matériel biologique

La souche traditionnellement utilisée pour la fermentation solide des substrats amylacés (RAIMBAULT et ALAZARD, 1980) est un Aspergillus hennebergii (A.h. 10). Le screening qui a mis en évidence l'intérêt de cette souche avait été mené en colonnes où les problèmes de structuration du matériau en fermentation n'est pas primordial.

Il en est tout autrement pour la fermentation en milieu solide agité où la maintenance de l'état granuleux du produit est indispensable. Une libération trop importante de sucres libres qui intervient entre 12 et 18 heures de fermentation rend le produit collant, ce qui provoque la formation d'une pâte. L'aérobiose n'est plus alors assurée et les levures prennent le dessus. La souche A. h. 10 ayant été sélectionnée pour son intense activité amylolytique ne peut donc manifestement convenir.

Nous avons alors opté pour une souche d'Aspergillus niger (A. n. 2) qui présente pratiquement les mêmes caractéristiques de croissance apicale et de sporulation que la souche n° 10 mais qui libère 4 fois moins d'amylases (voir résultats). Même avec cette souche, l'accumulation des sucres libres reste une étape critique de la fermentation (voir résultats)

Les souches sont entretenues par repiquage régulier dans des pilluliers sur milieu gélosé Potatoe Dextrose Agar (DIFCO) à 39 g/l, ajusté à pH 4.5.

Les spores d'Aspergillus sont produites sur un milieu à base de farine de banane dont la composition est la suivante :

farine d'écartis	100 g
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	5.0
Urée	2.4
$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	9.7
eau robinet	100 ml

Ce milieu pâteux est distribué à raison de 100 g (poids humide) par fiole de Roux de 1 litre. L'inoculation des fioles est réalisé à partir de pilluliers dans lesquels sont entretenues les collections.

Les fioles sont incubées une semaine à 35°, et les spores sont récoltées avant l'utilisation par lavage de la surface dans une solution à 0,2 % de Tween 80, le comptage est fait au microscope en utilisant une cellule de Malassez, la quantité de suspension de spore est calculée pour obtenir un inoculum de  $2.10^7$  spores/g poids sec de substrat.

## 5. Analyses

L'*humidité* est mesurée par différence de pesée entre le produit initial et le produit séché dans une étuve à 80°C jusqu'à poids constant. Les *sucres totaux* sont déterminés à l'anthrone (VILES et SILVERMAN, 1949), les *sucres libres* par l'acide dinitrosalicylique (MILLER, 1959) et les *protéines*, après précipitation par l'acide trichloracétique, par le réactif de FOLIN (LOWRY et al, 1951).

Les *amylases* sont dosées par l'augmentation du pouvoir réducteur d'une solution d'amidon. Elles sont exprimées en unités enzymatiques internationales. Ces amylases produites en milieu solide ont des conditions de dosage très sévères : pH 4,5 à 70°C. (ALAZARD et RAIMBAULT, 1981).

## 6. Le pilote

Le fermenteur est un pétrin de boulangerie de 85 litres modifié par l'addition d'un double fond percé de trous de 1,5 mm de diamètre pour permettre le passage de l'air et de la vapeur. L'air comprimé est produit par un compresseur Creyssensac et la vapeur par un générateur de vapeur. Le fermenteur, équipé d'un moteur auxiliaire pour la rotation de la cuve est placé sur une balance qui permet de bien caler les humidités de gélatinisation et de départ ainsi que l'évolution du poids du produit en cours de fermentation.

La température de consigne de 38°C est la seule impulsion active sur le régulateur central. Quand cette température est atteinte, la valeur du pH est mémorisée et la sonde est relevée automatiquement par un vérin. La comparaison de cette valeur avec le point de consigne pH met en marche ou pas une pompe envoyant à travers un spray une solution correctrice (urée à 375 g/l).

Le bras du pétrin et sa cuve sont mis en marche et de l'eau est ajoutée par un spray. Ceci assure le refroidissement du produit. La vanne motorisée est sollicitée ce qui permet d'augmenter l'aération automatiquement en cours de fermentation. Quand la température baisse, ces actions cessent dans l'ordre inverse de leur apparition. Un circuit de débouchage des trous du fond de la cuve par un court passage d'air haute pression (9 bars) est mis en route en fin de cycle.

Le schéma du fermenteur régulé est donné en Figure 1 . Nous donnons également les schémas électroniques de l'unité centrale de régulation et de la vanne motorisée, tels qu'ils ont été établis par l'entreprise J. GUILLEN. (Figures 2 à 8 ). Le diagramme du programmeur est reproduit à la Figure 9 .

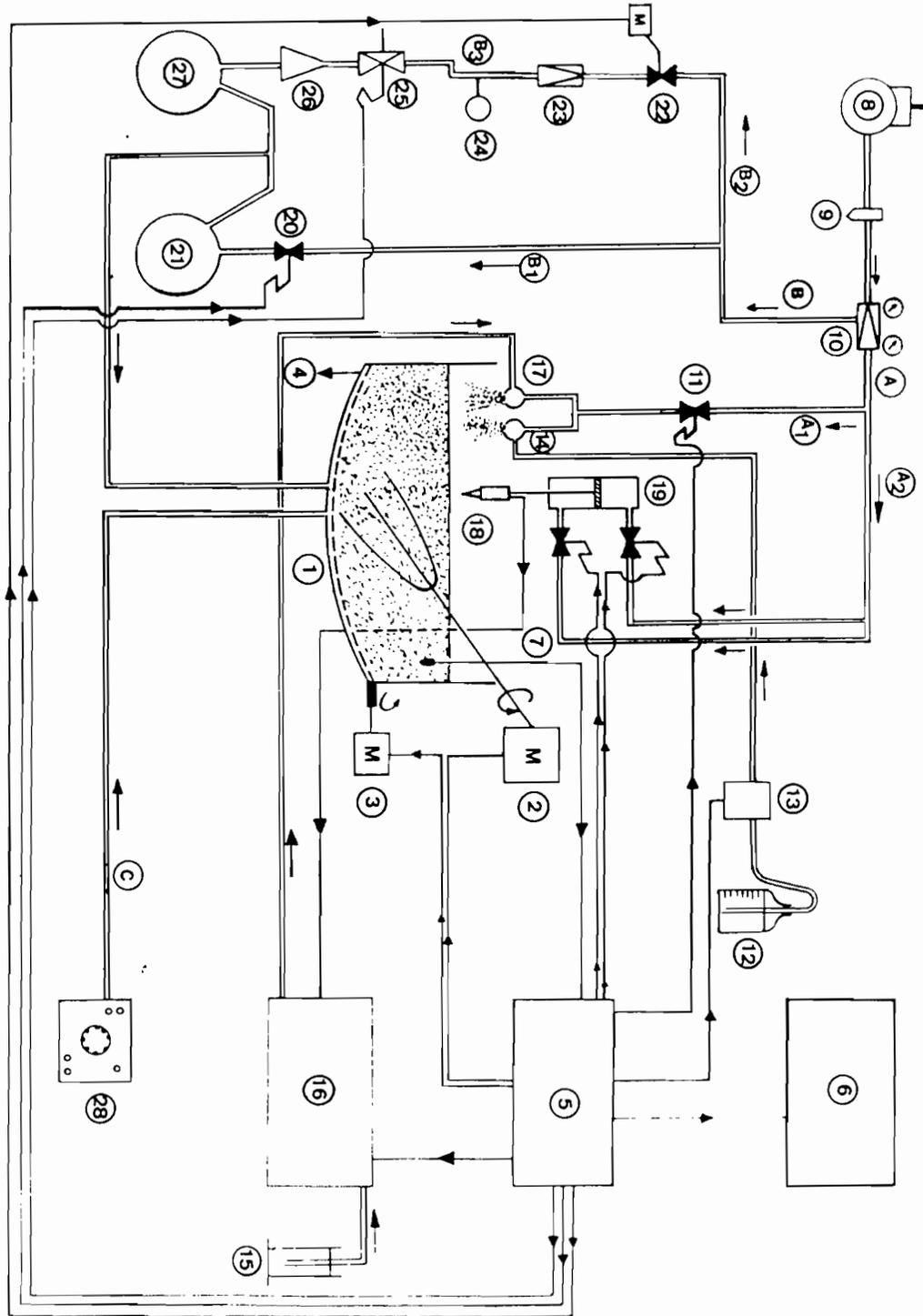
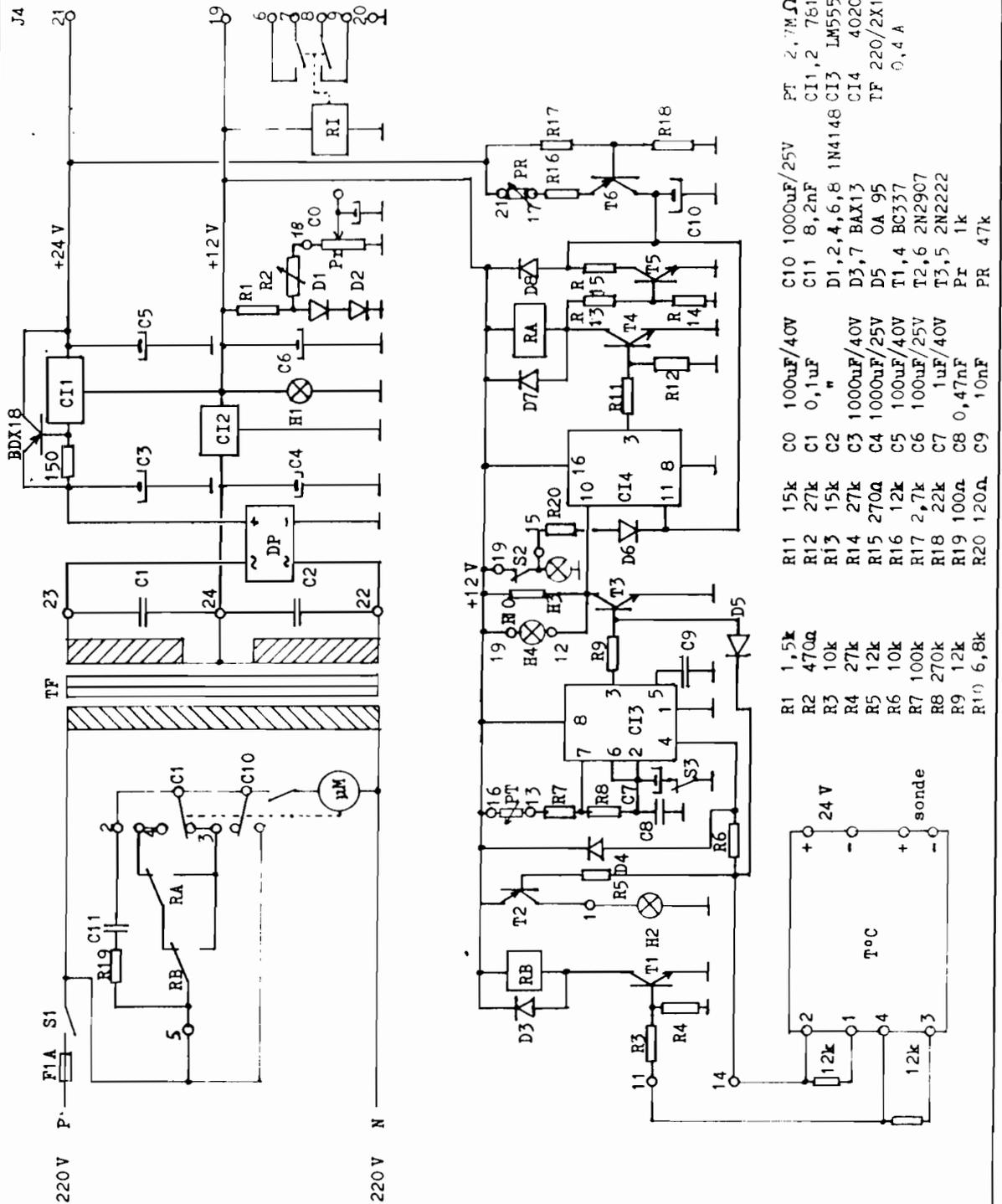


Figure 1 : Schéma du fermenteur pour milieuxolide agité.

Le circuit dessiné en noir représente celui de la carte électronique.



- R1 1,5k
- R2 470 $\Omega$
- R3 10k
- R4 27k
- R5 12k
- R6 10k
- R7 100k
- R8 270k
- R9 12k
- R10 6,8k
- R11 15k
- R12 27k
- R13 15k
- R14 27k
- R15 270 $\Omega$
- R16 12k
- R17 2,7k
- R18 22k
- R19 100 $\Omega$
- R20 120 $\Omega$
- C0 100 $\mu$ F/40V
- C1 0,1 $\mu$ F
- C2 "
- C3 1000 $\mu$ F/40V
- C4 1000 $\mu$ F/25V
- C5 100 $\mu$ F/40V
- C6 1000 $\mu$ F/25V
- C7 1 $\mu$ F/40V
- C8 0,47nF
- C9 10nF
- C10 1000 $\mu$ F/25V
- C11 8,2nF
- D1,2,4,6,8 1N4148
- D3,7 BAX13
- D5 OA 95
- D6 BC337
- D7,8 2N2907
- D8 2N2222
- PT 2,7M $\Omega$
- CI1,2 7612
- CI3 LM555
- CI4 4020
- TF 220/2X12V
- 0,4 A

SCHEMA DE LA CARTE ELECTRONIQUE

Fermenteur ORSTOM F.de F.

UNITE CENTRALE

Figure 2

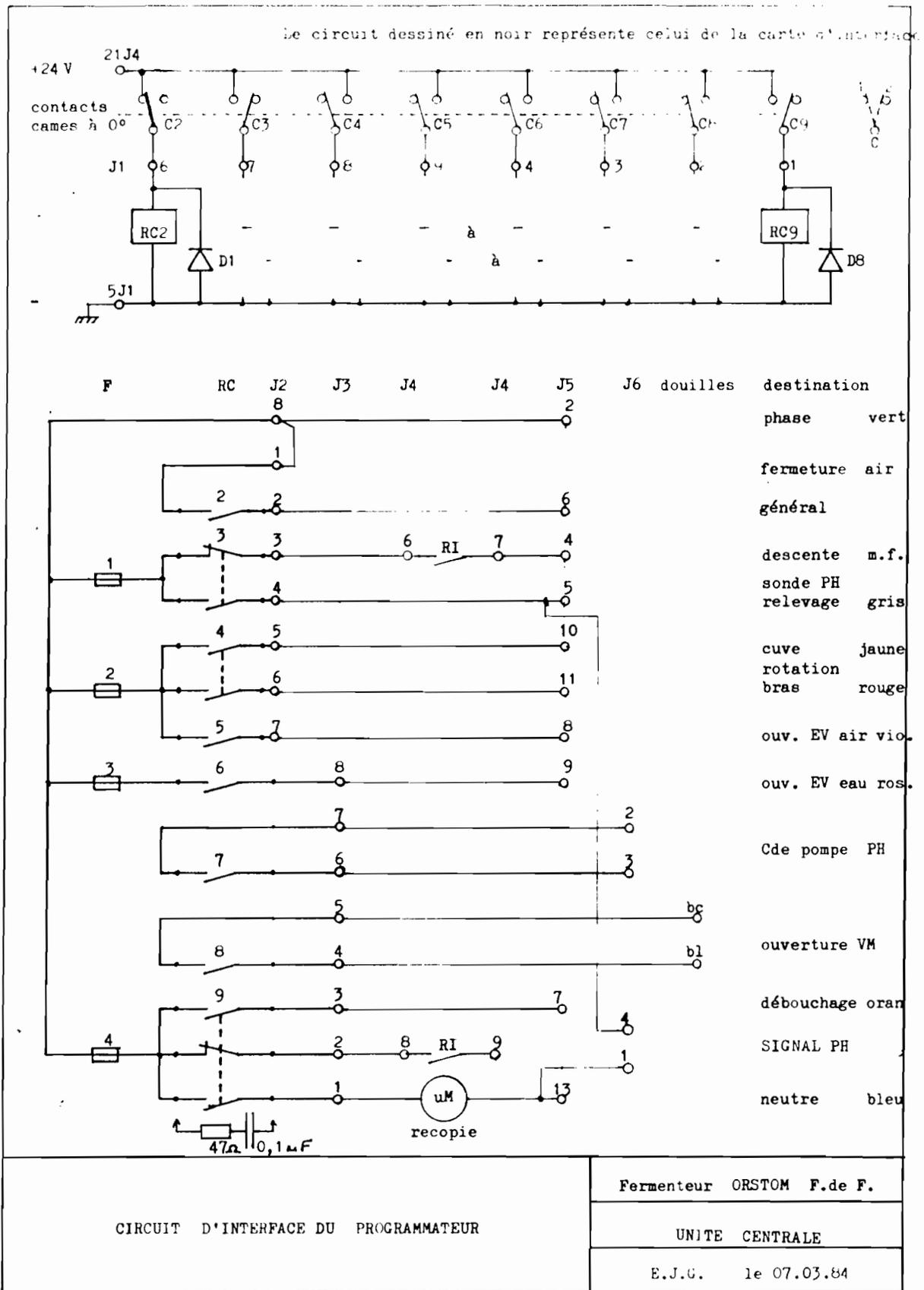
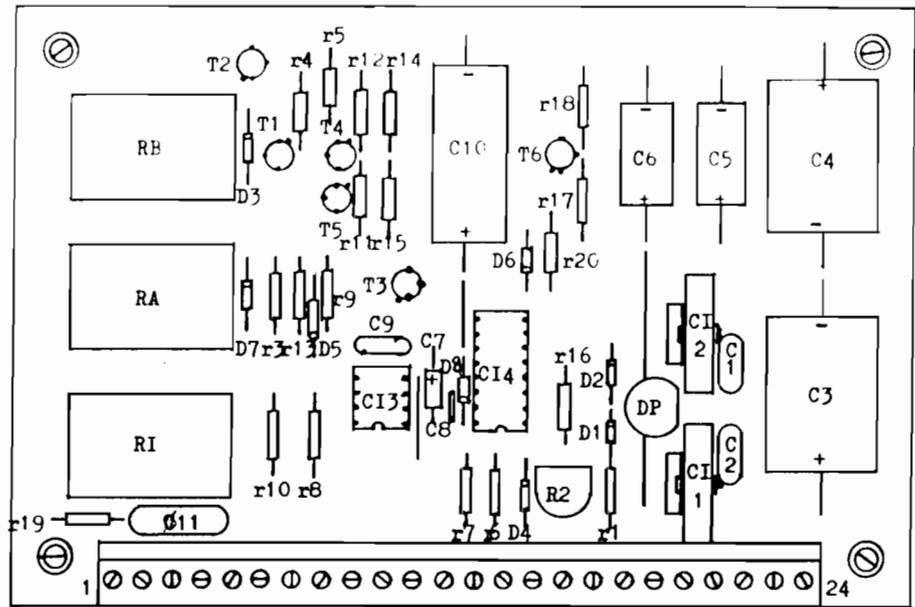
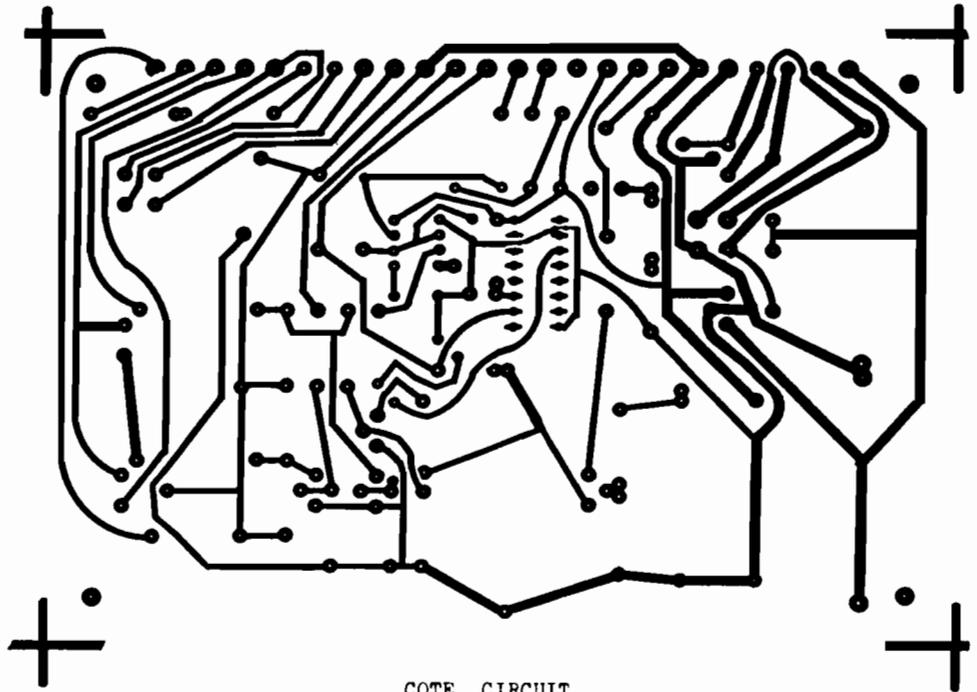


Figure 3.



J4



COTE CIRCUIT

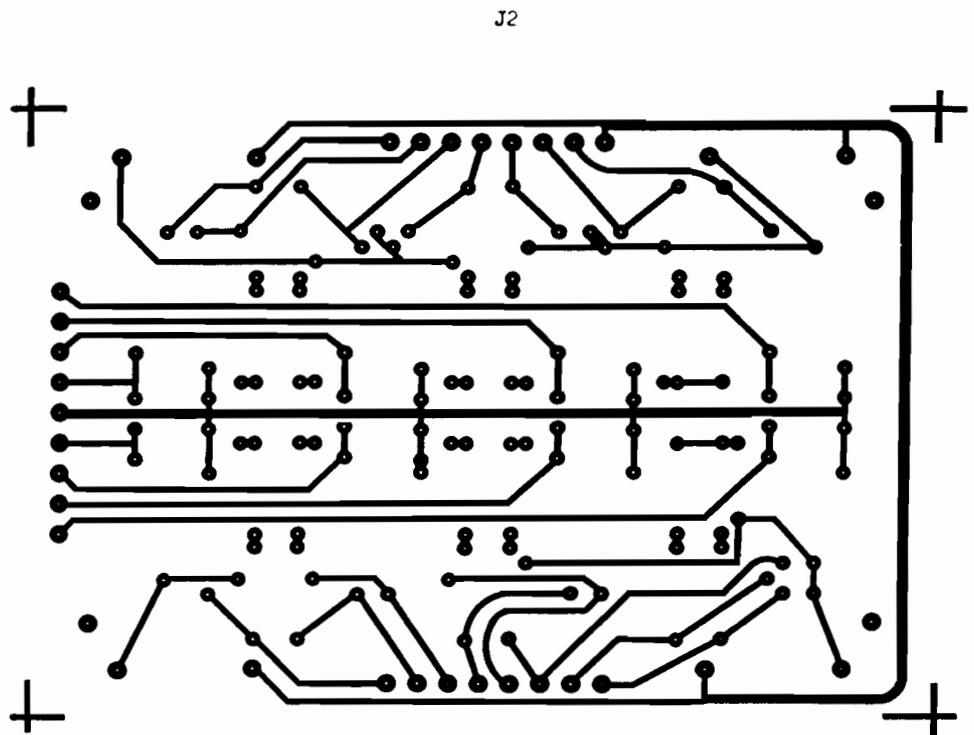
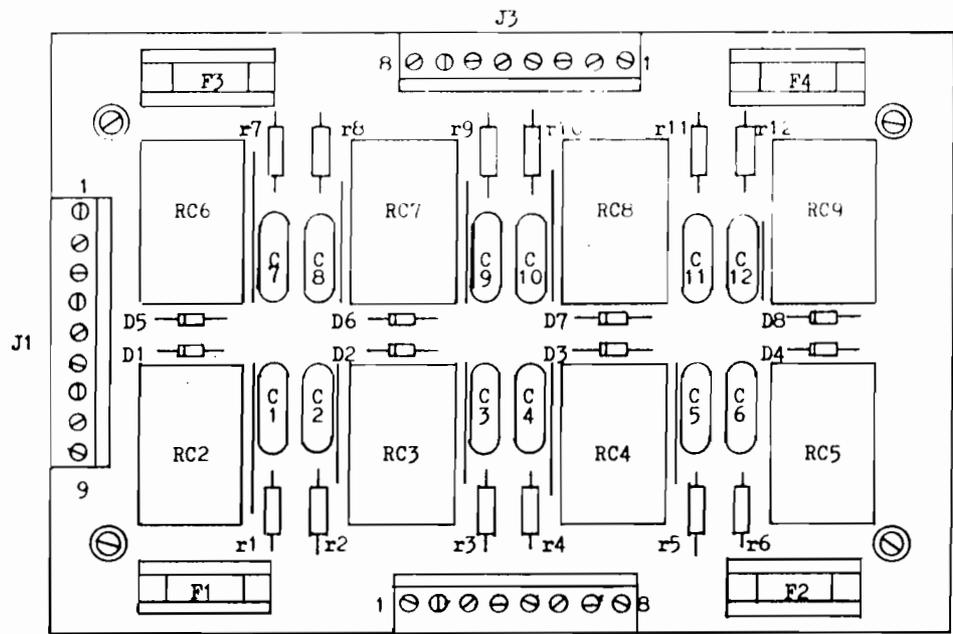
IMPLANTATION ET CIRCUIT IMPRIME  
DE LA CARTE ELECTRONIQUE

Fermenteur ORSTOM F.de F.

UNITE CENTRALE

E.J.G. 1e 07.03.84

Figure 4



COTE CIRCUIT

IMPLANTATION ET CIRCUIT IMPRIME

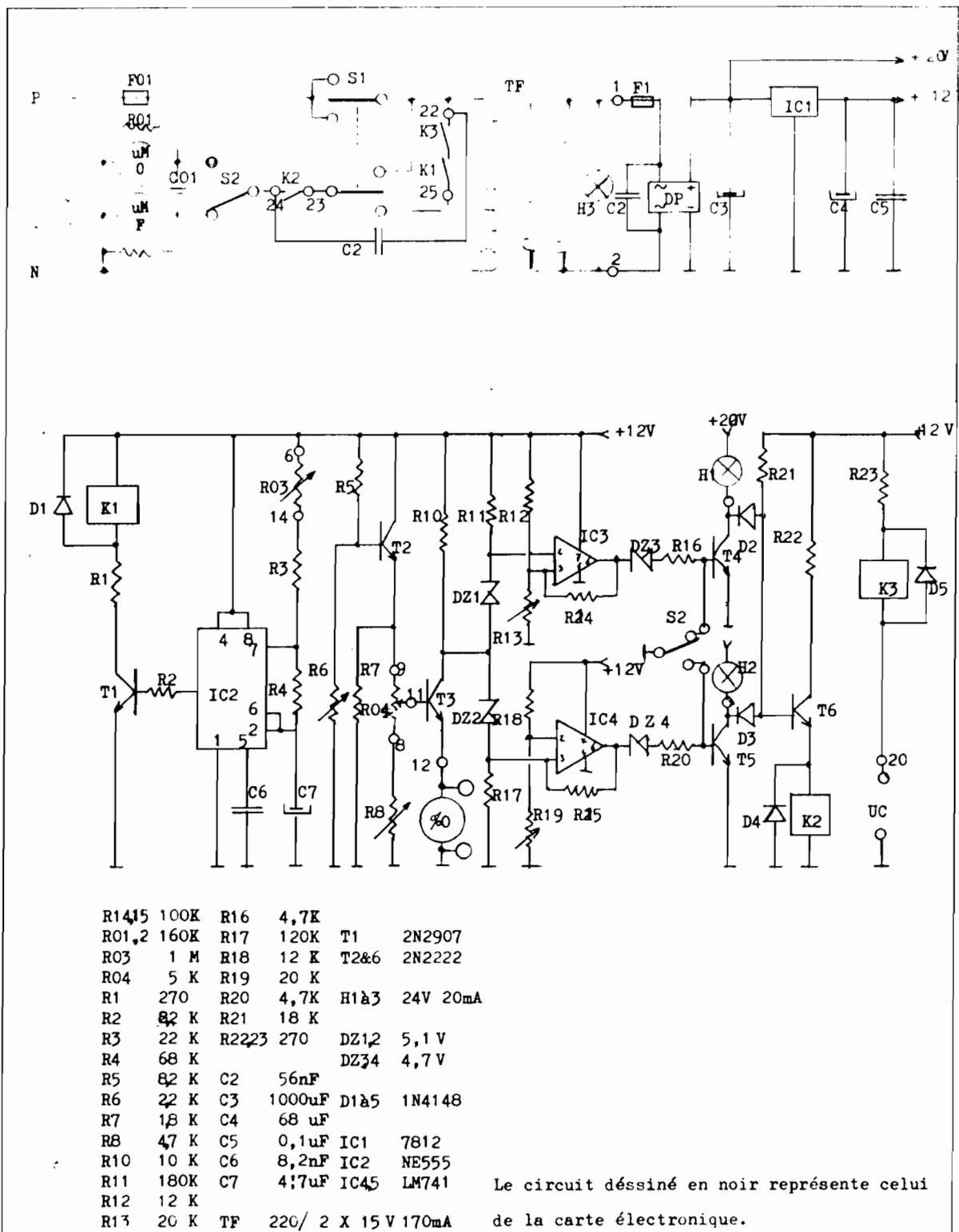
DE L'INTERFACE DU PROGRAMMATEUR

Fermenteur ORSTOM F.de F.

UNITE CENTRALE

E.J.G. 1e 06.03.84

Figure 5



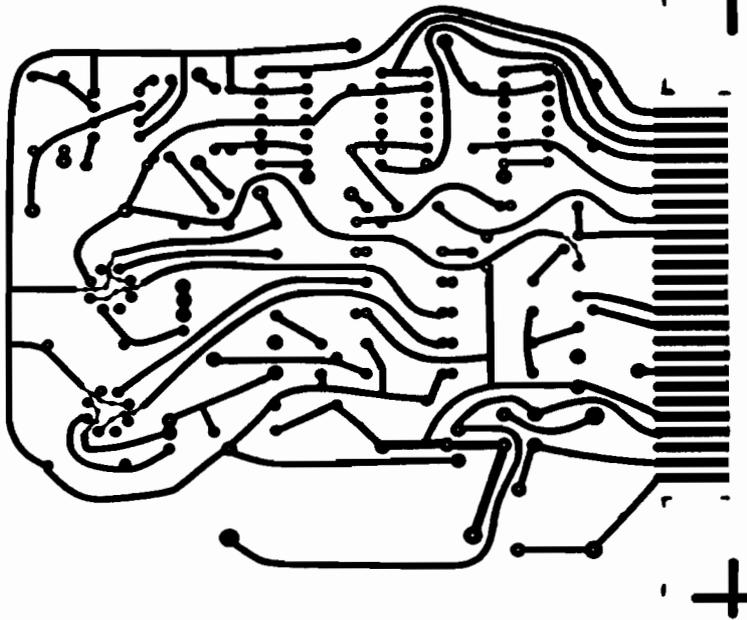
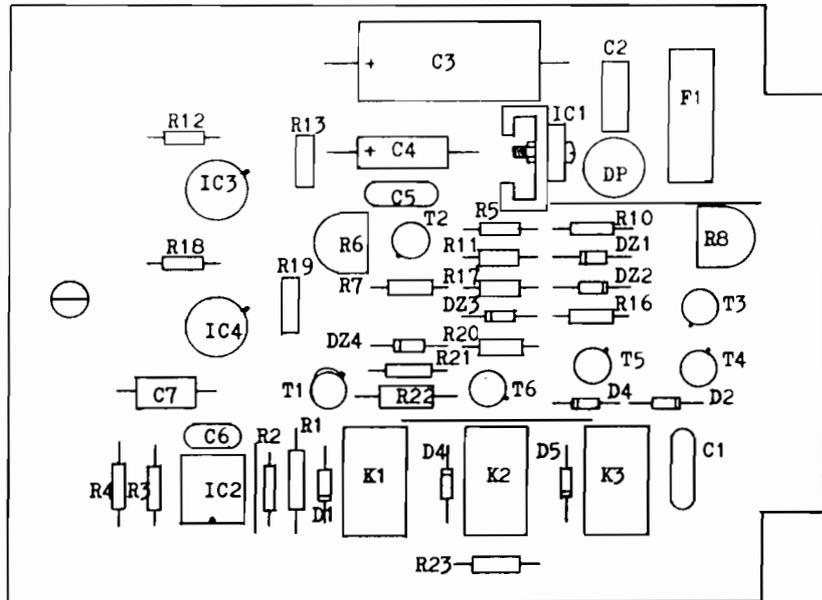
SCHEMA DE LA CARTE ELECTRONIQUE

Fermenteur ORSTOM F. de F.

VANNE MOTORISEE

E.J.G. 10 06.04. 84

Figure 6



COTE CIRCUIT

IMPLANTATION ET CIRCUIT IMPRIME

DE LA CARTE ELECTRONIQUE

Fermenteur ORSTOM F. de F.

VANNE MOTORISEE

E.J.G. 1e 06.04.84

Figure 7

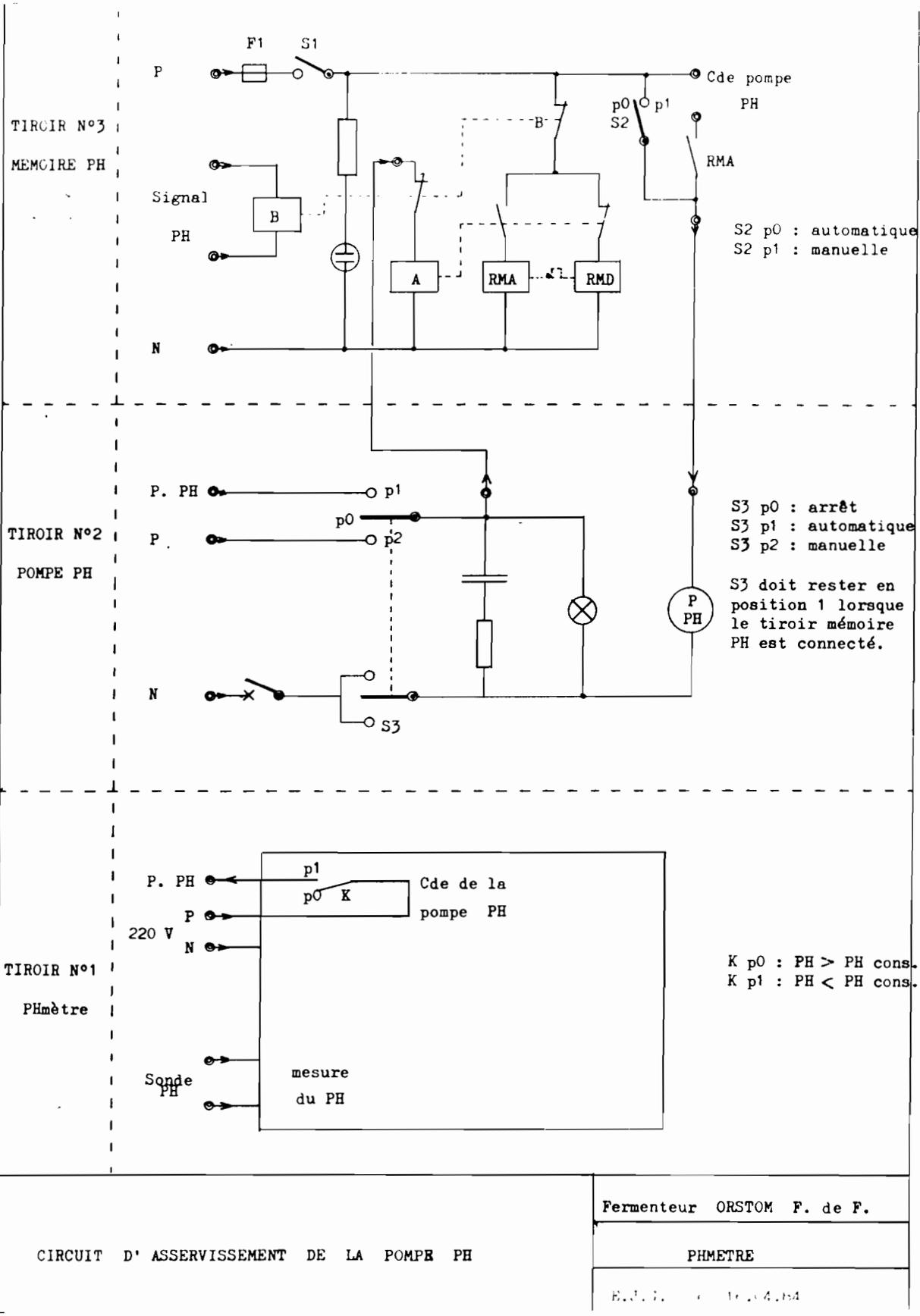


Figure 8

CIRCUIT D'ASSERVISSEMENT DE LA POMPE PH

Fermenteur ORSTOM F. de F.

PHMETRE

E.J.L. 1964

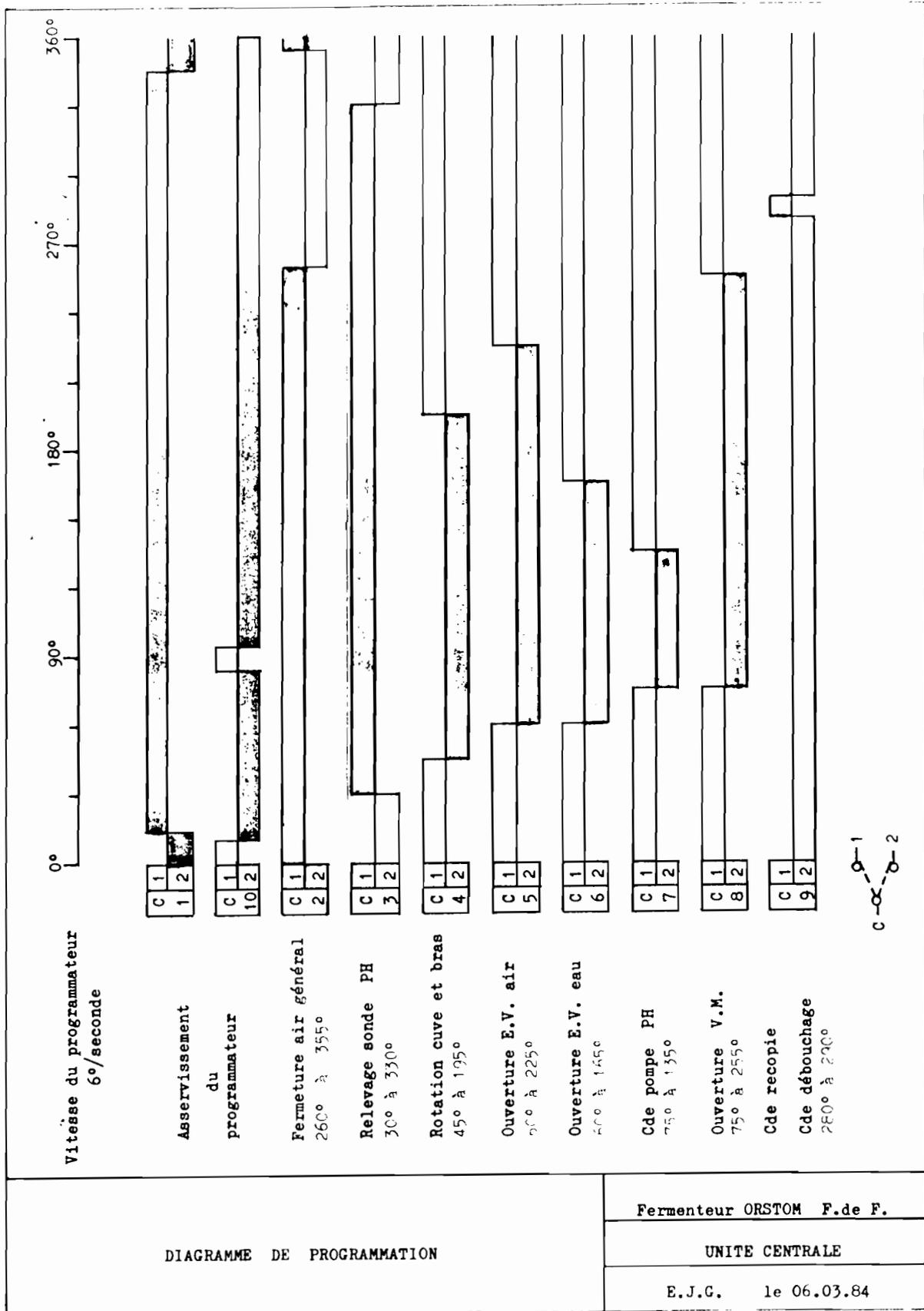


Figure 9

N° 83.L.0930

Action Cordet

Thème : Coopération pour le Développement dans les DOM-TOM

## RESULTATS ET DISCUSSION

### COMPOSITION DE LA FARINE DE BANANE

Les bananes vertes ont une teneur en eau de 80 %. Leur matière sèche est constituée principalement de sucres (85 %) dont l'amidon représente 75 % et les sucres libres, importants pour l'initiation de la fermentation, 10 %. Les protéines titrent environ 5 %, ainsi que les cendres, le reste étant surtout constitué par de la lignine et des polyphénols.

Le tableau donnant la composition des différents éléments de triage (tableau I) nous a été communiqué par l'IRFA : il s'agit de la production de la plantation de rivière Lézarde, d'où proviennent les écarts (fruits) que nous utilisons. Plusieurs chiffres peuvent être commentés.

- $N \times 6.25 = 9.38 \%$ , ce qui est sensiblement supérieur à la moyenne des dosages de protéines vraies effectués sur tous les lots de farine solaire ( $\bar{x} = 7.4 \%$ ).
- le rapport  $Ca/P = 0.4$  est acceptable du point de vue nutrition animale. En fait il convient d'ajouter du phosphore pour la croissance du micro-organisme, donc de rééquilibrer en fin de culture par du calcium pour atteindre un rapport  $Ca/P$  voisin de 1. Il est préférable de ne pas ajouter le calcium avant la culture, puisque le calcium est un inducteur de la sporulation.
- le magnésium, oligoélément indispensable à la synthèse de la paroi du mycélium est en quantité suffisante pour assurer une bonne croissance du champignon, sans être en proportion toxique, (0.3 %) (COCKER et GREENSHIELD, 1977).
- l'importance du potassium. Les quantités relatées dans le tableau I peuvent se révéler toxiques pour l'alimentation de certains animaux. Il conviendrait d'étudier ses effets avec l'aide d'un nutritionniste. Notons que le potassium n'est pas distribué uniformément dans les différents composants des résidus de l'exploitation bananière, bien qu'il soit toujours en forte proportion. La connaissance des taux de toxicité du potassium dans les rations alimentaires de différents animaux cibles permettrait d'assainir la farine de bananes vertes utilisée en écartant probablement les hampes, et sans doute les peaux. Ces éléments apportant les fibres

Tableau I : Composition en pourcentage de la matière sèche des différents résidus de triage de bananes provenant de la Rivière Lézarde.

	M.S.	N	P	K	Ca	Mg
Peau	8.89	1.50	0.137	6.05	0.139	0.121
Pulpe	24.76	0.94	0.080	1.60	0.011	0.112
Fruits (peau + pulpe)	18.40	1.05	0.09	2.46	0.038	0.11
Hampe	5.24	2.29	0.175	14.18	0.338	0.155
Régime	17.28					

Tableau J : Composition minérale de la farine de bananes vertes

N	P	K	Ca	Na	C
1.1	0.15	2.56	0.14	0.027	37.3

nécessaires à la structuration du produit en fermentation solide, il faudrait alors voir si celle-ci peut encore se faire sans ajout de fibres extérieures, sinon, lesquelles ajouter, et en quelle proportion.

Si les teneurs en autres minéraux peuvent être variables suivant les lieux et les conditions de culture, les teneurs en potassium restent toujours aussi élevées (communication personnelle IRFA).

Nous avons étudié plus spécifiquement la composition minérale de la farine solaire que nous utilisons comme substrat (tableau J). Ces chiffres sont similaires à ceux de la composition des fruits entiers (tableau I). Toutefois la très faible teneur en sodium doit être notée. Le rapport Na/K étant prépondérant pour la perméabilité cellulaire, il faudrait approfondir son influence sur la fermentation solide où la disponibilité en eau, donc la capacité cellulaire à "pomper" l'eau du milieu est le paramètre le plus important de la fermentation.

## ESSAIS EN COLONNES DE 20 G

Les dispositifs de culture en milieu solide décrits par RAIMBAULT et ALAZARD (1980) ont été utilisés pour comparer la croissance d'Aspergillus souche 10 pour différents conditionnements de la farine d'écart de bananes.

### 1. Influence de la cuisson et de la gélatinisation

Des colonnes sont préparées avec le milieu suivant :

farine de banane	100 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,3
Urée	3.5
Eau robinet	40 ml
pH ajusté à 3.0 par H <sub>X</sub> PO <sub>4</sub>	

A ce stade de la préparation 3 lots sont séparés :

- le premier est autoclavé 20 minutes à 110°.
- le deuxième est gélatinisé par passage de vapeur pendant 30 minutes, ce qui élève la température du produit à 75°C environ.
- le troisième est laissé en l'état.

A chaque lot est ensuite ajouté après refroidissement une suspension de spores d'Aspergillus souche 10 à raison de  $2 \cdot 10^7$  spores/g poids sec, et en amenant l'humidité relative à 50 %. Les lots sont distribués dans les colonnes à raison de 20 g poids humide par colonne, les dispositifs d'aération sont fixés et l'ensemble placé dans un bain-marie régulé à 35°C.

A intervalles 2 colonnes de chaquelot sont prélevées pour examen macroscopique et microscopique et pour analyses.

Tableau A : Farine crue

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (% P.S.)
0	48	4.3	85	9	8.6
20	50	5.6	86	8	8.4
23	50	5.8	79	8	8.5
26	51	5.8	87	10	9.0
44	52	6.3	82	6	8.9
47	53	6.3	88	7	9.2
48	53	6.3	85	6	9.3
50	53	6.3	81	7	9.6

Tableau B : Farine autoclavée

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (% P.S.)
0	52	4.7	83	8	7
20	57	3.9	72	26	14
23	58	3.8	69	29	15
26	59	4.0	63	28	16
44	65	4.5	58	24	20
47	64	4.6	46	21	19
48	63	4.9	49	22	18
50	63	4.9	43	19	19

Tableau C : Farine gélatinisée à la vapeur

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (% P.S.)
0	51	4.3	96	6	8
20	53	4.0	85	10	11
23	54	3.8	79	9	11
26	55	4.0	84	11	13
44	58	4.6	65	12	15
47	58	4.8	77	12	16
48	58	4.9	68	12	17
50	58	4.9	59	10	15

L'observation macroscopique montre une meilleure croissance du mycelium dans les lots autoclavés et gélatinisés, cependant une légère croissance est observée sur farine crue. Les résultats des dosages sont reportés dans les Tableau A, B et C.

On constate que le produit évolue peu pour ce qui concerne la farine crue, le pH ayant tendance à augmenter. Au contraire les croissances sont analogues pour les lots gélatinisés et autoclavés (augmentation de la teneur en protéines), les sucres libres s'accumulent davantage en milieu de culture pour la farine autoclavée qui est donc plus accessible aux amylases du champignon.

Dans le fermenteur pétrin la gélatinisation est plus complète car la vapeur qui traverse la produit est plus chaude (vapeur à 1 bar) : la température monte à 80° pendant la gélatinisation. On retrouve d'ailleurs dans les résultats d'analyses des concentrations en sucres libres voisines des valeurs obtenues pour la farine autoclavée. Malgré le coût en énergie, la gélatinisation semble donc un traitement indispensable pour obtenir une bonne croissance du champignon sur la farine d'écart de bananes.

## 2. Influence du grain de la farine

Cette expérience est menée dans les colonnes de 20 g de produit, avec la solution minérale précédente, et compare deux lots de farine obtenues par le broyeur à marteaux avec les grilles 2 mm et 8 mm. Les farines sont gélatinisées après addition de la solution minérale. A l'observation macroscopique ou microscopique on ne décèle aucune différence, pas plus d'ailleurs qu'à l'analyse. Les résultats analytiques sont reportés dans les tableaux D et E.

## 3. Influence de la solution de sels minéraux

Les premiers essais en colonne ont été faits en ajoutant la solution de sels minéraux mise au point antérieurement pour la farine de manioc. Cependant la farine d'écart de bananes à une composition minérale très différente, et il était indispensable de modifier la composition de la solution minérale en tenant compte à la fois des minéraux présents

Tableau D : Farine maille 2 mm

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (% P.S.)
0	61	4.4	87	12	9
20	54	5.1	77	19	10
25	55	5.5	70	18	12
29	56	5.6	67	18	12
33	57	5.7	63	16	12,5
37	57	5.8	67	16	13
45	59	5.9	62	16	14
46	61	6.0	64	20	15
47	60	6.0	63	16	16
48	59	5.9	50	17	16
50	59	6.0	54	17	17

Tableau E : Farine maille 8 mm

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (% P.S.)
0	49	4.5	85	11	7.5
20	54	5.1	67	23	10.5
25	55	5.4	66	20	11.5
29	55	5.5	63	21	11
33	57	5.6	62	21	12.5
37	58	6.0	65	19	12.6
45	60	6.3	56	18	14
46	59	6.4	55	20	17
47	61	6.0	66	18	16
48	57	6.0	54	17	15
50	61	6.0	63	19	16

Tableau F : Solution minérale N° 1 (mise au point pour farine de manioc)

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (% P.S.)
0	49	4.3	76	15	7
20	50	4.5	61	15	7.8
22	50	4.8	76	15	8.9
24	51	5.1	56	13	8.6
25	52	5.2	52	13	8.5
26	51	5.3	60	13	9.0
28	52	5.4	55	10	9.0

Tableau G : Solution minérale N° 2 (mise au point pour farine d'écartés de bananes)

Temps (heures)	Humidité (%)	pH	Sucres totaux (% P.S.)	Sucres réducteurs (% P.S.)	Protéines (%)
0	50	4.2	70	14	7.5
19	54	5.0	66	18	9.0
22	54	4.7	64	27	10.5
25	56	4.5	62	29	12.7
28	56	4.7	58	24	13.0
43	59	4.8	56	27	13.5
44	59	4.7	50	27	14.2
45	60	4.8	52	26	15.5
46	59	4.7	50	24	16.0

dans la farine et des besoins de l'animal auquel est destiné l'aliment enrichi (voir au chapitre "conduite de la Recherche").

Nous avons donc mis au point une solution minérale sans potassium. (cet élément est déjà très abondant dans les écarts de bananes, voir section "composition de la farine") dont la composition est donnée plus haut. La croissance d'Aspergillus (souche 2 et souche 10) a été comparée dans des colonnes de 20 g préparées avec les deux solutions minérales. On constate que la croissance est meilleure avec la solution minérale adaptée à la farine d'écart de bananes. Les résultats des dosages sont reportés dans les tableaux F et G pour la souche Aspergillus niger 2, ils sont tout-à-fait analogues pour la souche 10.

#### 4. Influence de la souche : production d'amylases

Dans le chapitre "Conduite de la Recherche" nous avons discuté de l'importance de l'équilibre entre la production de sucres par les amylases du champignon et leur consommation.

Une accumulation est toujours observée en fermenteur agité entre 12 et 18 heures d'incubation (cette accumulation est moins nette dans les colonnes de 20 g). Si la concentration en sucres libres dépasse une valeur critique (fonction de l'humidité relative) d'environ 30 %, le produit devient fortement collant et s'aggrège en boulettes, début d'un processus qui conduit inexorablement à l'asphyxie du champignon donc à l'arrêt de la croissance.

Plusieurs possibilités s'offrent pour réduire cette accumulation temporaire de sucres libres, (elles sont discutées dans la section "Essais en fermenteur pilote"), et l'une d'elles est d'utiliser une souche produisant moins d'amylases. Le tableau H résume les résultats obtenus en colonne de 20 g de produit pour les souches N° 10 (Aspergillus hennebergii) et N° 2 (Aspergillus niger). On constate que les caractéristiques de la croissance sont voisines pour les deux souches, mais que la souche N° 2 produit 4 fois moins d'amylases que la souche N° 10.

Tableau H : Caractéristiques de la croissance des souches d'Aspergillus N° 2 et N° 10 en milieu solide.

---

	Souche N° 2	Souche N° 10
Durée phase germination	2 h	2 h
Durée 1ère phase	14 h	18 h
Taux de croissance 1ère phase (h <sup>-1</sup> )	0.47	0.40
Durée 2ème phase croissance	7 h	6 h
Taux de croissance 2ème phase (h <sup>-1</sup> )	0.32	0.15
Temps de fermentation	23 h	26 h
pH final	3.15	3.20
Sucres réducteurs (% P.S.)	11	15
Protéines (% P.S.)	16.3	15.6
Amylases (U.I./g sec)	200	800

---

### CONSTRUCTION DU FERMENTEUR PILOTE REGULE

Le matériel utilisé a été décrit au chapitre "Conduite de la Recherche". Le pétrin modifié et le générateur de vapeur, prêtés par l'IRCHA, ont simplement été installés dans le hall pilote. Toutes les régulations ont été reconstruites à Fort-de-France à partir de nos indications, et tous les circuits (eau, air haute et basse pression, vapeurs) ont été conçus et montés par l'équipe signataire du présent rapport.

Cette installation a été réalisée dans des conditions parfois difficiles (rupture de stock des fournisseurs locaux ou absence totale des matériels nécessaires et d'assistance technique pour le matériel utilisé. Par rapport au pilote construit par l'IRCHA, dans ses locaux de Vert-le-Petit, le fermenteur de Fort-de-France présente les modifications suivantes :

- possibilité de commander individuellement chaque composant (électrovanne, vanne motorisée, rotation cuve ou bras, spray, etc...).
- possibilité de réguler la température de l'air injecté dans le pétrin. Cependant il faut noter que le fermenteur pilote est installé dans un garage où la température varie de façon parfois importante (enregistrement) sans qu'il soit possible d'intervenir sur ce paramètre.
- séparation des lignes "eau" et "solution correctrice de pH", ce qui permet un meilleur contrôle des quantités apportées.
- tous les éléments ont été conçus pour être facilement démontables, en prévision d'une installation sur un site d'emballage de bananes, bien que cette dernière étape n'ait pas été franchie.

A l'usage il apparaît que le principe d'une régulation électronique et électro mécanique est mal adapté aux conditions climatiques de la Martinique, et que les problèmes de maintenance sont aigus. L'emploi de microprocesseurs permettrait peut être d'améliorer la fiabilité de la régulation.

Enfin, l'ensemble (régulateur, enregistreurs, lignes de fluides, cuve), est peu cohérent, certains matériels industriels étant fiables alors que les prototypes construits à partir d'éléments de laboratoire le sont moins. En pratique il n'existe pas à l'heure actuelle de fermenteur pour milieu solide agité disponible sur le marché, comme c'est le cas pour la fermentation liquide.

De la même façon, l'équipe s'est mobilisée pour améliorer les performances des séchoirs solaires, puisque le séchage des écarts de triage de bananes était une étape préalable à l'étude de la fermentation solide.

ESSAIS EN FERMENTEUR PILOTE P1 A P24.

Chaque essai en fermenteur pilote ayant été riche d'enseignements, nous rapporterons ci-dessous les résultats bons ou mauvais des expériences en pétrin, de P1 à P24. Nous reproduirons ensuite intégralement les conclusions de l'essai nutritionnel effectué par M. D. LACROIX d'IFREMER sur des post-larves de Macrobrachium rosenbergii.

P1. 9 avril 84. Nous avons choisi d'utiliser les conditions expérimentales décrites par l'I.R.C.H.A. (PREBOIS, 1980), à savoir :

- 6 kg de farine d'écartés à 8 % d'humidité
- $4 \cdot 10^7$  spores d'*Aspergillus* souche 10
- solution minérale : 100 g d'urée, 200 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 38 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dans 1000 ml eau distillée.
- gélatinisation : 20 Minutes de vapeur
- température de consigne 38°C
- aération initiale 600 l/ heure, air saturé à la température ambiante.
- réglage pompe à eau 600 ml/heure
- humidité initiale 48 %
- pH initial 3.2, pH consigne 4.5. Régulation par une solution d'urée (375 g/litre).

Remarques : L'humidité initiale (48 %) est beaucoup plus faible que dans les essais de l'I.R.C.H.A. (61 %). En fait il est impossible de dépasser 52 à 53 % d'humidité avec la farine d'écartés gélatinisée, et seulement 45 % avec la farine crue. C'est probablement la cuisson à l'autoclave puis la lyophilisation qui augmentaient la capacité de rétention de l'eau, puisqu'avec la farine préparée par séchage solaire c'est une véritable soupe qui est obtenue à 60 % d'humidité.

Résultats : Aucune croissance n'a été notée après 19 h d'incubation. L'expérience a donc été arrêtée, car dans les essais sur colonnes, nous avons observé une croissance après 12 heures d'incubation. En fait, la température du produit n'ayant jamais dépassé 28°C, la durée de la phase de germination est beaucoup plus importante que dans les colonnes.

Dans les essais de l'I.R.C.H.A., le fermenteur était placé dans une pièce régulée à 30°C, et l'humidificateur du circuit d'aération était relativement chaud. Nous ne connaissons pas la température d'incubation qui avait été notée dans le produit, elle devait être supérieure à 30°C.

Nous verrons que la durée de la phase de germination dépend à la fois de l'humidité du produit et de sa température.

P2. 24 avril 84. Essai arrêté par panne du régulateur

P3. 2 mai 84. Mêmes conditions initiales, excepté

- gélatinisation 30 minutes au lieu de 20.
- installation d'une régulation de température sur le récipient d'humification de l'air, programmé à 45°C pendant les 24 premières heures.
- pH de consigne 4.0.

Remarques : Compte tenu du circuit en aval de l'humidificateur, l'air introduit dans le pétrin a une température de 28° seulement. Cependant, le produit a été inoculé encore chaud (à 45°) et sa température s'est maintenue vers 33° pendant quelques heures.

Résultats : Début de la régulation de température après 16 heures d'incubation. Après 24 heures 1 cycle toutes les 4 minutes. Après 30 heures, 1650 ml d'eau seulement ont été apportés par le spray, le produit a tendance à sécher (humidité = 48.5 %). Le débit de la pompe à eau a été augmenté jusqu'à 1300 ml/heure, malgré cette intervention il n'a pas été possible d'arroser assez le produit qui après 44 heures de culture est toujours très sec d'aspect. Nous avons alors doublé le circuit d'eau dans la pompe péristaltique GILSON, ce qui permet d'atteindre théoriquement 2600 ml/heure de régulation. Mais cette nouvelle modification est intervenue trop tard : 48 heures après l'inoculation le poids total a diminué de 2 300 g, le produit est jaune et dégage une mauvaise odeur. L'expérience est alors arrêtée.

P4. 15 mai 84. Pour tenir compte des besoins en sels minéraux de l'animal cible (par exemple le porc), la solution saline a été modifiée de la façon suivante: suppression totale du potassium, mélange urée/ammonium, acide phosphorique pour amener le pH à 4.0. La nouvelle solution saline a été préalablement testée en colonnes, et a la composition suivante :

Pour 1 kg de farine (poids sec) :

- 35 g d'urée, 33 g de sulfate d'ammonium et 12,6 ml d'acide phosphorique.

Ajoutée avant la gélatinisation dans une quantité d'eau permettant d'atteindre 30 à 35 % d'humidité avant ce traitement, cette solution minérale fixe le pH initial à 4.0.

Les spores utilisées ont été récoltées 20 heures environ avant l'inoculation et incubées dans 1500 ml d'eau à 35° dans l'idée de diminuer le temps nécessaire à la germination dans le fermenteur. En effet l'examen microscopique des spores avant l'inoculation montre qu'elles ont bien gonflé.

Les autres conditions initiales sont identiques à l'essai P3.

Résultats : aucune croissance après 20 heures, expérience arrêtée. Les colonnes préparées avec le milieu n'ont pas évolué. Hypothèse : mauvaise condition de l'inoculum après ce trempage à 35° pendant 20 heures.

P5. 16 mai 84. Mêmes conditions que P3 en ce qui concerne les réglages du régulateur, spores récoltées juste avant l'inoculation. "Nouvelle" solution minérale (voir P4), qui sera d'ailleurs utilisée dans tous les essais ultérieurs.

Pas de gélatinisation, suite aux essais sur colonnes.

Résultats : démarrage des cycles commandés par la température après 24 heures d'incubation. Produit très sec (45 % d'humidité) malgré la pompe réglée au maximum. Après 30 heures le pH augmente à 4,7, la régulation fonctionne à raison de 1 cycle toutes les 7 minutes environ. Une panne de secteur (2 heures) intervient à ce moment, et la température du produit augmente fortement. A la remise en marche de la régulation, le produit paraît très sec (40 % d'humidité). Après 40 heures, les cycles commencent à s'espacer, pour s'arrêter totalement après 44 heures. Pour vérifier si le manque d'eau est la cause de cet arrêt de la fermentation, on ajoute alors 1000 ml d'eau par le spray en agitant le produit. En effet les cycles reprennent, et se maintiennent jusqu'à 72 heures. Le produit est alors récolté, son humidité relative est de 53 % seulement, sa couleur est à dominante jaune.

Bien que cette fermentation ait été conduite pendant 3 jours, il n'est pas possible de tirer des conclusions quant aux conditions initiales du produit et des réglages permettant d'obtenir une croissance sans intervention manuelle. Une croissance modérée a cependant été observée sur la farine non gélatinisée.

P6. 29 mai 84. Dans cet essai nous avons utilisé le produit de l'essai P4 qui n'avait pas fermenté (mauvais inoculum). Ce produit avait été récolté et séché à l'étuve. Il est à nouveau humidifié à 50 % d'humidité par une suspension de spores (les sels avaient déjà été ajoutés). Les régulations sont réglées comme précédemment.

Résultats : croissance après 20 heures d'incubation, ce qui confirme bien que l'inoculum du P4 était défectueux. Comme P3 et P5 le produit est toujours trop sec d'aspect, mais il est impossible d'augmenter le débit de la pompe péristaltique qui est déjà réglé à son maximum. Nous commanderons alors une nouvelle pompe à eau. La fermentation est stoppée artificiellement après 44 heures. Un essai de traitement par la vapeur du produit fermenté est réalisé, avec comme résultat très rapide la prise en masse dans le fermenteur et un noircissement accompagné d'odeurs nauséabondes.

Il ne semble donc pas possible d'utiliser la vapeur comme moyen de tuer le champignon en fin de fermentation.

P7. Le 7 juin 84. Toujours 6 kg de farine à 8 % d'humidité environ. Conditions initiales comme P5, pompe à eau réglée au maximum soit 2600 ml par heure de fonctionnement. Humidité initiale : 46 %. Pas de gélatinisation.

Résultats : début des cycles de température après 26 heures d'incubation. La fermentation se poursuit jusqu'à 66 heures, quand l'humidité atteint 59 %. Les cycles s'espacent alors, et après 70 heures la température a baissé à 37° : le régulateur ne commande donc plus de cycles puisque le point de consigne est fixé à 38°. On observe alors que cet arrêt provoque encore le séchage du produit, et la sporulation en surface. Au microscope on distingue des têtes conidiennes d'Aspergillus flavus, largement dominantes sur Aspergillus niger souche 10.

Discussion des essais P1 à P7. : Les renseignements obtenus peuvent être résumés ainsi :

- l'humidité initiale maximum est de 52 % pour la farine gélatinisée, 46 % pour la farine crue.
- la température de l'air injecté doit être réglée pour contrôler ce paramètre important.
- les spores ne doivent pas être mises à gonfler avant l'inoculation.
- le débit de la pompe à eau est insuffisant, le produit a tendance à sécher.
- la solution minérale modifiée, sans potassium, convient à la croissance d'Aspergillus souche 10 sur farine d'écartés de bananes.
- compte tenu des croissances médiocres (produit trop sec) on ne peut conclure définitivement sur la nécessité de gélatiniser la farine d'écartés de bananes préparée par séchage solaire.

P8. 23 octobre 84. On a modifié la tête de la pompe GILSON pour admettre un tuyau de diamètre 4 mm. L'essai est conduit comme pour P7, mais avec un débit d'eau de spray d'environ 3 litres/ heures de fonctionnement de la pompe. Pas de gélatinisation.

Résultats : aucune croissance après 34 heures : on s'aperçoit alors que la purge du pétrin n'a pas été refermée. Rappelons que cette purge est utilisée en début de gélatinisation pour éviter que l'eau de condensation qui s'accumule dans le double fond ne remonte par les trous dans la cuve elle-même, ce qui provoque immédiatement le bouchage de nombreux trous. Cette purge doit évidemment être refermée après le traitement vapeur, faute de quoi l'air s'échappe sans traverser le produit. C'est ce qui s'est passé pour l'essai P8.

P9. 5 novembre 84. Essai réalisé en présence de MM. MEYER de l'IRCHA, CALZADA et DE LEON, de l'ICAITI. Cet Institut régional du Guatemala venait de s'associer à l'IRCHA pour étudier également la fermentation solide des écarts de bananes. Les conditions expérimentales ont été fixées comme pour l'essai P8, sans oublier de refermer la purge.

Résultats : croissance médiocre et contamination importante (levures, Aspergillus falvus, Rhizopus, Fusarium, etc...). Rappelons que l'inoculum est obtenu stérilement à partir de cultures contrôlées, donc que les contaminants observés proviennent soit de la farine elle-même soit de l'air ou du fermenteur. Celui-ci est soigneusement nettoyé après chaque essai et chauffé à la vapeur avant le début d'une expérience.

L'air n'étant pas filtré peut apporter des contaminants mais nous pensons que la plus grande partie provient de la farine d'écarts qui est fortement chargée en spores de champignons.

La souche d'Aspergillus inoculée à raison de  $2.10^7$ /g sec l'emporte évidemment, mais sa croissance est médiocre sur la farine non gélatinisée. Nous reviendrons donc pour les essais suivants au traitement par la vapeur de la farine humidifiée à 35% par la solution de sels minéraux .

La cadence relativement lente observée à certaines périodes de la culture dans les pétrins P7 et P9 peut également s'expliquer par un écart trop important entre la production de calories par le champignon et le refroidissement (aération, refroidissement par la surface, pertes de calories par rayonnement des parois métalliques de la cuve). S'il est indispensable d'exporter les calories pour que la température n'augmente pas au-delà de la température optimale pour la souche utilisée, il faut cependant que le système de régulation soit sollicité pour que le produit soit agité (homogénéisation) et arrosé (augmentation de l'humidité relative pendant la croissance). Un équilibre entre la production de calories (activité du microorganisme) et les échanges avec l'extérieur doit être trouvé. Cet équilibre dépend de nombreux facteurs, interdépendants, difficilement contrôlables.

La température de l'air extérieur influe sur les échanges thermiques, dans le hall pilote cette température ne peut pas être régulée, elle est simplement mesurée. Pour limiter cette influence nous avons décidé de calorifuger la surface extérieure du pétrin par un flock de polyuréthane. Nous avons également augmenté la masse de produit dans le fermenteur (10 kg poids sec de farine à partir du pétrin P10, puis 8 kg dans les derniers essais quand les conditions optimales ont été trouvées) ce qui diminue également l'influence de la température extérieure.

Les résultats des essais P10 à P24 ont été reportés dans des tableaux du logiciel VISICALC, ce qui permet des calculs automatiques ainsi que le tracé de graphiques par le logiciel VISIPILOT. Ces tableaux sont reproduits dans les pages suivantes, ils indiquent :

- Pour tous les essais, les conditions initiales de conditionnement du substrat (poids, humidité, sels minéraux, inoculum, gélatinisation) et de réglage des régulations (durée de l'intercycle pendant la phase de germination, durée de la plage d'attente, temporisation pour l'ouverture de la vanne d'air, pompe à eau) ainsi que l'indication du compteur électrique avant le lancement de l'essai.

- Pour tous les essais également les relevés effectués au cours de la fermentation (compteur électrique; pH; température du produit, de l'air extérieur, de l'air à la sortie du réchauffeur; débit d'air; consommations d'eau et d'urée; poids total). La quantité d'air consommée est cumulativement calculée par le programme.

- Pour les essais positifs qui ont donné lieu à des analyses, la section " RESULTATS DOSAGES" donne les concentrations ( en % du poids sec) dans les échantillons ( sucres totaux, sucres réducteurs, protéines), ces concentrations résultant à la fois des consommations ou productions absolues et de la perte de poids sec total ( évolution relative) . Dans la deuxième partie analytique les concentrations sont rapportées à 100 g poids sec de farine initiale, ce qui rend compte des évolutions absolues ( production de protéines) . Enfin dans la troisième partie des tableaux ( RESULTATS) sont rapportés l'évolution du poids sec total, de la perte en poids sec, du poids total de protéines dans le fermenteur, de la production de protéines . Un rendement de production a été calculé par le rapport :

$$\frac{\text{protéines produites}}{\text{substrat sec total consommé}}$$

Pour rendre compte de l'utilisation de tous les composants de la farine d'écartés de bananes ( amidon, fibres ) nous avons préféré estimer le substrat sec consommé par la différence entre la perte totale en poids sec et le poids de protéines synthétisées ( P.S.- protéines) plutôt que par la perte en sucres totaux dosés à l'anthrone . On constate cependant le plus souvent que le rendement calculé par rapport, à la consommation de sucres totaux est voisin du rendement calculé par rapport au poids sec consommé .

Des observations sont portées dans les tableaux , elles concernent le plus souvent la marche de la fermentation ( pannes et incidents divers) .

PETRIN 10  
DATE: 18/1/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	3.4
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	1.1
SPORES=	3.E11	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	151.7KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	8.2
F.BRUT TOT.INIT.=	170.1KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	70
P.SELS=	880G	COURSE=	40
DUREE GELATIN.=	35MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	935KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	15.1	35.35	35.5	40.45	58.55	80.1
DUREE	0	20.42	20.67	25.58	43.75	65
NUMERO ECHA.	0	1	2		3	4
COMPTEUR	935					1000
PH	4	3.8		4	4.3	3.4
TE.PROD	30	33		37	38	38
TE.AIR EXT.						
TE.AIR PULSE	38	37.5			38	37
DEBIT AIR	540	920	960	1000	1720	1700
AIR CONS.	0	14.90	15.14	19.96	44.66	81.00
EAU CONS.	0	460	660	820		4100
UREE CONS.						
P.BRUT PETR.	170.1	170.5		170.4	170	168.4

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	48	49	51	51
SUCRES TOT.	85	73.5	78	62.5
SUCRES RED.	23	26	26	20
PROTEINES	7.8	8.2	11	13

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES TOT.	85	73.65	58.57
SUCRES RED.	23	26.05	18.74
PROTEINES	7.8	8.217	12.18

RESULTATS

P.SEC TOTAL	9.568	9.588	8.967
PERTE P.S.	0	-.209	6.281
P.PROT.TOT	.7463	.7862	1.166
AUGM. PROT.	0	5.348	56.20
RENDEMENT		-66.6	231.0

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOmmATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG,HUMIDITE,PERTES,CONCENTRATIONS,AUGMENTATION DE PROTEINES ET RENDEMENT EN %.  
-----

Observations et conclusions : 10 kg de farine à 10 % d'humidité. la Fermentation a pu être menée pendant 65 heures avec un rythme des cycles de refroidissement satisfaisant. L'augmentation du poids dans la cuve a donc été bénéfique. Malheureusement l'échantillonnage a été mal fait, et le produit n'a pas été récolté en fin de culture ! (mauvaise coordination dans l'équipe). On a mis en service une nouvelle pompe à eau (pompe à piston) qui permet d'atteindre un débit plus important. Pour cet essai la pompe est réglée à 35 ml/minute de fonctionnement. On constate qu'après 65 heures la culture n'a consommé que 4000 ml d'eau, ce qui est peu : le poids brut a diminué de 1700 g. Il n'y a cependant eu ni collage ni arrêt par séchage : les conditions initiales semblent bonnes.

PETRIN . 11  
DATE: 22/1/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	3.4
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	1.1
SPORES=	2E11MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	151.6KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	8.2
P.BRUT TOT.INIT.=	169KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	70
P.SELS=	880G	COURSE=	50
DUREE GELATIN.=	47MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1005KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	14.45	32	34	35.3	42.45	
DUREE	0	17.25	19.25	20.75	28	*****
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4	* COLLAGE *
COMPTEUR						*****
PH	3.7	4	4	4	4	
TE.PROD	34	38	38	38	28	-> SONDES HORS
TE.AIR EXT.	30					DU PRODUIT.
TE.AIR PULSE	30	37	38	38	38	
DEBIT AIR	1640	1670	1660	1650	1840	
AIR CONS.	0	28.55	31.88	34.36	47.01	
EAU CONS.	0	1000	2580		4280	
UREE CONS.						
P.BRUT PETR.	169	169.4	170.7	170.7	171	

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN  
L/H,CONSOmmATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG.  
-----

Observations et conclusions : Les mêmes conditions expérimentales que pour l'essai P<sub>10</sub> aboutissent à un résultat très différent : après 43 heures de culture le produit est devenu très collant, et prend en masse lors d'un cycle de refroidissement. L'équilibre entre la production de calories par le champignon et le système de refroidissement (aération, arrosage) n'est donc pas trouvé. L'humidité de départ avait été fixée à 50 %.

La phase de germination (19 h) a pourtant été suivie d'une phase d'accélération des cycles qui après 5 heures (temps total 24 h) se répétaient à 3 minutes d'intervalle. Mais au temps 26 heures on note un brusque ralentissement des cycles, le produit étant aggloméré en boulettes de plusieurs cm. de diamètre. Le dernier cycle 28 heures après le début de l'incubation fait tout prendre en masse.

PETRIN 12  
DATE: 5/2/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	3.2
HUMIDITE FARINE=	9%	REFROIDISSEMENT=	1.1
SFORES=	2E11MB/L	PH REGUL.= TOUT OU RIEN	4
P.PETRIN VIDE=	151.1KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	8.2
P.BRUT TOT.INIT.=	169.3KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	70
P.SELS=	880G	COURSE=	50
DUREE GELATIN.=	45MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1049KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	11.3	32.35	37	39	
DUREE	0	21.08	25.5	27.5	
NUMERO ECHA.	1	2	3	4	
COMPTEUR	1066	1076	1078	1079	*****
PH	3.8	4.4	4.7	4.9	* COLLAGE A 16H45 *
TE.PROD	33	38	38	37.5	*****
TE.AIR EXT.	24.5	25.5	28	28.5	
TE.AIR PUISE					
DEBIT AIR	600	1060	1300	1350	
AIR CONS.	0	17.50	22.71	25.36	
EAU CONS.	0	1100	1700	1800	
UREE CONS.	0	0	0	0	
P.BRUT PETR.	169.3	169.5	169.2	169	

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	46	48	49	48
SUCRES RED.	9	21.1	25	29

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES RED.	9	20.54	23.48	27.47
-------------	---	-------	-------	-------

RESULTATS

P.SEC TOTAL	9.828	9.568	9.231	9.308
PERTE P.S.	0	2.646	6.074	5.291

-----  
UNITES: DUREE EN HEURES, COMPTEUR EN KWH, TEMPERATURES EN CELSIUS, DEBIT D'AIR EN L/H, CONSOMMATIONS D'AIR EN M3, D'EAU ET D'UREE EN ML, POIDS EN KG, HUMIDITE, PERTES, CONCENTRATIONS EN %.  
-----

Observations et conclusions : Mêmes conditions initiales. Ce nouvel essai était destiné à mieux observer le processus de prise en masse. Celle-ci intervient 9 heures après le début de la phase d'accélération, la phase de germination ayant duré 17 heures. Dans l'échantillon récolté lors de la prise en masse on dose 29 % de sucres réducteurs (dans la matière sèche). Cette concentration importante est probablement la cause de l'aspect très collant du produit.

PETRIN 13  
DATE: 7/2/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION		
SOUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	4.5	VITESSE BRAS
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	1.2	=3
SF'ORES=	MB/L	PH REGUL.=	4	AJOUT 100 ML
P.PETRIN VIDE=	151.2KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	7.5	HUILE COLZA
P.BRUT TOT.INIT.=	169.2KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	65	
P.SELS=	880G	COURSE=	70	
DUREE GELATIN.=	45MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1081KWH	

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	13.2	31.4	34	36	
DUREE	0	18.33	20.67	22.67	
NUMERO ECHA.	0	1	2		
COMPTEUR	1096	1107	1109	1110	1111
PH	3.9	4.5	4.8	5	
TE.PROD	36	38	37	37	
TE.AIR EXT.	30.5	27.5	27.5	29	
TE.AIR PULSE	38	38	26	24.5	*****
DEBIT AIR	670	1600	1640	1660	* COLLAGE *
AIR CONS.	0	20.81	24.59	27.89	*****
EAU CONS.	0	2100	2500	2500	
UREE CONS.	0	34	34	34	ET BLOQUAGE DE LA
P.BRUT PETR.	169.2	169.8	169.3	169	VANNE D'AIR A 1600 L/H

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	44.5	49	49
SUCRES RED.	9	26.5	28.2

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES RED.	9	25.23	26.13
-------------	---	-------	-------

RESULTATS

P.SEC TOTAL	9.99	9.512	9.257
PERTE P.S.	0	4.790	7.342

OBSERVATIONS: 8H30 ARRET DU RECHAUFFEUR D'AIR. 10H BRAS TROP ELOIGNE ET DEVIS-SE, PRODUIT RETIRE PUIS REMIS. PRODUIT DE PLUS EN PLUS COLLANT, CYCLES ESPACES DE 30 MN.  
12H45:ESSAI D'AJOUTER DE L'EAU POUR DISSOUDRE LES SUCRES -> PRISE EN MASSE.  
TRES BELLE COUCHE DE MYCELIUM SUR LE FOND ET LES BORDS.

-----  
UNITES: DUREE EN HEURES, COMPTEUR EN KWH, TEMPERATURES EN CELSIUS, DEBIT D'AIR EN L/H, CONSOMMATIONS D'AIR EN M3, D'EAU ET D'UREE EN ML, POIDS EN KG, HUMIDITE, PERTES, CONCENTRATIONS EN %.  
-----

Observations et conclusions : pour rendre le produit moins collant, nous avons ajouté 100 ml d'huile de colza dans la préparation initiale (sous forme d'émulsion par le spray). Dans l'idée de diluer davantage les sucres réducteurs qui s'accumulent, le débit de la pompe à eau a été augmenté, mais pour éviter la formation de pâte il faut alors réduire l'humidité initiale, fixée dans cet essai à 44.5 %. Ces modifications n'ont pas suffi à empêcher le collage qui s'est produit 10 heures après le début de la phase d'accélération.

PETRIN 14  
DATE: 13/2/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	8.5
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	1
SPORES=	ME/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150.4KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	6
P.BRUT TOT.INIT.=	169.5KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	90
P.SELS=	880G	COURSE=	85
DUREE GELATIN.=	20MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1111KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	11.3	16	21	32	
DUREE	0	4.5	9.5	20.5	
NUMERO ECHA.	0		1	2	
COMPTEUR	1128	1130	1133	1137	ARRETE A
PH	3.8	4.2	4.3	4.9	CAUSE D'UNE PANNE
TE.PROD	39.5	35.5	34	37	DE COMPRESSEUR
TE.AIR EXT.	29	29	28	25	+ PANNE ENREGISTREUR
TE.AIR PULSE		37	36	25	+ PANNE VANNE D'AIR
DEBIT AIR	620	730	1380	1600	+ PANNE REGULATEUR
AIR CONS.	0	3.038	8.313	24.70	
EAU CONS.	0	200	500	3300	
UREE CONS.	0	0	0	0	
P.BRUT PETR.	169.5	169.1	169.2	171	

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	46		47	53
SUCRES RED.	10		14.4	17.3

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES RED.	10		13.91	16.24
-------------	----	--	-------	-------

RESULTATS

P.SEC TOTAL	10.31		9.964	9.682	-150.	-150.	-150.	-150.	-150.	-150.
PERTE P.S.	0		3.393	6.128	1558.	1558.	1558.	1558.	1558.	1558.

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOUMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG,HUMIDITE,PERTES,CONCENTRATIONS ENZ.  
-----

Observations et conclusions : Les modifications suivantes ont été faites par rapport à l'essai P<sub>13</sub> :

- changement d'alimentation de la vanne motorisée pour que le débit maximum atteigne 2400 l d'air/heure
- augmentation à 3 heures de la durée des intercycles pendant la phase de germination
- augmentation à 100 ml/minute du débit de la pompe à eau.
- augmentation de la vitesse d'ouverture de la vanne d'air motorisée.

Tout semblait OK mais ... pendant la nuit, panne de compresseur d'air. Il n'a pas été possible de réparer à temps pour sauver la culture.

PETRIN 15  
DATE: 26/2/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	8.5
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	3
SPORES=	MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN_VIDE=	150.4KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	6
P.BRUT TOT.INIT.=	169.9KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	90
P.SELS=	880G	COURSE=	85
DUREF GELATIN.=	40MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	9.3	13.25	31.3	34.3	37.3	44.45	55.15	59	62.3	65.3	70
DUREE	0	3.917	22	25	28	35.25	45.75	49.5	53	56	60.5
NUMERO ECHA.		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
COMPTEUR	1138	1159	1167	1170	1173	1180	1191	1195	1199	1202	1207
PH	4	3.6	4.2	4.4		5.2	3.9	3.4	3.1	3.2	3
TE.PROD	34.5	34	37	38	37	37	38	38	38	38	38
TE.AIR EXT.	28	28	26	27.5			26	27	29	29	28
TE.AIR PULSE	36	36	23	21			20	23	24	26	24
DEBIT AIR	620	720	1460	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
AIR CONS.	0	2.624	22.33	27.82	34.42	50.37	73.47	81.72	89.42	96.02	105.9
EAU CONS.	0	500	3000	3100	3200	4600	4800	5200	5800	6450	7100
UREE CONS.	0	6	62	63	63	63	63	72	88	102	124
P.BRUT PETR.	169.9	170.1	171.3	171	170.6	170	169.4	169.3	169.3	169.4	169.4

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	51	54	57	56	56	56	57	57.5	58	59.8	60.6
SUCRES TOT.		74			77			67	69	63	66
SUCRES RED.		10	18	20	20	23	27	22	26	22	28
PROTEINES	8	8.5	10.8	11	11.9	12.3	13.4	13.9	14.8	16	16.5
AMIDON		60	58	52	51	51	40	40	38	33	30

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES TOT.	70.00			71.62			56.32	57.32	50.36	51.57	
SUCRES RED.	9.460	16.93	18.97	18.60	20.76	23.09	18.49	21.6	17.59	21.88	
PROTEINES	8	8.041	10.16	10.43	11.07	11.10	11.46	11.69	12.30	12.79	12.89

RESULTATS

P.SEC TOTAL	9.555	9.039	8.987	9.064	8.888	8.624	8.17	8.033	7.938	7.638	7.466
PERTE P.S.		5.400	5.945	5.139	6.981	9.744	14.50	15.93	16.92	20.06	21.86
P.PROT.TOT	.7644	.7683	.9706	.9970	1.058	1.061	1.095	1.117	1.175	1.222	1.232
AUGM. PROT.		.5122	26.97	30.43	38.37	38.77	43.22	46.06	53.69	59.87	61.16
RENDEMENT		.7645	56.99	90.04	78.47	46.70	31.33	30.09	34.02	31.36	28.84

-----  
UNITES: DUREE EN HEURES, COMPTEUR EN KWH, TEMPERATURES EN CELSIUS, DEBIT D'AIR EN L/H, CONSOMMATIONS D'AIR EN M3, D'EAU ET D'UREE EN ML, POIDS EN KG, HUMIDITE, PERTES, CONCENTRATIONS, AUGMENTATION DE PROTEINES ET RENDEMENT EN %.  
-----

Observations et conclusions : Seule modification : gélatinisation plus longue (40 minutes), durée de la plage d'attente du cycle augmentée. Bien que la croissance ait été maintenue jusqu'à 60.5 heures et le produit final récolté avec 16.5 % de protéines dans la matière sèche, le procédé n'est pas optimisé puisque la phase de collage a encore été observée de 8 à 20 heures après le début de la phase d'accélération. Cependant la teneur en sucres réducteurs (environ 25 %) n'était pas suffisante pour une prise en masse totale. Le mycélium s'est progressivement développé, structurant à nouveau le produit et le rythme des cycles de refroidissement a repris quelques heures plus tard. 38 heures après le début des cycles de température, on observait à nouveau 1 cycle toutes les 7 minutes. La fermentation a été volontairement arrêtée après 60.5 heures d'incubation au total, le produit récolté tel quel a été en partie ensilé (sac plastique étanche) en partie lyophilisé pour les essais nutritionnels (voir cette section dans ce chapitre).

PETRIN 16  
DATE: 12/3/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	8.8
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	3
SPORES=	ME/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150.5KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	3
P.BRUT TOT.INIT.=	169.6KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	90
P.SELS=	880G	COURSE=	85
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1208KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	12.4	32	
DUREE	0	19.33	MORT A 8H30
NUMERO ECHA.	0	1	
COMPTEUR	1222	1236	TRES COLLANT
PH	4.1	5.1	
TE.PROD			
TE.AIR EXT.	30		
TE.AIR PULSE	37		
DEBIT AIR	1000	1900	
AIR CONS.	0	28.03	
EAU CONS.	0	2050	
UREE CONS.	0	28	
P.BRUT PETR.	169.6	169.8	

OBSERVATIONS: BONNES CONDITIONS INITIALES APPARENTES.  
ENSUITE? PAS ASSEZ D'AIR? AIR TROP HUMIDE?  
REMEDDES: MOINS DE PRODUIT ET PLUS D'AIR SEC.

-----  
UNITES: DUREE EN HEURES, COMPTEUR EN KWH, TEMPERATURES EN CELSIUS, DEBIT D'AIR EN L/H, CONSOMMATIONS D'AIR EN M3, D'EAU ET D'UREE EN ML, POIDS EN KG.  
-----

Observations et conclusions : Premier essai utilisant la souche Aspergillus niger N° 2, qui produit moins d'amylases (voir chapitre "Conduite de la Recherche" et section "Essai en colonnes de 20 g" de ce chapitre). La vitesse d'ouverture de la vanne d'air a été augmentée. Bon démarrage à phase de germination de 11 heures seulement. Bon début de la phase d'accélération, mais brusquement collage après seulement 19 H 30 d'incubation (8 H 30 après le début de la phase d'accélération). Il convient donc de modifier totalement la stratégie de la culture, bien que les conditions soient favorables en début de croissance.

PETRIN 17  
DATE: 13/3/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	9
HUMIDITE FARINE=	%	REFROIDISSEMENT=	3
SPORES=	2.E10MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150.3KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	2
P.BRUT TOT.INIT.=	165.6KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	80
P.SELS=	700G	COURSE=	85
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1236KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	14.3	31.3	34.15	37.3	40.3	44.45	55.2	58.3	62	
DUREE	0	17	19.75	23	26	30.25	40.83	44	47.5	ARRET
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	VOLONTAIRE
COMPTEUR	1250	1263	1268	1272	1277	1282	1296	1300	1304	
PH	3.9	4.6	4.4	3.9	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	
TE.PROD	37	38	38	38	38	38	37.5	38		LYOPHILISE
TE.AIR EXT.	31	27	26	29	29	25	24	27		ET
TE.AIR PULSE	28	26	26	26	30	26	23	27		AJOUT DES
DEBIT AIR	800	2200	2040	2300	2300	2300	2300	2300	2300	SELS +
AIR CONS.	0	25.5	31.33	38.38	45.28	55.06	79.40	86.68	94.73	HUILE
EAU CONS.	0	1600	2600	4670	6600	8100	14100	15700	17000	
UREE CONS.	0	4	4	4	136	236	486	621	856	
P.BRUT PETR.	165.6	165.5	165.6	165.5	167.2	167.2	168.2	168.8	168.8	

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	50	52	54	58	61	62	69	70	71	69
SUCRES TOT.	75.5	70.8	70.1	66.6	63.4	58.6	41.9	37.5	40.5	
SUCRES RED.	8.9	21.3	25	27.8	29.4	28.9	17.2	14	14.9	
PROTEINES	8.2	10.4	11.4	12.8	13.8	17.9	22.9	23	24.5	

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES TOT.	75.5	67.52	64.49	55.58	54.46	49.19	30.39	27.21	28.40
SUCRES RED.	8.9	20.31	23	23.20	25.26	24.26	12.48	10.16	10.45
PROTEINES	8.2	9.919	10.49	10.68	11.85	15.03	16.61	16.69	17.18

RESULTATS

P.SEC TOTAL	7.65	7.296	7.038	6.384	6.572	6.422	5.549	5.55	5.365
PERTE P.S.	0	4.627	8	16.55	14.10	16.05	27.46	27.45	29.87
P.PROT.TOT	.6273	.7588	.8023	.8172	.9069	1.150	1.271	1.277	1.314
AUGM. PROT.	0	20.96	27.90	30.26	44.57	83.25	102.6	103.5	109.5
RENDEMENT		59.09	40.06	17.64	34.99	74.00	44.14	44.75	43.00

OBSERVATIONS:COMPOSITION MINERALE FINALE EN % M.S.= P:1,3 CA:1,2 K:2,4  
S:0,8 CL:0,7 HUILE:6,7

UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOMMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG,HUMIDITE,PERTES,CONCENTRATIONS,AUGMENTATION DE PROTEINES ET RENDEMENT EN %.

Observations et conclusions : Deux modifications essentielles : suppression de l'humidificateur d'air (l'aération se fait par l'air détendu à 1.5 bar et réchauffé dans un récipient sec), diminution de la quantité de farine (8 kg au lieu de 10 kg). Bonne croissance, phase de latence de 13 heures, puis accélération très importante. 24 h après l'inoculation, on note 1 cycle toutes les 2 minutes. Culture stoppée volontairement après 47.5 heures, le produit est arrosé avant récolte par une émulsion d'huile et de sels de calcium (voir section "Essai Nutritionnel" de ce chapitre). Une partie est ensilée (sac en plastique étanche), une partie lyophilisée pour expédition à IFREMER. Nous avons l'impression de toucher au but : aucun problème de collage, croissance sans intervention quelconque. 17 litres d'eau consommés : on note là l'effet de la suppression de l'humidificateur d'air.

PETRIN 18  
DATE: 19/3/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	8,8
HUMIDITE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	3
SPORES=	2.E11MB/L	PH REGUL.=	4
F.PETRIN VIDE=	150.2KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	2
F.BRUT TOT.INIT.=	165.3KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	80
P.SELS=	700G	COURSE=	70
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	12.45	15	32	35	39
DUREE	0	2.25	19.25	22.25	26.25
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4
COMPTEUR	1305	1319	1330	1332	1334
PH	4	3.9	4.7	4.9	5.2
TE.PROD	44	35	28	36	37
TE.AIR EXT.	30	30	24	27	30
TE.AIR PULSE	26	32	24	34	30
DEBIT AIR	820	1080	1720	1100	2000
AIR CONS.	0	2.138	25.94	30.17	36.37
EAU CONS.	0	200	900	1000	2000
UREE CONS.	0	20	50	50	50
F.BRUT PETR.	165.5	165.4	165.1	165	165.1

OBSERVATIONS:FORMATION D'UNE CROUTE AU FOND DU PETRIN.

A 15H30,PANNE:TEMPERATURE COINCEE A 30C ALORS QUE PRODUIT A 48C.  
DEBLOQUE A 16H40-TRES GRAND CYCLE. 11H:PANNE DE RECOPIE CYCLE.  
17H:REPANNE CHUTE DE TEMPERATURE.

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOUMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG.  
-----

Observations et conclusions : Nous avons réduit légèrement le débit de la pompe à eau. Mais surtout nous avons voulu apporter une amélioration au système de régulation, en créant deux points de consigne de température : un point haut (début de cycle de refroidissement) et un point bas (arrêt de la plage d'attente). Auparavant c'est en descendant en-dessous du point de consigne que le signal "fin de plage d'attente" est donné au régulateur. En pratique, séparer de 1 à 2° les points de consigne revient à augmenter la durée de la plage d'attente, donc des cycles : ils sont plus longs mais moins nombreux. C'est pour nous le début des ennuis, car alors des chemins préférentiels se créent dans le produit. L'air relativement froid et surtout sec qui arrive dans le bas de la cuve se refroidit fortement par évaporation de l'eau du produit. Une hétérogénéité importante (plus de 10°) apparaît dans la masse, la sonde (unique) de température ne peut en rendre compte. Il se forme une croûte froide en bas, la sonde indique 37° (en-dessous du point de consigne haut) alors que dans certains endroits la température atteint 45°. Les essais suivants (19 à 23), conduits dans les mêmes conditions avec deux points de consigne, aboutiront au même échec que nous avons à tort attribué à une panne de régulateur.

PETRIN 19  
DATE: 26/3/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	10	REGUL.:INTERCYCLE=	9
HUMIDITE FARINE=	.5%	REFROIDISSEMENT=	1
SPORES=	3.E11ME/L	PH REGUL.=	
P.PETRIN VIDE=	150.2KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	2
P.BRUT.TOT.INIT.=	165.4KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	80
P.SELS=	700G	COURSE=	70
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1338KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE .	13	15.45	32.35	35.35	38.3	40
DUREE	0	2.75	19.58	22.58	22.58	ARRET CAR
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4	COLLAGE
COMPTEUR	1351	1352	1358	1361	1363	
PH	4	4	4.6	4.8	4.9	
TE.PROD	37	33	35	36	35	
TE.AIR EXT.	28	28	25	27	30	
TE.AIR PULSE	27	26	38	45	45	
DEBIT AIR	850	820	1580	2200	2200	
AIR CONS.	0	2.296	22.50	28.17	28.17	
EAU CONS.	0	0	700	1500	1600	
UREE CONS.	0	0	50	50	50	
P.BRUT PETR.	165.4	165.3	164.8	164.8	165.2	

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	49.5	48.6	49.7	51.1	51
SUCRES RED.	9.4	9.2	23	28.6	35

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES RED.	9.4	9.302	22.00	26.60
-------------	-----	-------	-------	-------

RESULTATS

P.SEC TOTAL	7.676	7.761	7.344	7.139	7.35
PERTE P.S.	0	-1.11	4.328	6.991	4.247

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSO-MMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG,HUMIDI-TE,PERTES,CONCENTRATIONS,AUGMENTATION DE PROTEINES ET RENDEMENT EN %.  
-----

Observations et conclusions : Voir explication donnée pour l'essai P18.  
La création de deux points de consigne nous semble toujours une amélioration, en pratique ce serait le cas si toute la masse du produit était agitée par le bras du pétrin. En fait il n'en est rien et malgré un réglage très précis de la course du bras sur le fond de la cuve, le produit n'est pas agité sur sur les bords de l'axe central.  
Quand les cycles sont trop espacés, le mycélium adhère alors fortement aux parois, et l'hétérogénéité s'installe. Nous persistons à voir l'effet d'un défaut dans la conception électronique de l'unité de régulation modifiée pour créer le point de consigne bas. En fin de fermentation nous réglons la température de l'air injecté à 45° (dans le récipient de chauffage) ce qui correspond à 35° environ à l'arrivée dans le double fond du pétrin.

PETRIN 20  
DATE: 1/4/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	8.8
HUMIDIJE FARINE=	10%	REFROIDISSEMENT=	1
SPORES=	2E11MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150.4KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	2
P.BRUT TOT.INIT.=	165.8KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	75
P.SELS=	700G	COURSE=	70
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1364KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	17.2	31.45	34	39
DUREE	0	14.42	16.67	21.67
NUMERO ECHA.	0	1	2	3
COMPTEUR	1379	1384	1386	1389
PH	4	4.7	4.9	5.1
TE.PROD	35	36	37	36
TE.AIR EXT.	28	25	27	31
TE.AIR PULSE	26	38	37	38
DEBIT AIR	800	1500	1800	2200
AIR CONS.	0	16.58	20.29	30.29
EAU CONS.	0	700	1100	1600
UREE CONS.	0	0	30	30
P.BRUT PETR.	165.5	165.1	165.1	165.7

OBSERVATIONS:BULLEUR REGLE SUR 38C (AVEC PROGRAMME) A 17H20.  
A ECHANTILLON 3,MANQUE D'HOMOGENEITE CAR LA SONDE NE DONNE PAS LA MEME TEMPERATURE A DIFFERENTS ENDROITS.

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOMMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG.  
-----

Observations et conclusions : Toujours le même problème. Arrêt de la fermentation car la sonde n'indique plus la température dans la masse mais celle de l'air cheminant par des trajets libres depuis le bas de la cuve. A partir de cet essai le régulateur de température d'air injecté est alimenté en permanence.

PETRIN 21  
DATE: 22/4/8

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	9
HUMIDITE FARINE=	11%	REFROIDISSEMENT=	.4
SPORES=	2E11ME/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150.3KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	2
P.BRUT TOT.INIT.=	164.6KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	80
P.SELS=	700G	COURSE=	50
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	11.3	31.3	35	38	40	56.15	59	62.3
DUREE	0	20	23.5	26.5	28.5	44.75	47.5	51
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4	5	6	7
COMPTEUR	1389	1410	1412	1415		1434	1438	1441
PH	4.5	4.5	4.6	4.6		4.2	4.4	4.5
TE.PROD	35	36	36	36		36	37	35
TE.AIR EXT.	29	25	29	31		28	28.5	27
TE.AIR PULSE	39	25	29	31		29	29	33
DEBIT AIR	700	1300	2200	2500	2500	2500	2500	2400
AIR CONS.	0	20	26.13	33.18	38.18	78.8	85.68	94.25
EAU CONS.	0	300	1000	2200		7500	8500	10000
UREE CONS.	0	0	0	0		610	610	610
P.BRUT PETR.	164.6	164	164.1	164.5		165.8	166.2	166.3

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	47	45	48	51	52	58	60	62
SUCRES TOT.	91	77.8	88.3	62.5	63.8	52.1	71.9	47.7
SUCRES RED.	15.5	29.9	38.5	42.7	39	39.1	32.5	25
PROTEINES	7.7	9.6	9.9	11.1	11.4	17.1	15.3	16.8

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES TOT.	91	77.35	83.60	57.38		44.75	60.34	38.27
SUCRES RED.	15.5	29.73	36.45	39.20		33.59	27.27	20.06
PROTEINES	7.7	9.544	9.374	10.19		14.69	12.84	13.48

RESULTATS

P.SEC TOTAL	7.579	7.535	7.176	6.958		6.51	6.36	6.08
PERTE P.S.	0	.5806	5.317	8.194		14.10	16.08	19.78
P.PROT.TOT	.5836	.7234	.7104	.7723		1.113	.9731	1.021
AUGM. PROT.	0	23.95	21.73	32.34		90.75	66.74	75.03
RENDEMENT		-146.	45.93	43.67		98.19	46.96	41.26

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOUMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG,HUMIDI-  
-TE,PERTES,CONCENTRATIONS,AUGMENTATION DE PROTEINES ET RENDEMENT EN %.  
-----

Observations et conclusions : Le débat s'installe sur les causes des troubles observés dans la régulation, malgré une croissance correcte du micro-organisme. Le produit est récolté en fin de culture avec 16.8 % de protéines, il n'y a pas eu de problèmes de collage mais plusieurs arrêts des cycles de refroidissement : cette fermentation a en fait été pilotée manuellement.

PETRIN 22  
DATE: 30/4/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	8
HUMIDITE FARINE=	11%	REFROIDISSEMENT=	1
SPORES=	2E11MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150.1KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	2
P.BRUT TOT.INIT.=	164.4KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	80
P.SELS=	700G	COURSE=	50
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1445KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	13.3	32	56	59	62	80
DUREE	0	18.5	42.5	45.5	48.5	66.5
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4	5
COMPTEUR	1459	1465	1483	1484	1486	1495
PH	4	4.7	6.2	6.2	6.2	6.2
TE.PROD	28	30	30	35.5	37	31
TE.AIR EXT.	28	28	29	30.5	32	28.5
TE.AIR PULSE	SONDE COUPLEE AVEC LA SONDE PRODUIT					
DEBIT AIR	660	1000	2400	1150	1580	1920
AIR CONS.	0	15.36	56.16	61.48	65.58	97.08
EAU CONS.	0	500	1800	2000	2200	2800
UREE CONS.	0	135	610	620	620	620
P.BRUT PETR.	164.4	164	162.3	162.3	162.1	161.1

OBSERVATIONS:CHANGEMENT DE LA SONDE PLATINE  
:LE 2/5/85 A 14H REGLAGE DE LA COURSE(POMPE) A 80

-----  
UNITES: DUREE EN HEURES, COMPTEUR EN KWH, TEMPERATURES EN CELSIUS, DEBIT D'AIR EN L/H, CONSOMMATIONS D'AIR EN M3, D'EAU ET D'UREE EN ML, POIDS EN KG.  
-----

Observations et conclusions : Nous avons changé la sonde température, qui pouvait être défectueuse. Une sonde supplémentaire a été placée, pour vérifier le fonctionnement de l'unité centrale. L'air est introduit sans réchauffage, donc à une température de quelques degrés inférieure à la température extérieure. Echec de la fermentation.

PETRIN 23  
DATE: 14/5/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	8
HUMIDITE FARINE=	9%	REFROIDISSEMENT=	1
SPORES=	2E11MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	150KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	6
P.BRUT TOT.INIT.=	164.2KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	50
P.SELS=	700G	COURSE=	80
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1496KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	13.3	32	39	42	47	57.3	67.3	80	88	104
DUREE	0	18.5	25.5	28.5	33.5	44	54	66.5	74.5	90.5
NUMERO ECHA.	0	1	2			3	4	5	6	ARRET
COMPTEUR	1509	1517	1520	1522	1525	1533	1541	1549	1554	(TOUT
PH	3.9	4.2	4.8	5	4.9	4.1	4.3	4.5	4.2	COINCE)
TE.PROD	32	19	36	36	36	36	33	31	36	
TE.AIR EXT.	29	28	31	30	29	30	31	30	34	
TE.AIR PULSE	50	50	60	59				28	26	
DEBIT AIR	840	1100	950	1400	1620	2100	1700	2060	2000	
AIR CONS.	0	17.95	25.12	28.65	36.20	55.73	74.73	98.23	114.5	
EAU CONS.	0	600	900	1200	2100	3500	4250	4500	5500	
UREE CONS.	0	330	350	350	350	430		740	740	
P.BRUT PETR.	164.2	164.2	163.9	164.1	163.8	163.1		162.5	162.4	

OBSERVATIONS:LE 15 A 23H,PANNE DU RECHAUFFEUR D'AIR.MISE EN ROUTE ARTIFICIELLE DU CYCLE.LE 16 A 19H30,HETEROGENEITE DES TEMPERATURES DANS LE PETRIN:EN HAUT,42C,EN BAS,25C.LA FARINE EST TROP SECHE,EAU REMISE.

-----  
UNITES:DUREE EN HEURES,COMPTEUR EN KWH,TEMPERATURES EN CELSIUS,DEBIT D'AIR EN L/H,CONSOUMATIONS D'AIR EN M3,D'EAU ET D'UREE EN ML,POIDS EN KG.  
-----

Observations et conclusions : L'hétérogénéité très importante (42° en haut, 25° en bas de la cuve) interdit toute commande efficace du régulateur. Après ce dernier échec, nous décidons de revenir à la conception initiale basée sur un point de consigne unique.

PETRIN . 24  
DATE: 4/6/85

CONDITIONS INITIALES

1) LE PRODUIT		2) CALAGE DE LA REGULATION	
SOUCHE	2	REGUL.:INTERCYCLE=	8
HUMIDITE FARINE=	9%	REFROIDISSEMENT=	0
SPORES=	2.E11MB/L	PH REGUL.=	4
P.PETRIN VIDE=	147.5KG	VANNE D'AIR:TEMPO=	6
P.BRUT TOT.INIT.=	160.9KG	POMPE A EAU:IMPULSION=	80
P.SELS=	700G	COURSE=	90
DUREE GELATIN.=	30MN	3)COMPTEUR ELECTRIQUE=	1570KWH

MESURES PENDANT LA FERMENTATION

HEURE	12	32	38	40	56	58	60	62	66.3	80.3	81
DUREE	0	20	26	28	44	46	48	50	54.5	68.5	69
NUMERO ECHA.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COMPTEUR	1579	1588	1591		1609	1611	1613	1615	1621	1637	
PH	4.3	4.3	4.3	4.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	4	
TE.FPROD	35	29	37	37	38	37	37	37	37	37	
TE.AIR EXT.	33	29	33	33	31	34	34	34	32	31	
TE.AIR PULSE	60	60	60	60	60	59	59	59	60	60	
DEBIT AIR	800	1100	1200	1300	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
AIR CONS.	0	19	25.9	28.4	58	62.8	67.6	72.4	83.2	116.8	118
EAU CONS.	0	500	700	1000	6500	7000	7600	8300	10000	14000	
UREE CONS.	0	60	60	60	360	420	500	565	730	1000	
P.BRUT PETR.	160.9	160.8	160.3	160.3	161.5	161.5	161.9	162	162.2	162.5	163.4

RESULTATS DOSAGES

HUMIDITE	42	42	42	43	53	54	55	56	59	62	61
SUCRES TOT.	84.5	84.5	79.7	87.7	69.4	74	67.6	56.8	63.4	50	48.7
SUCRES RED.	6.2	12.38	14.74	17.07	25.53	24.85	22.22	20.86	17.68	12.5	13.97
PROTEINES	5.6	7.55	7.81	7.95	14.53	16.15	15.84	14.8	17.68	17.97	16.67

DOSAGES RAPPORTES A LA FARINE INITIALE

SUCRES TOT.	84.5	83.87	76.13	82.33	58.76	61.32	56.36	46.63	49.17	36.67	38.86
SUCRES RED.	6.2	12.29	14.08	16.02	21.61	20.59	18.53	17.12	13.71	9.168	11.15
PROTEINES	5.6	7.494	7.460	7.463	12.30	13.38	13.21	12.15	13.71	13.18	13.30

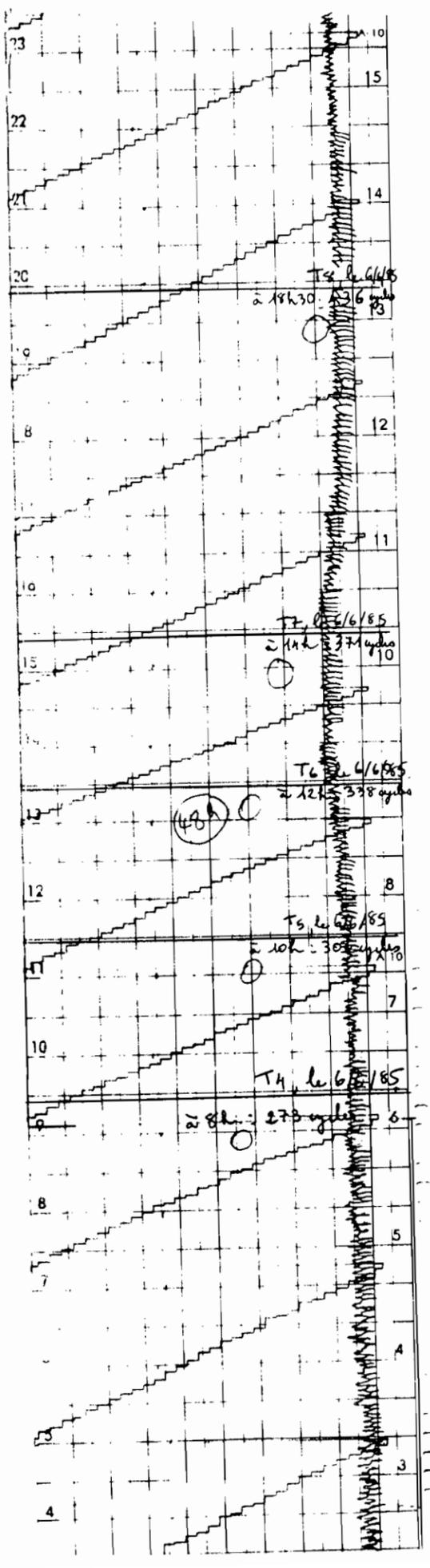
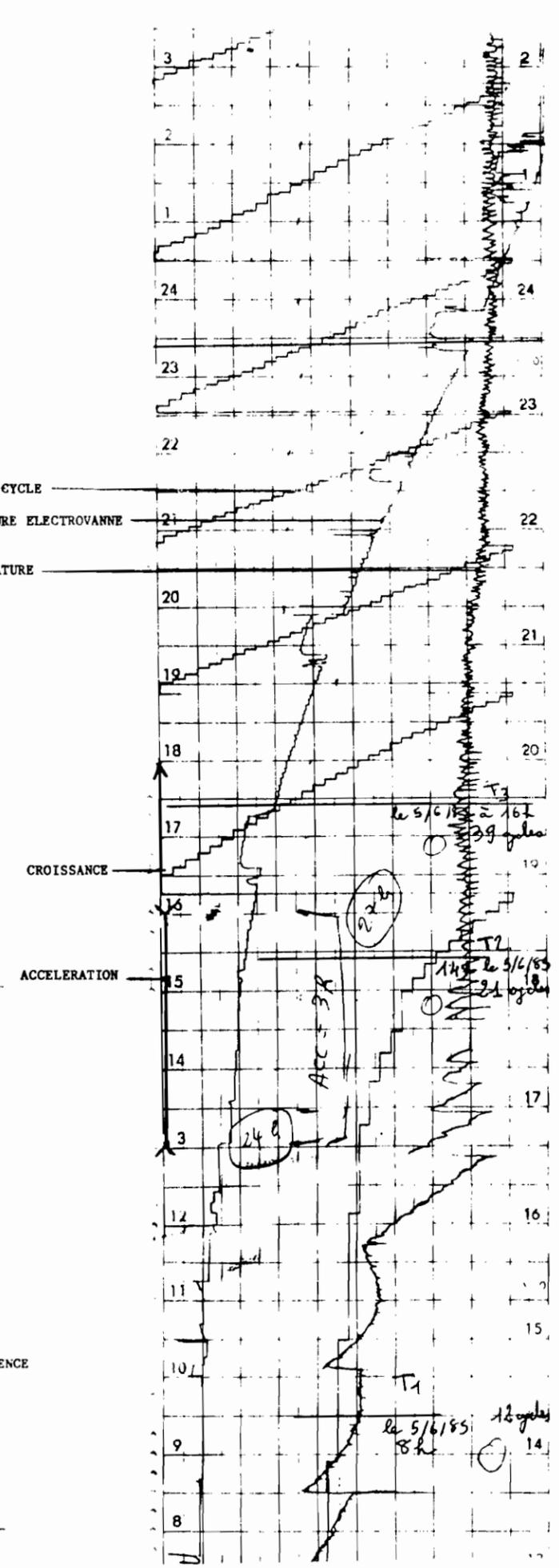
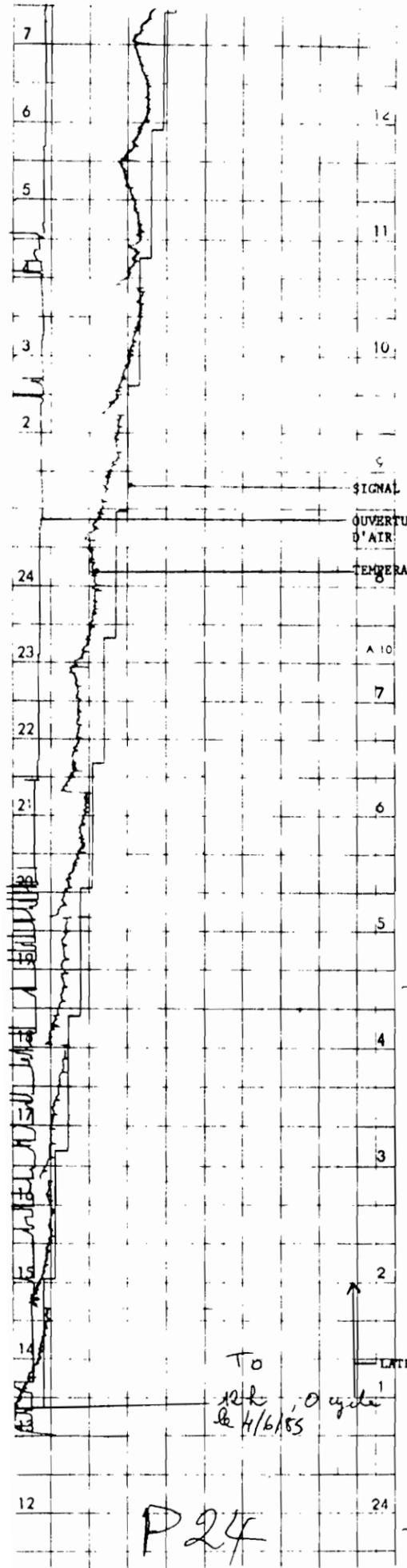
RESULTATS

P.SEC TOTAL	7.772	7.714	7.424	7.296	6.58	6.44	6.48	6.38	6.027	5.7	6.201
PERTE P.S.	0	.7463	4.478	6.125	15.34	17.14	16.62	17.91	22.45	26.66	20.21
P.PROT.TOT	.4352	.5824	.5798	.5800	.9561	1.040	1.026	.9442	1.066	1.024	1.034
AUGM. PROT.	0	33.82	33.22	33.27	119.7	139.0	135.8	117.0	144.8	135.3	137.5
RENDEMENT		-165.	71.08	43.72	77.60	83.18	84.36	57.65	56.55	39.72	61.54

-----  
UNITES: DUREE EN HEURES, COMPTEUR EN KWH, TEMPERATURES EN CELSIUS, DEBIT D'AIR EN L/H, CONSOMMATIONS D'AIR EN M3, D'EAU ET D'UREE EN ML, POIDS EN KG, HUMIDITE, PERTE, CONCENTRATIONS, AUGMENTATION DE PROTEINES ET RENDEMENT EN %.  
-----

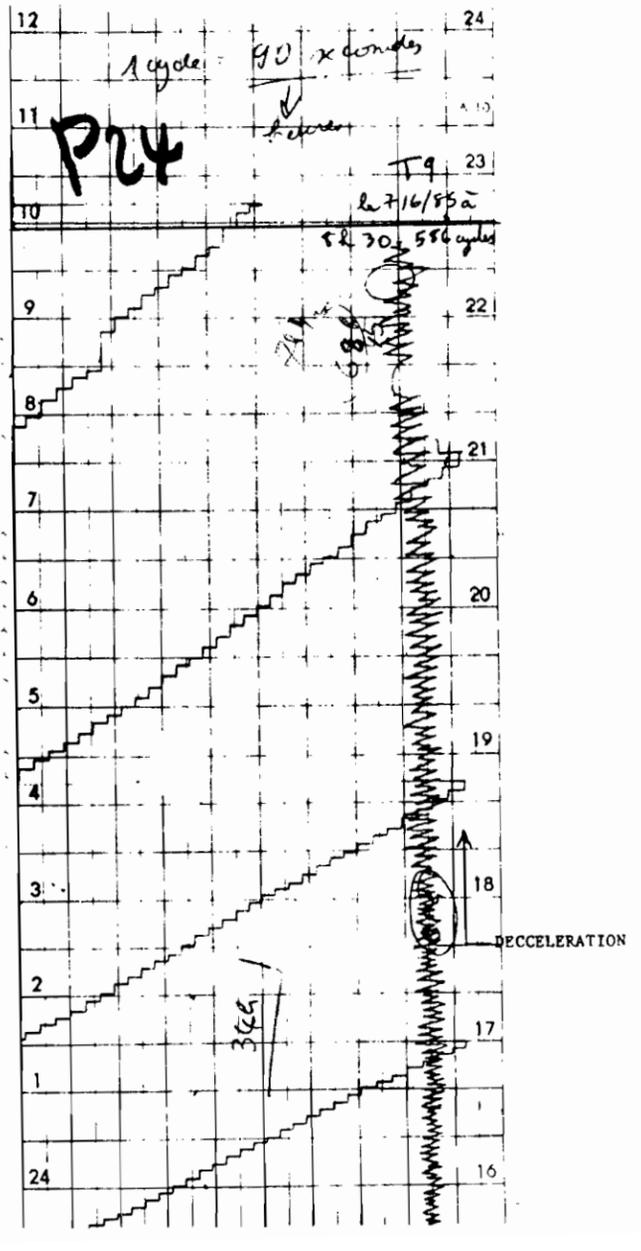
- Observations et conclusions : Les modifications suivantes ont été faites, et ont abouti à des conditions expérimentales satisfaisantes : les essais réalisés par la suite ont été reproductibles .
- 1) abaissement de l'humidité initiale à 42 % seulement . Ceci allonge la durée de la phase de latence , mais permet d'arroser fortement le produit quand cela est nécessaire sans obtenir le collage.
  - 2) rétablissement de la régulation à un seul point de consigne
  - 3) réchauffage de l'air injecté à 60° dans le réchauffeur ( soit environ 33° à l'entrée du pétrin) ceci pendant toute la durée de la fermentation.

Ces modifications ont donc été très positives, et nous considérons que le process est au point dès lors qu'il est reproductible et que la croissance est satisfaisante . Cet essai est discuté plus complètement dans les pages qui suivent.



ENREGISTREMENT DU PETRIN 24

- PHASE DE LATENCE: DUREE DE 24 HEURES, DEPART A T0 ET FIN 3H1/2 APRES T1
- PHASE D'ACCELERATION: DUREE 3 HEURES, FIN 1H1/2 APRES T2
- PHASE DE CROISSANCE: DUREE DE 34 HEURES, FIN 7 HEURES AVANT T9
- PHASE DE DECELERATION: DUREE 7 HEURES, FIN A T9



LES CONDITIONS EXPERIMENTALES OPTIMISEES : DISCUSSION DE L'ESSAI P24.

Nous avons vérifié que le procédé de fermentation solide de la farine d'écartes de bananes est reproductible dès lors que les conditions expérimentales suivantes sont utilisées dans le fermenteur pilote décrit au chapitre "Conduite de la Recherche".

Substrat : 8 kg de farine de cossettes d'écartes de bananes vertes, broyées avec grille 2 mm

Souche : Aspergillus niger souche n° 2

Solution saline : 280 g d'urée, 264 g  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ , 100 ml  $\text{H}_3 \text{PO}_4$  dans 2500 ml d'eau

Gélatinisation : passage de vapeur 1 bar pendant 30 minutes (soit 9 KW h pour le générateur de vapeur)

Suspension de spores :  $2 \cdot 10^{11}$  dans 3000 ml d'eau

Poids frais au départ : 13,4 kg à 42 % d'humidité

Durée intercycles phase de germination : 2 heures

Durée plage d'attente temporisée : 20 secondes

Ouverture complète de la vanne d'air : sur 170 cycles de refroidissement.

Débit d'air : minimum : 800 litres / heure maximum : 2400 litres / heure

Température régulation air dans le réchauffeur : 60°C

Débit pompe à eau : 100 ml / minute de fonctionnement

Température de consigne : 38°C

pH de consigne : 4.0

Solution correctrice de pH : urée à 375 g / litre



Dans ces conditions, la croissance se déroule de la façon suivante (voir figure ci-contre)

Phase de germination : pendant laquelle la température du produit augmente lentement de 30 à 38°, durée 24 heures. Un cycle de refroidissement toutes les deux heures.

Phase d'accélération : Le rythme des cycles s'accélère pendant 3 heures jusqu'à 17 cycles / heure en moyenne.

Phase croissance : pendant 34 heures, avec 500 cycles soit en moyenne 16.5 cycles / heure (un cycle toutes les 3.5 minutes).

Phase de décélération : qui débute donc après 61 heures d'incubation au total.

Suivant l'objectif de la fermentation solide (production de biomasse, de métabolites, d'enzymes), la fermentation peut être poursuivie plus ou moins longtemps. Pour la production d'aliment enrichi en protéines, il convient de stopper après 68 heures environ au total (44 heures de croissance).

L'évolution des concentrations en sucres totaux et sucres réducteurs, de la quantité totale de protéines dans le fermenteur et du temps de fonctionnement des moteurs sont rapportées dans la Figure 11. Le bilan pondéral de la fermentation est schématisé dans la Figure 12. Nous avons établi par le programme VISIPLLOT les graphes représentant la variation de la composition relative du produit au cours de la fermentation (Figures 13A et 13B), ainsi que les consommations d'air comprimé, d'eau et de solution correctrice de pH (Figure 14).

La quantité d'air comprimé utilisée au total, soit 118 m<sup>3</sup> pour 8 kg de farine de bananes (traitement final avec le calcium compris) est proportionnellement beaucoup plus importante que ce qui avait été calculé par l'IRCHA avec le prototype traitant 100 kg poids sec de résidus de féculerie (400 m<sup>3</sup> pour 100 kg). Le scaling-up d'un fermenteur s'accompagne probablement d'une modification importante des paramètres de la fermentation.

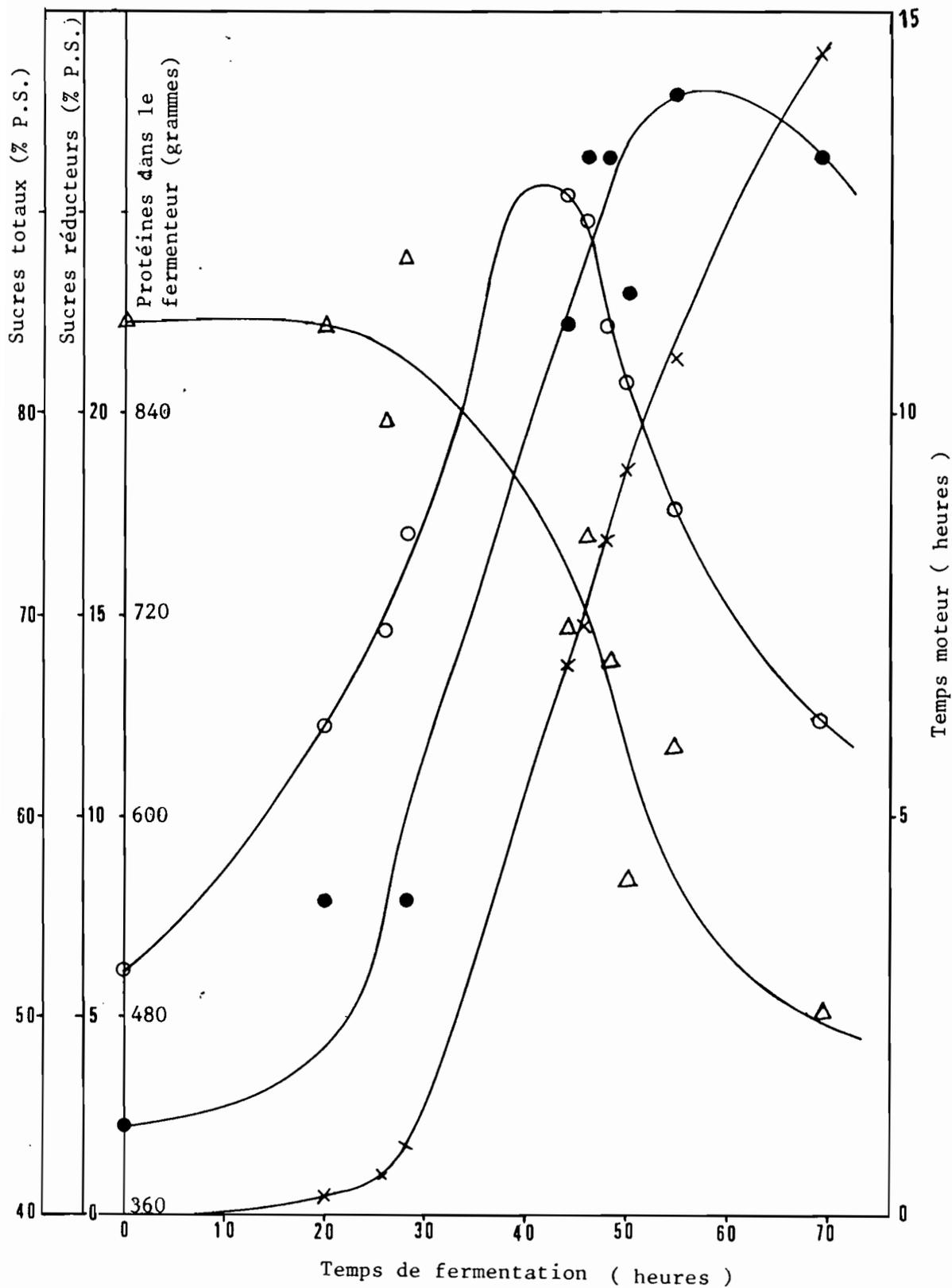


Figure 11 : Evolution des concentrations en sucres totaux et réducteurs, du poids de protéines, et du temps moteur. Essai P24.

$\Delta$ — $\Delta$ , sucres totaux ;  $\circ$ — $\circ$  sucres réducteurs  
 $\bullet$ — $\bullet$ , protéines ;  $\times$ — $\times$  temps moteur.

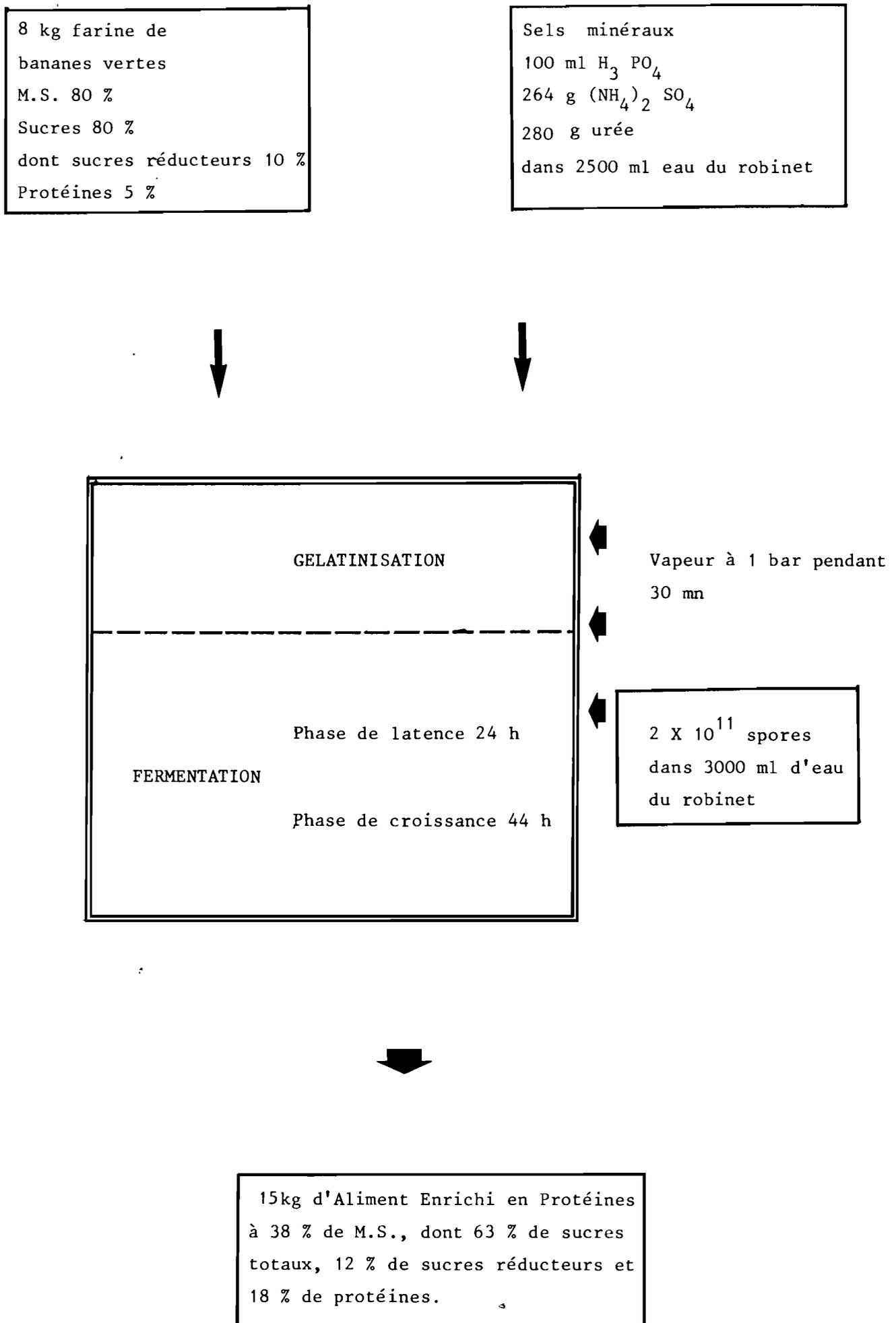


Figure 12: Bilan général de la fermentation solide des écarts de triage de bananes .

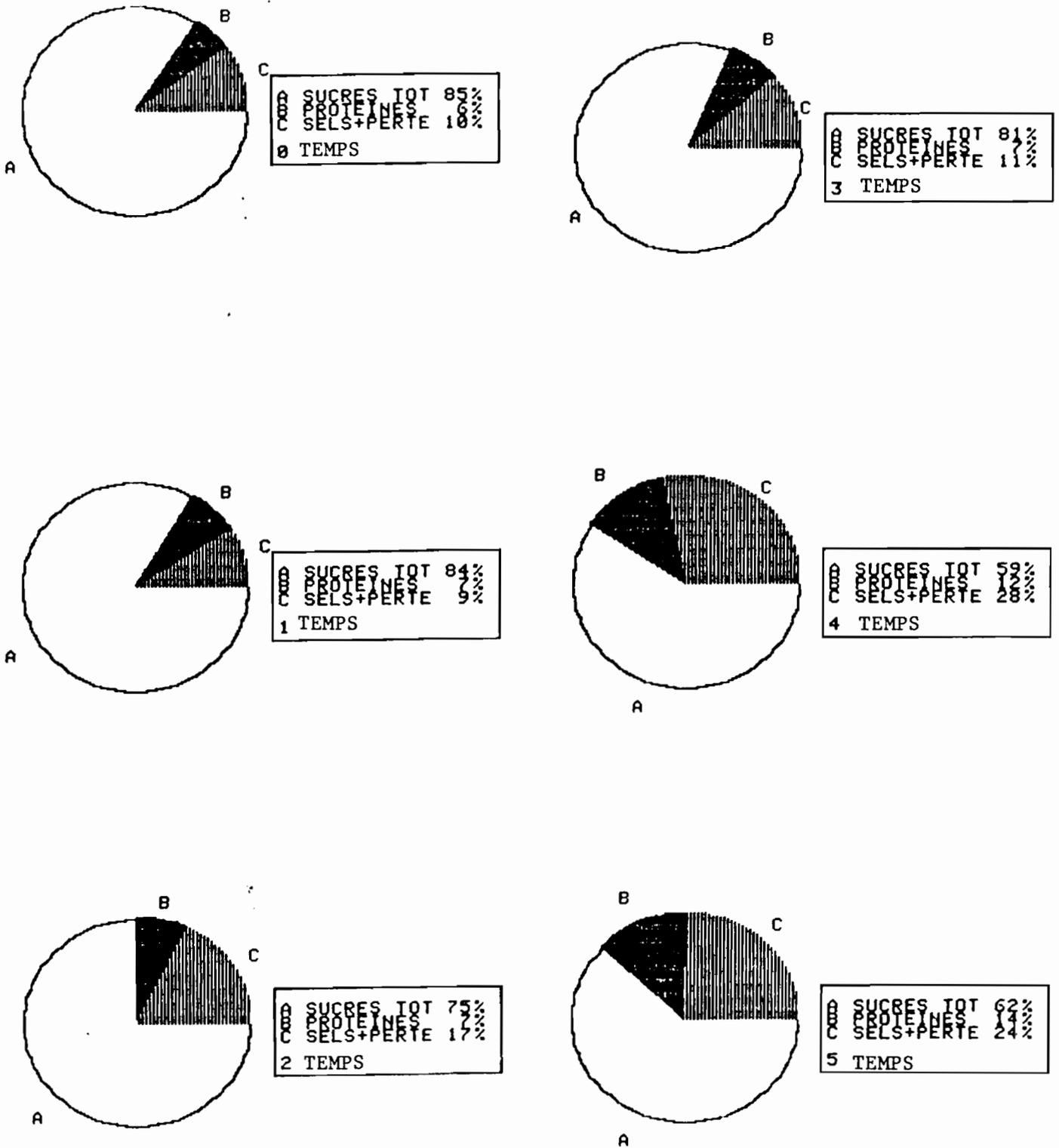


Figure 13A : Evolution de la composition relative du produit au cours de la fermentation solide.

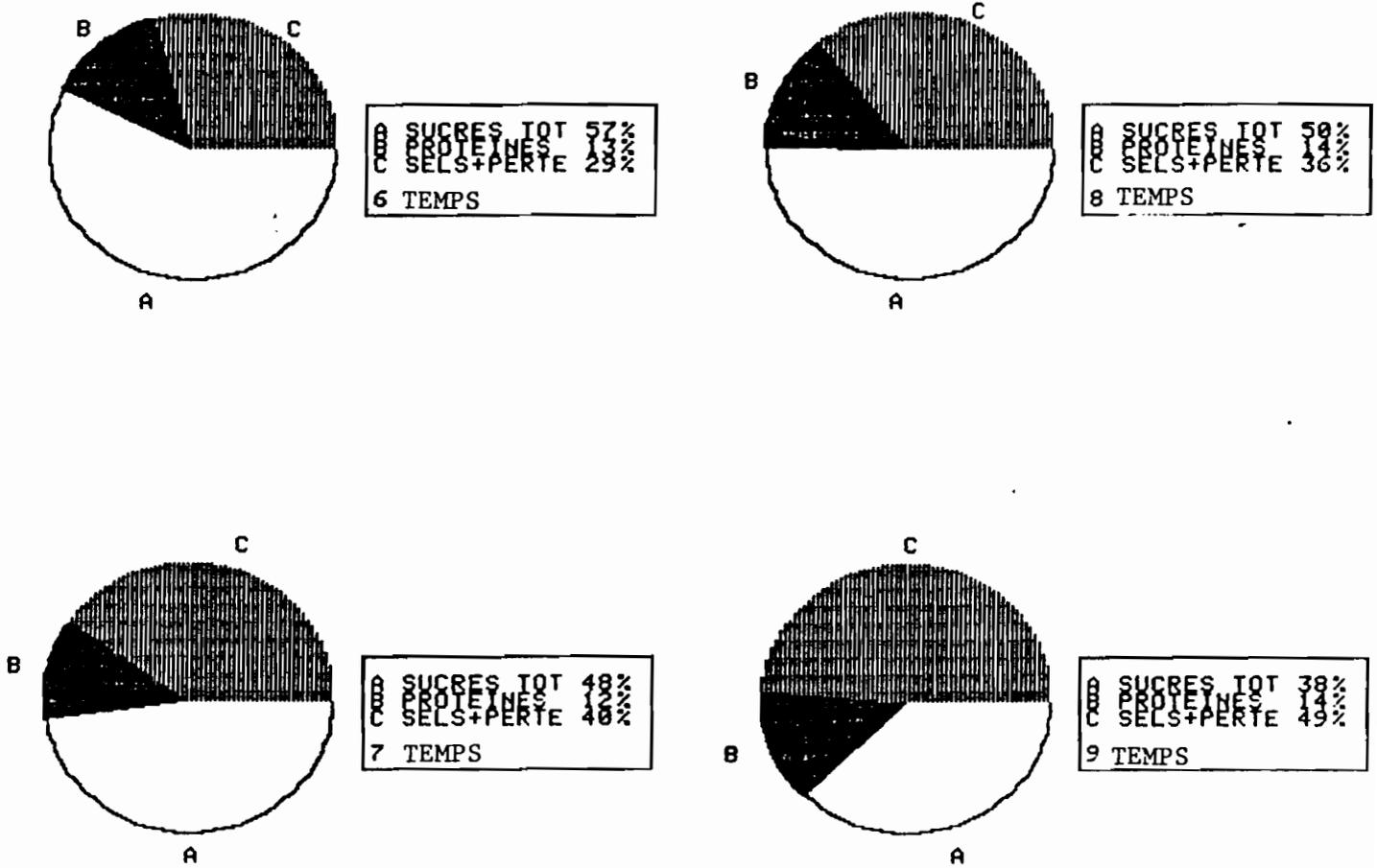


Figure 13 B : Evolution de la composition relative du produit au cours de la fermentation solide.

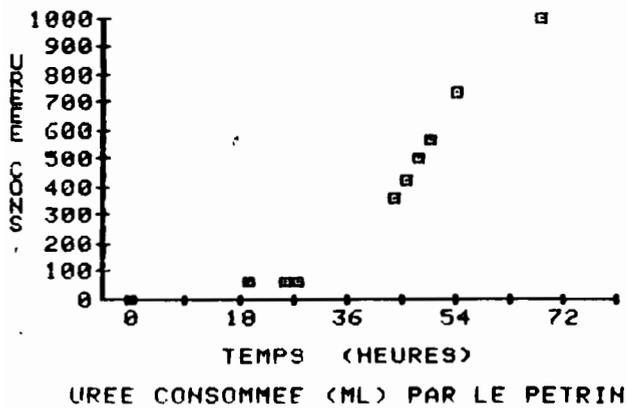
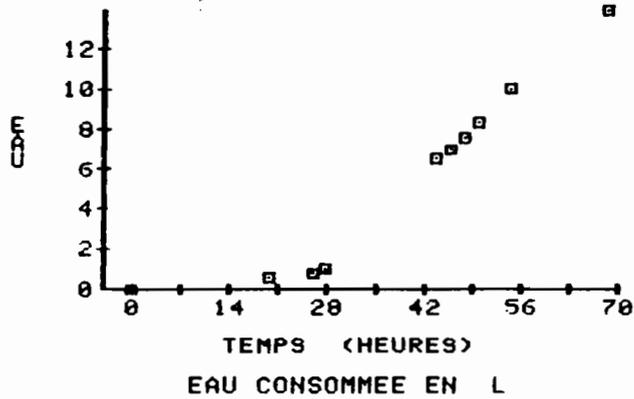
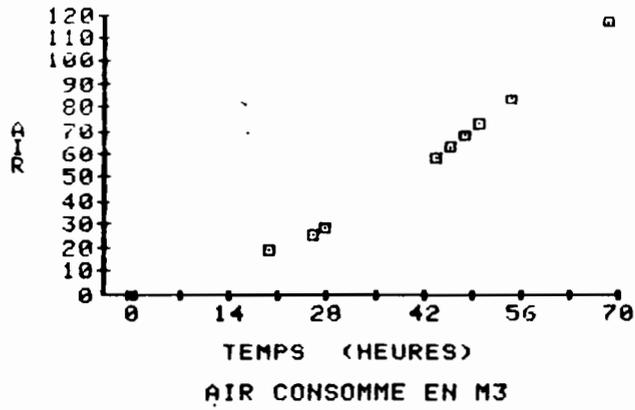


Figure 14: Evolution des consommations d'air comprimé, d'eau et de solution correctrice de pH au cours de la fermentation solide.

La consommation électrique correspondant aux différentes fonctions peut être calculée :

- gélatinisation	9 KWh
- compresseur d'air	22
- moteurs d'agitation	20
	<hr/>
TOTAL	51 KWh

Bien entendu ces consommations relevées pour un prototype traitant 8 kg poids sec de farine ne peuvent être extrapolées directement pour un fermenteur solide de taille industrielle (800 kg), elles indiquent tout au plus des ordres de grandeur. On retrouve là encore l'effet de masse d'un prototype de plus grande capacité. Pour 800 kg poids sec de farine de manioc, la SPEICHIM estimait à 500 KWh l'énergie nécessaire à l'ensemble du process (gélatinisation, aération et agitation).

## ESSAIS DE CONSERVATION DU PRODUIT

En fin de fermentation le produit contient un micro-organisme vivant, des substrats facilement utilisables : il évoluera donc s'il est laissé tel quel à l'air libre. On constate en effet qu'en abandonnant quelques kilogrammes en tas à la température ambiante la fermentation se poursuit et le champignon sporule rapidement à la surface. Il convient donc d'étudier la conservation de l'aliment enrichi en protéines puisqu'il est difficile d'imaginer son utilisation immédiate par un élevage : la constitution d'un stock tampon s'impose en cas de problème technique dans la production.

La solution la plus pratique consiste à le sécher, c'est ce qui avait été fait par l'IRCHA (DESCHAMPS et al. 1982), dans un séchoir du type cylindre tournant où le produit est placé pendant un moment très court dans une atmosphère très chaude (600°), sans que sa température dépasse 80° (séchage "flash"). Ceci permet d'éviter le noircissement et toutes réactions chimiques de type "Maillard" qui dégraderaient les sucres assimilables et les protéines.

Malheureusement ce procédé techniquement fiable nous paraît économiquement inadapté à la production d'aliment pour le bétail, en raison de son prix de revient (voir section "Considérations Economiques" du chapitre "Conclusions"). Nous avons cependant vérifié que le séchage à l'étuve à 90° pendant 48 heures modifie l'aspect et la composition du produit, qui devient très dur et de couleur noirâtre.

Nous avons rapporté le résultat désastreux d'un passage de vapeur en fin de fermentation (voir essai P6) : le produit devient noir, malodorant, caoutchouteux.

Pour conserver toutes les qualités des lots destinés aux essais nutritionnels, nous avons eu recours à la congélation suivie d'une lyophilisation. C'est évidemment une technique idéale mais totalement exclue pour produire des aliments du bétail.

---

Echantillon	P15		P17	
	Frais	Ensilé	Frais	Ensilé
Date	28/02	13/06	15/03	13/06
Protéines	16.5	17.6	24.5	15.6
Sucres totaux	66.0	79.7	40.5	81.7
Sucres réducteurs	28.4	18.3	14.9	16.6

---

Tableau K : Comparaison des compositions des produits P15 et P17 avant et après ensila

Deux essais d'ensilage ont donc été menés, l'ensilage pouvant être une bonne méthode pour conserver un produit relativement humide (60 % d'humidité) et acide (pH 4 environ). Les produits des essais P15 et P17 ont été placés dans des sacs plastiques étanches, scélés, eux-mêmes placés dans des tonnelets de métal fermés hermétiquement. Les résultats sont résumés dans le tableau K.

On constate au désilage une forte odeur d'alcool, les résultats analytiques montrent qu'en moyenne les produits ensilés ont conservé leurs teneurs en protéines. Cet essai d'ensilage sans addition d'agent conservateur ou d'inoculum bactérien est évidemment insuffisant pour conclure à la possibilité de conserver ainsi les produits fermentés, des études supplémentaires sont indispensables.

ESSAI NUTRITIONNEL SUR POST-LARVES DE MACROBRACHIUM ROSENBERGII

Cet essai a été réalisé par D. LACROIX de l'IFREMER du 22 mars au 16 mai 1985 sur deux lots de produit enrichi. Le premier provient de l'essai P15, la récolte après 70 heures d'incubation ayant été lyophilisée après congélation. Ce lot titrait 16.5 % de protéines dans la matière sèche. Sa composition complète est donnée dans la section "Essais en Fermenteur Pilote" de ce chapitre.

Le second lot provient de l'essai P17, la teneur en protéines atteint 24.5 % dans le poids sec de l'échantillon final après 62 heures de culture. La composition complète du produit est donnée dans le tableau correspondant à cet essai. Avant la récolte, le produit de fermentation a été arrosé au spray par une émulsion contenant 60 g de chlorure de calcium, 60 g de phosphate monocalcique et 360 ml d'huile de soja dans 500 ml d'eau. L'objectif de ce traitement est de mieux équilibrer le rapport Ca/P et d'ajouter des lipides nécessaires à la croissance de Macrobrachium rosenbergii. (voir discussion dans la section "Composition de la farine de bananes" ).

Le protocole établi par D. LACROIX peut être résumé de la façon suivante :

- 2 lots de 60 post larves dans chaque aquarium. Poids moyen au départ 0,015 g
- Aliment "Pappi" formulé en Guyane comme contrôle (cet aliment titre 25 % de protéines et 3 % de lipides)
- Aliment enrichi en protéines par fermentation solide "Banor". Du 1er au 25ème jour, lot N° 1 à 16.5 % de protéines, du 25ème au 60ème jour lot N° 2 à 24.5 % de protéines.
- Distribution : selon la même grille mais en arrêtant la distribution en cas de restes trop abondants.

Nous reproduirons ci-dessous in extenso les résultats et conclusions de l'essai tels qu'ils nous ont été communiqués par D. LACROIX.

### Résultats

Nous avons enregistré des mortalités dues à l'engraissement progressif du bulleur de l'un puis l'autre bac. On a dénombré 4 morts dans le bac Banor et 6 dans le bac Pappi mais il est très possible que certains cadavres aient disparu par cannibalisme avant ou après la mort.

Sur les animaux survivants, le poids moyen de bac "Pappi" est plus de 2 fois supérieur à celui du bac "Banor" (0,2 g contre 0,09 g). Cependant, il faut souligner que ce poids moyen reste très faible en regard de ce que l'on obtient habituellement en bassin en terre naturel : entre 0,75 et 1,5 g au bout de 2 mois. Ceci confirme l'importance essentielle de l'alimentation complémentaire dans le milieu naturel.

Les histogrammes de fréquence effectués sur les longueurs des animaux survivants montrent 3 choses :

- 1/ les moyennes sont très nettement différentes avec un net avantage pour l'aliment "Pappi".
- 2/ La dispersion des tailles est déjà forte et d'autant plus marquée que la taille est élevée.
- 3/ Les 2 populations sont nettement bimodales avec déjà un lot de tête marqué et détaché et la plus grande partie de la population.

### Conclusions

L'aliment "Banor" ne semble pas bien adapté aux besoins nutritionnels du M.r en aquarium et en tous cas inférieur à l'aliment classique "Pappi". Cependant les conditions sont tellement différentes du milieu naturel qu'on ne peut conclure définitivement surtout que la survie semble sensiblement meilleure avec le "Banor" qu'avec "le Pappi". Il serait souhaitable de reprendre l'expérimentation en bassin en terre avec le Banor en complément plus ou moins important d'un aliment classique.

N° 83.L.0930

Action CORDET

Thème : Coopération pour le Développement dans les DOM-TOM

CONCLUSIONS GENERALES

## L'ECHELLE PILOTE ET LE SCALING-UP

Le prototype utilisé qui a été conçu par l'IRCHA (DESCHAMPS et MEYER, 1979 et DESCHAMPS et al., 1980) permet la croissance d'Aspergillus niger sur farine d'écartés de bananes. Le produit enrichi en protéines (coefficient d'enrichissement 2,38) pourrait convenir à l'alimentation animale, sous réserve d'études supplémentaires (voir plus loin). Mais le problème principal est peut-être de démontrer la faisabilité technique à l'échelle commerciale (au moins 500 kg poids sec par cycle de fermentation), ce qui n'a pas été fait. Dans le rapport de fin d'étude de pré-développement, étude réalisée avec un résidu industriel sec très différent dans sa composition (pulpe de pomme de terre épuisée en amidon), l'IRCHA concluait à l'impossibilité d'extrapoler le mélangeur-pétrin au-delà de 100 à 150 kg poids sec (DESCHAMPS et al., 1982). La SPEICHIM (Société pour l'Équipement des Industries Chimiques) devait s'associer alors au groupe ORSTOM-IRCHA pour mettre au point un autre type de réacteur, mais à notre connaissance les études n'ont pas abouti.

Qui plus est, la SPEICHIM a considéré lors d'une réunion tenue à la demande de l'ORSTOM au Ministère de la Recherche et de la Technologie les 22 et 23 janvier 85 que le marché des aliments du bétail n'est plus assez porteur pour les procédés de production de biomasse de micro-organismes.

L'ORSTOM ne pouvant seul entreprendre une étude scaling-up, la suite du présent travail dépendra de l'intérêt que d'éventuels partenaires nouveaux porteront à la production de protéines par fermentation en milieu solide.

### QUALITE NUTRITIONNELLE DU PRODUIT FERMENTE

Nous avons déjà vu que les besoins en minéraux du microorganisme utilisé pour la fermentation solide peuvent poser des problèmes nutritionnels pour les animaux cibles auxquels serait destiné le produit final de la fermentation (AFEP).

Des essais ont été menés par l'INRA (CONAN et al., 1982) dont les conclusions sont :

"Les effets défavorables sont plus prononcés chez le poussin que chez le rat. Dans leur état actuel, les produits A (AFEP bananes souche 10) et B (AFEP bananes souche 140) seraient probablement mieux valorisés par un mammifère comme le porc que par les volailles. Même chez le rat, les 2 produits ont une valeur nutritionnelle médiocre. Effet dépressif sur la croissance, énergie digestible moyenne". Leur commentaire indique "les effets dépressifs des AFEP peuvent donc provenir, soit d'une mauvaise disponibilité des protéines, soit de substances plus ou moins toxiques présentes... On peut s'interroger sur la fraction minérale (potassium) des produits testés."

Nous avons déjà discuté de la composition minérale que nous utilisons et de l'importance de la collaboration d'un zootechnicien (collaboration prévue dans le cadre de l'accord qui devrait être signé avec le CITA au Costa Rica). Nous répétons que la banane contient des quantités importantes de potassium ce qui est considéré comme défavorable par l'INRA (voir plus haut).

La voie qui semble la plus prometteuse est l'utilisation des AFEP pour l'alimentation des post larves de Macrobrachium rosenbergii. Les conclusions du rapport (D. LACROIX, 1985) nous laissent optimistes. En effet, le potassium est soluble dans l'eau, ce qui rend caduque un des principaux problèmes mentionnés ci-dessus. De plus, dans le cadre de l'accord qui devrait être signé entre l'ORSTOM et le CITA, des essais de toxicologie (mycotoxines et alcaloïdes), et de formulation des AFEP sont prévus. De plus, l'ASBANA (Asociacion bananera nacional) du Costa Rica s'est déclaré intéressée par l'utilisation éventuelle de ces AFEP.

Quoiqu'il en soit la qualité nutritionnelle des produits enrichis en protéines par fermentation en milieu solide reste à démontrer.

CONSIDÉRATIONS ECONOMIQUES

Nous avons vu plus haut qu'il est hasardeux d'évaluer les dépenses en énergie liées au procédé de fermentation lui-même, les mesures de consommation électrique faites à Fort-de-France sur petit pilote étant largement supérieures aux estimations de l'IRCHA ou de la SPEICHIM. Quoiqu'il en soit, il apparaît d'après le calcul ci-dessous que le séchage des écarts de bananes serait, du point de vue énergétique, le poste de loin le plus onéreux.

On estime actuellement qu'il en coûterait environ 10 F / Kg pour produire une farine à 90 % de matière sèche par les procédés classiques (séchoir à tambour). Compte tenu du prix non nul des écarts (vendus 0,40 F / Kg à la plantation), le bilan s'établit comme suit :

1,25 T farine à 11 F / Kg	13 750 F
Coût procédé (hors amortissement et main d'oeuvre )	155 F
	<hr/>
	13 905 F

pour produire 1 tonne d'aliment fermenté titrant 20 % de protéines.

Le même type d'aliment formulé en Martinique à partir de céréales et de tourteaux est vendu 3 500 F / tonne. Le coût d'un second séchage pour conservation n'a pas été pris en compte, pas plus que l'amortissement et la main d'oeuvre qualifiée indispensable.

En faisant le calcul à l'envers, on peut estimer la part qu'il serait possible de consacrer à ces deux postes : 1000 F / tonne pour le substrat amylicé sec (prix international de l'amidon), 3500 F / tonne de prix de revient, il reste 450 F / tonne soit 225 000 F pour une production de 500 T / an qui correspond à l'engraissement de 100 porcs.

Il ressort de ces calculs très théoriques que seul un procédé très rustique a des chances de passer la barre économique compte tenu des cours mondiaux actuels des protéines pour aliment du bétail. La rusticité n'est évidemment pas la caractéristique première du procédé que nous avons décrit dans le rapport.

PERSPECTIVE DE SUITE A CE TRAVAIL

L'importance des tonnages d'écarts de bananes dans les grands pays producteurs est une puissante motivation pour toute étude visant à les valoriser. C'est pourquoi le présent travail a été conduit par l'ORSTOM avec l'aide de la CORDET, même si les conditions économiques très particulières des DOM laissaient au départ peu d'espoir d'aboutir à une application rentable, sans subvention.

Cependant, un département français d'Outre-Mer était un cadre approprié pour approfondir in situ nos connaissances sur la fermentation solide des substrats tropicaux, et sur les écarts de bananes en particulier. L'investissement fait à cette occasion par l'ORSTOM et le Ministère pourrait être rentabilisé si un procédé était mis au point, même si celui-ci n'était en premier lieu appliqué que dans des pays étrangers.

C'est pourquoi l'ORSTOM a décidé de l'associer au CITA (Centro de Investigaciones en Tecnología Alimentaria), institut de l'Université du Costa-Rica à San Jose, qui a manifesté son intérêt pour ce travail, afin d'en compléter les résultats.

De la même façon l'ICAITI (Instituto Centro Americano de Investigacion y Tecnología Industrial) a entrepris en 1984 une étude d'application du procédé ORSTOM-IRCHA aux écarts de bananes. Les résultats consignés dans ce rapport serviront de base à ces équipes.

Enfin l'ORSTOM poursuit depuis 4 ans, en collaboration avec l'UAM de Mexico, un programme de recherche sur les fermentations solides de substrats tropicaux : dans les années qui viennent ce thème sera donc soutenu par l'ORSTOM en tant que recherche expérimentale pour le développement .

N° 83.L.0930

Action CORDET

Thème : Coopération pour le Développement dans les DOM-TOM

BIBLIOGRAPHIE

- ALAZARD, D., et RAIMBAULT, M., 1981. Comparative study of amylolytic enzymes productions by Aspergillus niger in liquid and solid-state cultivation. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 12, 113-117.
- BALDENSPERGER J., HANNIBAL L., LE MER J., QUINTO P.J., 1984. Expérimentation d'un séchoir solaire en Martinique. C.R. fin d'étude Convention Région Martinique-ORSTOM, ° 83-10-1, 92 pages + additif juin 85 12 pages. ORSTOM Fort de France.
- BALDENSPERGER, J., QUINTO P.J., 1985. C.R. d'expérimentation du séchoir solaire M5003 à Fort-de-France. Convention ORSTOM-CEEMAT. 29 pages. ORSTOM Fort de France.
- BRANCKAERT, R. et LECOQ, J., 1971. L'utilisation des bananes douces dans l'engraissement du porc. Premiers résultats. Fruits, 26, 15-20.
- CHUNG, S.L., et MEYERS, S.P., 1979. Bioprotein from banana wastes. In "Developments in Industrial Microbiology", 20, 723-732.
- COCKER, R., et GREENSHIELDS, R.N., 1977. Fermenter cultivation of Aspergillus. pp 371 in "Genetics and Physiology of Aspergillus", Ed. SMITH et PATEMAN, Academic Press.
- CONAN, L., LESSIRE, M., LECLERCQ, B., 1982. Rapport d'expérimentation : évaluation de la valeur alimentaire de 3 produits. 9 pages, INRA, document multigraphié.
- DESCHAMPS, F. et MEYER, F., 1979. Nouveaux fermenteurs pour fermentation en milieu solide. Brevet 79.02.625.
- DESCHAMPS, F., PREBOIS, J.P., et MEYER, F., 1980. Etude technologique, sur une unité pilote, de systèmes de contrôle et de régulation des fermentations en milieu solide. Préparations d'échantillons en vue d'essais de nutrition animale. C.R. fin d'Etude financée par la DGRST, N° 79.7.0329, 22 Pages, IRCHA - Vert-le-Petit.
- DESCHAMPS, F., PREBOIS, J.P., RAIMBAULT, M., AUFEUVRE, M., ANSART, M., MANGUIN, H., et COMPAIN, F., 1982. Enrichissement en protéines de pulpes de féculerie par fermentation en milieu solide. C.R. fin d'Etude financée par le Ministère de l'Industrie, Convention 79.2.34.0510, 75 pages, IRCHA. Vert-le-Petit.
- LACROIX, D., 1985. Test de 2 aliments "Pappi" et "Banor" pour la nutrition de post-larves de Macrobrachium rosenbergii. Guyane, Aquaculture, 6 pages, document multigraphié.
- LASSOUDIÈRE, A., et GODEFROY, J., 1971. Intérêt de l'utilisation en bananeraie des écarts de conditionnement des régimes de bananes. Fruits, 26, 255-262.
- LE DIVIDICH, J., SEVE B., et GEOFFROY, F., 1976. Préparation et utilisation de l'ensilage de banane en alimentation animale. I. Technologie de l'ensilage, composition chimique et bilans des matières nutritives. Ann. Zootech., 25, 313-323.
- LORBERT, S., 1978. Aerobic fermentation of banana pulp by Aspergillus fumigatus. Proc. Ann. Biochem. Eng. Symp., 8, 54-65.
- LOWRY, O.H., ROSEBROUGH, N.J., FARR, A.L., et RANDALL, R.J., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem., 103, 265-275.

- MILLER, G.L., 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 31, 426-428.
- PITT, D., et POOLE, P.C., 1981. Calcium-induced conidiation in Penicillium notatum in submerged culture. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 76, 219-230.
- PREBOIS, J.P., 1980. Enrichissement en protéines de la banane par fermentation en milieu solide. Rapport interne IRCHA., 8 pages, Centre de Recherches IRCHA. Vert-le-Petit.
- RAIMBAULT, M., et ALAZARD, D., 1978. Enrichissement en protéines des écarts de triage de banane par fermentation en milieu solide. C.R. fin d'étude financée par DGRST, Action POU, N° 75.7.0221. 29 pages, ORSTOM Paris.
- RAIMBAULT, M., et ALAZARD, D., 1980. Culture method to study fungal growth in solid fermentation. *European J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 9, 199-209.
- SETHI, R.P., et GRAINGER, J.M., 1978. Solid fermentation of banana to produce animal feed. *J. Appl. Bact.*, 45, XX-XXI.
- SEVE, B., LE DIVIDICH, J., et CANOPE, I., 1976. Préparation et utilisation de l'ensilage de banane en alimentation animale. II. Incorporation dans la ration du porc en croissance-finition. *Ann. Zootech.*, 25, 325-335.
- UYENCO, F.R., et CAYABYAB, V.A., (non daté). Utilization of Cavendish banana fruit rejects for poultry feeds at the village level. Document multigraphié, 15 pages.
- VILES, F.J., et SILVERMAN, L., 1949. Determination of starch and cellulose with anthrone. *Anal., Chem.*, 21, 950-953.