

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 590 903

②1 N° d'enregistrement national :

85 17934

⑤1 Int Cl⁴ : C 12 M 1/18.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 4 décembre 1985.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 23 du 5 juin 1987.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Etablissement public dit : INSTITUT
NATIONAL DE RECHERCHE CHIMIQUE APPLIQUEE et
Etablissement public dit : INSTITUT FRANCAIS DE RE-
CHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN
COOPERATION. — FR.*

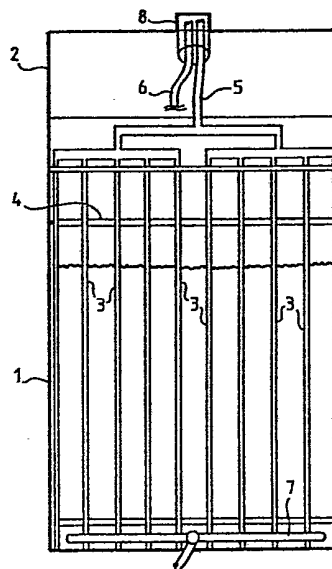
⑦2 Inventeur(s) : Jean-Pierre Prebois, Maurice Rimbault et
Sevastianos Roussos.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Rinuy et Santarelli.

⑤4 Fermenteur perfectionné pour milieux solides.

⑤7 Ce fermenteur est du type statique pour milieux solides et
est constitué d'une enceinte 1 destinée à recevoir le milieu de
culture et, à l'intérieur de cette enceinte, au moins deux
compartiments séparés par au moins une paroi faisant office
d'échangeur de chaleur 3, le fond de chaque compartiment
comportant au moins un élément faisant office de diffuseur de
gaz 7, alors que le haut de chaque compartiment est en libre
communication avec le volume libre de ladite enceinte, laquelle
présente éventuellement un élément de fermeture 2 suscep-
tible d'être lui-même mis en communication avec l'extérieur.



FR 2 590 903 - A1

D

La présente invention concerne des perfectionnements apportés aux fermenteurs utiles notamment pour la mise en oeuvre de procédés de fermentations utilisant la croissance de micro-organismes sur des milieux de culture solides sous forme particulière, et en particulier des perfectionnements apportés aux fermenteurs du type statique dans lesquels le milieu de fermentation ne se trouve pas soumis à une agitation, par des moyens mécaniques, en cours de traitement ou de transformation.

On sait que, dans un processus de fermentation du type rappelé ci-dessus, l'opération comporte deux phases principales, à savoir une phase de germination des spores et une phase de croissance mycélienne. Pendant la phase de germination des spores ainsi qu'au début de la phase de croissance mycélienne, il faut généralement apporter des calories pour maintenir la température à un niveau optimum et pendant la phase exponentielle de croissance et de ramification du mycélium correspondant à la phase de multiplication active de ce mycélium, il faut retirer des calories au milieu de culture du fait qu'on assiste à une réaction fortement exothermique.

Il en résulte que le facteur température constitue un des paramètres sur lequel il y a lieu d'intervenir au cours de l'opération en régulant et contrôlant ce paramètre.

Au surplus, il y a lieu de contrôler et réguler le débit d'air nécessaire à un bon déroulement de la fermentation. Ce débit d'air représente aussi un paramètre important.

Sans vouloir entrer dans le degré d'importance des différents paramètres dont il faut tenir compte dans ce type de fermentation, on peut dire, de façon générale, qu'un fermenteur approprié devra comporter :

- des moyens de régulation et de contrôle de la température ;

- des moyens de régulation et de contrôle de l'aération ;

- des moyens de mesure de l'oxygène et/ou du CO₂ provenant de la réaction.

On peut, bien entendu, envisager d'autres régularisations et contrôles en réponse à d'autres mesures qui seraient faites, l'influence de tous ces paramètres étant parfaitement connus. Ils n'entrent dans le cadre de la présente invention que pour autant que le fermenteur qui en fait l'objet comportera une combinaison originale et nouvelle de ces moyens permettant d'agir sur ces différents paramètres connus.

Ainsi, l'invention couvre un fermenteur de type statique caractérisé par le fait qu'il est constitué d'une enceinte destinée à recevoir le milieu de culture et, à l'intérieur de cette enceinte, au moins deux compartiments séparés par au moins un élément faisant office d'échangeur de chaleur, le fond de chaque compartiment comportant au moins un élément faisant office de diffuseur de gaz, alors que le haut de chaque compartiment est en communication avec le volume libre de ladite enceinte, laquelle présente éventuellement un élément de fermeture susceptible d'être lui-même mis en communication avec l'extérieur.

Suivant un mode de réalisation possible et avantageux d'un tel fermenteur :

- les parois faisant office d'échangeur de chaleur et se faisant face sont constituées par des radiateurs à circulation d'un fluide approprié et dont les conduites d'admission et d'évacuation traversent ledit élément de fermeture de ladite enceinte ;

- le fluide servant d'agent d'échange thermique est de préférence de l'eau ;

- les éléments de fond servant de diffuseur sont constitués par des parois à perforation en communication avec des moyens d'admission d'un gaz, de préférence de l'air, de l'air enrichi en oxygène ou de l'oxygène.

5 Suivant d'autres caractéristiques le fermenteur selon l'invention comporte :

- au moins une sonde servant à la détermination de la température du milieu de fermentation ;

10 - au moins un dispositif de régulation de l'échange thermique entre lesdites parois échangeuses de chaleur et ledit milieu de fermentation dans chaque compartiment ;

- au moins un dispositif de régulation du débit du fluide admis dans le fond diffuseur de chaque

15 compartiment ;

- au moins un poste de commande des différents dispositifs agissant en fonction de l'évolution de la fermentation.

20 Suivant un mode de réalisation possible et avantageux :

- le paramètre température mesuré par la sonde de température contrôle la température et le débit de circulation du fluide dans les parois d'échange de

25 chaleur lorsque celles-ci sont constituées par des radiateurs ;

- un dispositif de mesure de la teneur en CO₂ est prévu dans le volume libre en communication avec chaque compartiment, ce dispositif agissant par tout

30 moyen approprié sur le débit du gaz amené dans les diffuseurs au fond de chaque compartiment.

D'autres caractéristiques et les avantages de l'invention ressortiront plus clairement de la description qui va suivre, faite en regard des dessins

35 annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de face d'un fermenteur selon l'invention muni de dix compartiments séparés ;

- la figure 2 est une vue de côté du fermenteur illustré à la figure 1 ;

5 -la figure 3 est une vue schématique d'ensemble d'un fermenteur selon l'invention équipé de tous ces accessoires ;

10 - les figures 4, 5 et 6 représentent des courbes cinétiques d'évolution de différents paramètres au cours d'opérations de fermentation effectuées avec différents micro-organismes sur différents milieux.

15 En se référant à ces dessins, on décrira un fermenteur et une installation selon l'invention dans leurs éléments constitutifs avec en cours de description, la fonction et le rôle joués par chacun de ces éléments.

20 Un fermenteur selon l'invention est constitué d'une cuve rectangulaire (1) surmontée d'un couvercle (2) muni d'un conduit (8) permettant le passage des différents fluides (circuit d'eau (5) et (6) et évacuation des gaz (10). A l'intérieur de la cuve (1) sont placés, dans l'exemple de réalisation illustré ici, dix radiateurs (3) espacés par des entretoises (4). Chaque radiateur est raccordé à une arrivée d'eau (6) et
25 à une sortie d'eau (5). L'ensemble des radiateurs montés avec les entretoises est solidaire. Cet ensemble est introduit à l'intérieur de la cuve (1).

30 L'arrivée et la sortie des radiateurs (5 et 6) sont raccordées à un bain-marie régulé en température grâce à une résistance chauffante et un groupe frigorifique autonomes (26). Pour éliminer davantage de calories pendant la phase de croissance très exothermique, un échangeur (27) placé sur le circuit de retour d'eau au bain-marie est mis en service par une
35 électrovanne (25) commandée par une sonde de température

(22) placée au sein du produit fermenté. Cette sonde, par l'intermédiaire de l'organe de commande approprié qui lui est associé (23), déclenche l'électrovanne (25) lorsque la température atteint un point de consigne donné. Un enregistreur (24) permet de suivre en continu, 5 l'évolution de la température du produit.

Dans le bas de la cuve, se trouve une série de rampes d'aération (7). Chaque rampe est placée au milieu du compartiment délimité par deux radiateurs successifs ; elle a une longueur égale à celle du compartiment. 10 Chaque rampe d'aération traverse la paroi frontale de la cuve jusqu'à la paroi opposée et est raccordée à une vanne manuelle (9) qui sert à faire varier le débit d'air envoyé dans la rampe. Un débitmètre (13) peut être intercalé entre chaque vanne et sa rampe correspondante, 15 pour mesurer ce débit.

L'ensemble des vannes est relié au circuit général (12) d'air comprimé. Ce circuit comporte un humidificateur réglé en température (14), un rotamètre de débit général (15), une vanne (16) et un manomètre 20 détenteur (17) qui le relie au circuit d'air comprimé (18).

A l'intérieur du couvercle du fermenteur (2) est placée une sonde d'échantillonnage (10) permettant le prélèvement en continu d'une portion des gaz à la 25 sortie du produit fermenté (11) (voir figure 2). Cette sonde, par l'intermédiaire d'une pompe (19), est raccordée à un analyseur de CO_2 (20) et reliée à un enregistreur (21). Ceci permet de connaître en permanence le pourcentage de CO_2 dans l'air de sortie du 30 fermenteur et de réguler le débit d'aération à l'entrée du fermenteur.

Le remplissage du fermenteur se fait, le couvercle étant soulevé, en garnissant chaque compartiment avec le milieu de culture préconditionnée. 35 Ceci peut être réalisé à l'aide d'une vis de transfert

souple (non représentée), laquelle peut également servir à la préparation du milieu puisqu'il est possible non seulement d'homogénéiser mais de chauffer, de refroidir, d'incorporer les sels et des spores de façon homogène. Le couvercle est ensuite fermé et les différents circuits de contrôle sont connectés (aération, circuit de régulation de température et sondes diverses).

En fin d'opération, on déconnecte les circuits de contrôle et on enlève le couvercle. On sort alors de la cuve (1) l'ensemble des radiateurs (3) et le produit fermenté. En effet, ce dernier ayant pris en masse, il est retenu en bloc entre deux radiateurs. Une fois sorti de la cuve, le produit fermenté est récupéré en exerçant une légère pression sur la partie supérieure. Le fermenteur objet de la présente invention est applicable pour la mise en oeuvre de différents procédés de fermentation utilisant la croissance de micro-organismes sur les milieux solides, en vue de la production de biomasse de métabolites ou de spores, en particulier celui décrit dans le brevet français N° 76 06 677 déposé le 9 mars 1976 et son addition N° 78 06 441 qui décrivent un procédé permettant la culture de champignons filamenteux sur substrat solide et en particulier l'enrichissement en protéines de substrats. L'ensemble des enseignements de ces brevets concernant le conditionnement et la mise en oeuvre de la fermentation en milieu solide est incorporé ici par référence.

Le substrat par exemple préconditionné, selon les enseignements du brevet N° 76 06 677 contenant les sels ainsi que les spores du champignon, est réparti uniformément à l'intérieur de chaque compartiment du fermenteur.

Les exemples d'application ci-après ne sont nullement limitatifs et ne sont donnés qu'à titre d'illustration ; ils ont été réalisés dans un fermenteur

objet de la présente invention. La cuve (1) avait les dimensions suivantes : 0,50 x 0,40 x 0,65 m. Dans cette cuve étaient placés dix radiateurs (3) espacés de 5 cm et ayant chacun une épaisseur hors tout de 4,6 mm.

Exemple 1

5 Le substrat : 20 kg de pulpe de pomme de terre, résidus de féculerie, obtenu en petits grains de 1 à 5 mm de diamètre et à 10 % d'humidité.

La souche : un champignon filamenteux amylolytique *Aspergillus hennebergii* du groupe A. niger
10 a été utilisé. L'inoculation du milieu se fait avec une quantité de 2×10^7 spores/g de substrat sec.

La solution saline : la composition de la solution saline pour 20 kg de substrat sec est la suivante : $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$, 520 g ; urée, 480 g ; KH_2PO_4 ,
15 500 g. Eau 11 litres ; $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ q.s.p. pH = 2,2.

Conditionnement : le but de cette étape est de préparer le milieu de culture pour assurer un parfait développement du champignon. En particulier il est absolument nécessaire de gélatiniser l'amidon afin de le
20 rendre plus accessible aux enzymes amylolytiques. L'apport également d'un complément en azote, phosphore et potassium est indispensable pour une bonne croissance du micro-organisme. Enfin le milieu est amené à 40 % d'humidité avec 11 litres d'eau dans lesquels sont
25 dissous les sels.

Après mélange de cette solution avec le substrat, l'ensemble homogénéisé est porté à 110°C pendant deux heures.

Inoculation : Après refroidissement le produit
30 est inoculé avec 13 litres d'une suspension contenant $5,4 \times 10^{11}$ spores. Ce volume important de la suspension permet une parfaite répartition des spores dans le milieu de culture. A ce stade, le produit ainsi inoculé se trouve à 60 % d'humidité et à pH = 3,8 qui sont les
35 conditions requises pour un développement optimum du micro-organisme.

Début de fermentation : le produit homogène ainsi obtenu est uniformément réparti dans chaque compartiment du fermenteur ; il atteint une hauteur de 45 cm/compartiment. Afin de l'amener rapidement à la température de consigne (35°C) on fait circuler de l'eau
5 chaude (45°C) dans les radiateurs.

Le débit initial de l'air, saturé en eau à 35°C, est de 100 l/h/kg. La mesure du taux de CO₂ se fait en continu, pendant toute la fermentation, en prélevant un débit de 5 l/h dans le flux sortant du
10 fermenteur.

Déroulement de la fermentation : le produit est maintenu à 35°C grâce à une circulation d'eau dans les radiateurs provenant d'un bain-marie régulé. Lorsque la croissance du mycélium atteint la phase exponentielle
15 exothermique, l'élimination des calories excédentaires est obtenue au moyen d'un échangeur thermique placé sur le circuit de retour au bain-marie. Cet échangeur est mis en service grâce à l'électrovanne commandée par la sonde thermique placée au sein du produit. Son
20 fonctionnement intervient à partir du dépassement de la valeur de température de consigne du produit. De sorte que la température du milieu de culture ne dépasse jamais 40°C.

Après la période de germination des spores, le
25 débit d'air est augmenté progressivement pour atteindre une valeur de 400 l/h/kg de substrat. Ce débit est maintenu alors constant jusqu'à la fin de la fermentation.

On peut constater, grâce à l'enregistrement en
30 continu du taux de CO₂ produit que celui-ci n'a jamais dépassé les valeurs de 1,5 % au cours de la fermentation. Il semble donc qu'une aération de 400 l/h/kg de substrat soit suffisante pour assurer un parfait développement du micro-organisme.

35

Afin de suivre l'évolution de différents paramètres au cours de la fermentation, on peut procéder à des prélèvements dans la masse du produit. Ceux-ci renseignent sur l'évolution du pH, de l'humidité, des protéines, sucres libres, sucres totaux présents dans le milieu.

Exemple 2

Le substrat : mélange de 10 kg de bagasse de canne à sucre et de 2 kg de son de blé, obtenu en petits brins inférieurs à 3 mm de longueur et à 5 % d'humidité.

La souche : un champignon filamenteux cellulolytique *Trichoderma harzianum* a été utilisé. L'inoculation du substrat se fait avec une quantité de 3×10^7 spores/g de substrat sec.

La solution saline : la composition de la solution saline pour 12 kg de substrat sec est la suivante : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1,170 g ; urée, 282 g ; KH_2PO_4 , 600 g ; eau, 18 litres ; pH = 4,4.

Le conditionnement : l'humidité du produit est amenée à 60 % en mélangeant le substrat et la solution saline. Un prétraitement à la chaleur (autoclave 4 h à 110°C) du mélange ainsi obtenu permet d'améliorer l'accessibilité de la cellulose aux enzymes cellulolytiques et de faciliter la culture de *T. harzianum*.

L'inoculation : après refroidissement, le substrat prétraité est inoculé avec 14 litres d'une suspension de $3,6 \times 10^{11}$ spores de *T. harzianum*. A ce stade, l'humidité du substrat inoculé se trouve à 72 % d'humidité et à un pH = 5,6 qui sont les conditions requises pour un développement optimum du micro-organisme.

La fermentation : le substrat uniformément inoculé est réparti dans chaque compartiment du fermenteur ; il atteint une hauteur de 55 cm / compartiment. La fermentation aérobie est obtenue par

passage continu d'un flux d'air humidifié à travers la masse du substrat ; la température de consigne est de 29°C ; la fermentation est arrêtée après 48 heures.

Résultats

Sur les tableaux I et II ci-après sont rapportés les résultats des analyses concernant les exemples d'application qui ont été décrits ci-dessus.

Exemple 1

La teneur en eau du produit évolue de 60 à 68% en 30 heures de culture avec une augmentation de type exponentiel. Cette augmentation est liée à l'activité respiratoire du champignon (voir figure 4). Cette figure illustre, par des courbes, en portant en abscisses le temps en heure et en ordonnées le pourcentage d'humidité, le pH et le pourcentage de CO₂, la cinétique de l'évolution de ces trois paramètres au cours de la culture de *A. hennergii* sur pulpe de pomme de terre en fermenteur statique. La courbe A correspond à l'évolution de l'humidité, la courbe B à celle du pH et la courbe C à celle du taux de CO₂.

Après 30 heures de fermentation, la teneur en protéines vraies d'un résidu de féculerie de pomme de terre passe de 5 à 15 % et sa teneur en glucides de 75 à 44 % (voir figure 5). Cette figure illustre, par des courbes, en portant en abscisses le temps en heures et en ordonnées la consommation des sucres totaux, la libération des sucres réducteurs et la production de protéines, la cinétique de ces trois paramètres au cours de la culture de *A. hennergii* sur pulpe de pomme de terre en fermentation statique. La courbe D correspond à la consommation des sucres totaux, la courbe E à la libération des sucres réducteurs et la courbe F à la production de protéines.

Le pH reste stable pendant les dix premières heures. Sa valeur initiale est de 3,8 ; elle augmente ensuite pour atteindre un palier de 5,5. Cette

augmentation est due principalement à l'hydrolyse de l'urée. Il redescend ensuite progressivement pendant la période de la croissance maximum du mycélium (voir figure 4).

5 Cette figure donnant l'évolution du pourcentage du CO_2 en fonction du temps d'incubation montre qu'après une latence de 4 heures, on observe une phase d'accélération, suivie d'une croissance exponentielle avec un temps de doublement de 2 heures. Après 16 heures d'incubation, un palier est atteint.

10 L'étude de la croissance en milieu solide, grâce à la mesure de la vitesse de production de CO_2 , présente de très nombreux avantages. Elle permet de mesurer directement le taux de croissance spécifique et l'évolution cinétique sur un même échantillon tout au
15 long de la période d'incubation, et cela sans apporter de perturbations au fermenteur.

Exemple 2

La figure 6 montre l'évolution cinétique des différents paramètres qui ont été étudiés au cours de la
20 croissance de *T. harzianum* sur un substrat lignocellulosique : (pH (courbe G), humidité du produit (courbe H), production d'enzymes cellulolytiques (courbes I et J).

Après 48 heures de fermentation, le mycélium
25 est foisonnant, le substrat est envahi uniformément par le micro-organisme. A cet instant la production maximale de cellulases est atteinte (figure 6). Au total, pour 12kg de substrat poids sec initial, on a obtenu le bilan suivant en cellulases :

30 - 164 520 Unités Internationales d'Activité Papier Filtre ;

- 1 623 240 Unités Internationales d'Activité Carboxyméthyl cellulase.

Le fermenteur selon l'invention tel que décrit
35 et dont des exemples d'applications ont été donnés

ci-dessus est, comme on le voit, utile et efficace pour la mise en oeuvre de fermentations exploitant la croissance de micro-organismes sur des milieux de culture solides, en particulier des champignons filamenteux.

5 Un tel fermenteur allie l'avantage d'un procédé en milieu statique qui reste la technique la plus sûre pour les substrats amylacés et lignocellulosiques avec l'utilisation d'échangeurs de chaleur au sein de la masse de ces substrats.

10 La présence de radiateurs verticaux dans les fermenteurs selon l'invention permet le contrôle et la régulation de la température optimale pour la croissance des micro-organismes ; le volume compris entre deux radiateurs et qui détermine un compartiment bénéficie
15 d'une aération autonome assurant une bonne oxygénation du milieu de culture. Le réacteur pouvant être constitué d'une succession de compartiments, le fermenteur se présente alors comme un fermenteur modulaire compact et extrapolable.

20 Cette régulation de température dans la masse du substrat ainsi que ces contrôles de l'opération permet de diminuer sensiblement la durée de la phase de germination des spores. Par la suite, les conditions favorables peuvent être maintenues grâce aux divers
25 dispositifs montés sur ledit fermenteur soit pour la croissance aérobie du micro-organisme, soit pour le métabolisme secondaire de la biomasse fongique.

30

35

TABLEAU n° I

Evolution de différents paramètres (Humidité, pH, Sucres libres, Sucres totaux, Protéines) au cours de la croissance de A. hennebergii en milieu solide sur un résidu de féculerie (pulpe de pomme de terre : 20 kg).

Echantillon	Temps Heures	Humidité en %	Matière sèche en %	pH	Sucres li- bres % MS	Sucres to- taux % MS	Protéines % MS
0	0	60,7	39,3	3,80	0,4	73,0	5,6
1	6	61,4	38,6	3,80	1,4	73,0	6,7
2	22	65,3	34,7	5,60	4,2	59,9	11,9
3	24	65,5	34,5	5,50	5,0	58,0	13,5
4	26	65,9	34,1	5,25	6,1	54,0	13,0
5	28	66,2	33,8	5,20	8,8	52,0	14,1
6	30	67,2	32,5	4,95	6,5	44,3	15,0

MS = Matière Sèche

TABLEAU N° II

Evolution de différents paramètres (humidité, pH, cellulases) au cours de la croissance de *T. Harzianum*. Cultures en milieu solide, sur un mélange de bagasse et de son de blé (12 kg)

N° Echantillon	Temps Heures	Humidité %	Poids sec %	pH	APF UI/100 g SPS	ACMC UI/100 g SPS
Z 80	0	72,0	28,0	5,45	68	0
Z 81	8	71,7	28,3	5,38	96	0
Z 82	21	72,2	27,8	4,70	96	0
Z 83	26	72,6	27,4	4,16	96	0
Z 84	30	72,7	27,3	4,91	86	0
Z 85	33	72,8	27,2	5,23	432	4.577
Z 86	45	72,0	28,0	5,63	1.344	11.011
Z 87	48	72,3	27,7	5,73	1.344	12.803

APF = Activité Papier Filtre
 UI = Unités Internationales
 ACMC = Activité Carboxyméthylcellulase

REVENDEICATIONS

1. Fermenteur perfectionné du type statique pour milieux solides, caractérisé en ce que qu'il est constitué d'une enceinte (1) destinée à recevoir le milieu de culture et, à l'intérieur de cette enceinte, au moins deux compartiments séparés, par au moins une paroi faisant office d'échangeur de chaleur (3), le fond de chaque compartiment comportant au moins un élément faisant office de diffuseur de gaz (7), alors que le haut de chaque compartiment est en libre communication avec le volume libre de ladite enceinte, laquelle présente éventuellement un élément de fermeture (2) susceptible d'être lui-même mis en communication avec l'extérieur.

2. Fermenteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les parois faisant office d'échangeur de chaleur et se faisant face sont constituées par des radiateurs (3) à circulation d'un fluide approprié et dont les conduites (5-6) d'admission et d'évacuation traversent ledit élément (2) de fermeture de ladite enceinte (1).

3. Fermenteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le fluide servant d'agent d'échange thermique est de l'eau.

4. Fermenteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits éléments de fond servant de diffuseur sont constitués par des parois à perforation en communication avec des moyens d'admission d'un gaz, de préférence de l'air, de l'air enrichi en oxygène ou de l'oxygène.

5. Fermenteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une sonde (22) servant à la détermination de la température du milieu de fermentation ; au moins un dispositif (26-23-25) de régulation de l'échange thermique entre lesdites parois échangeuses de chaleur

et ledit milieu de fermentation dans chaque compartiment; au moins un dispositif (9-13-12) de régulation du débit du fluide admis dans le fond diffuseur de chaque compartiment ; au moins un poste de commande des différents dispositifs agissant en fonction de l'évolution de la fermentation.

5
6. Fermenteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le paramètre température mesuré par la sonde de température contrôle la température du fluide dans les parois d'échange de chaleur lorsque celles-ci sont constituées par des radiateurs, en ce qu'un dispositif de prélèvement des gaz (19) est prévu dans le volume libre en communication avec chaque compartiment et en ce qu'un dispositif de mesure de la teneur en CO₂ (20) agit par tout moyen sur le débit du gaz amené dans les diffuseurs au fond de chaque compartiment.

10
15
20
25
30
35

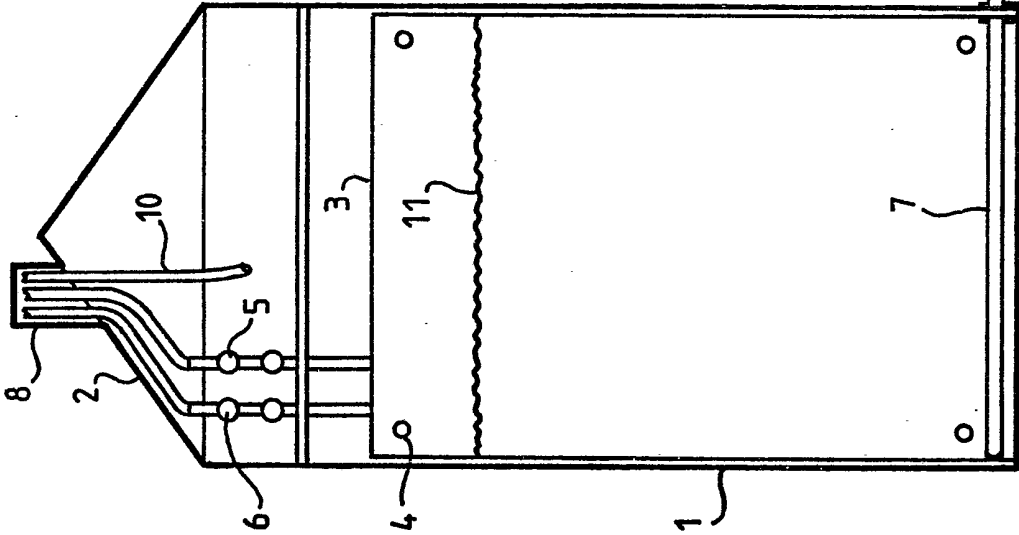


FIG. 2

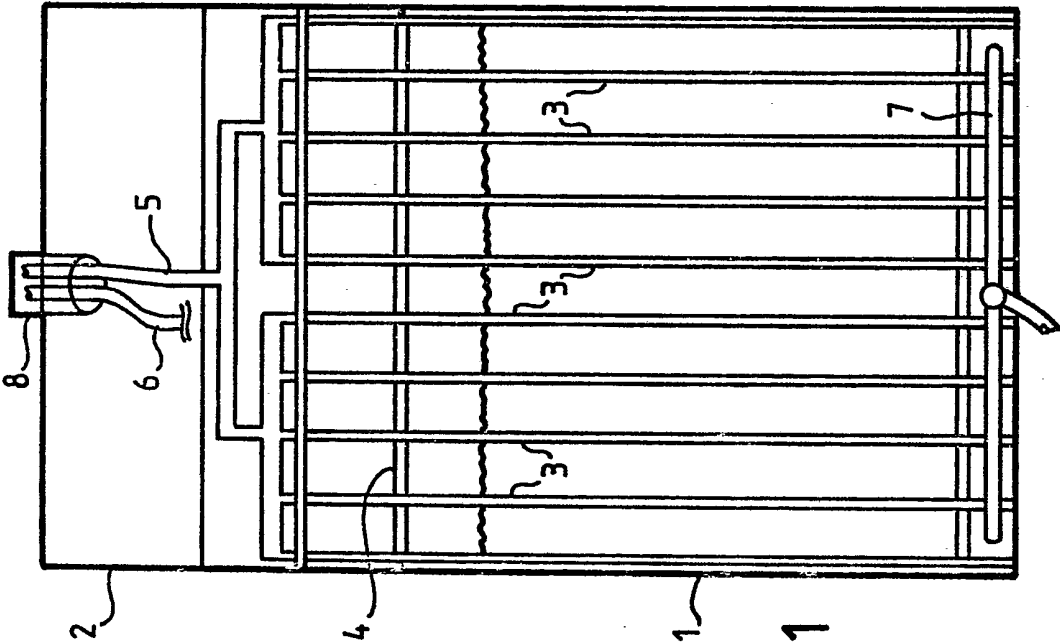


FIG. 1

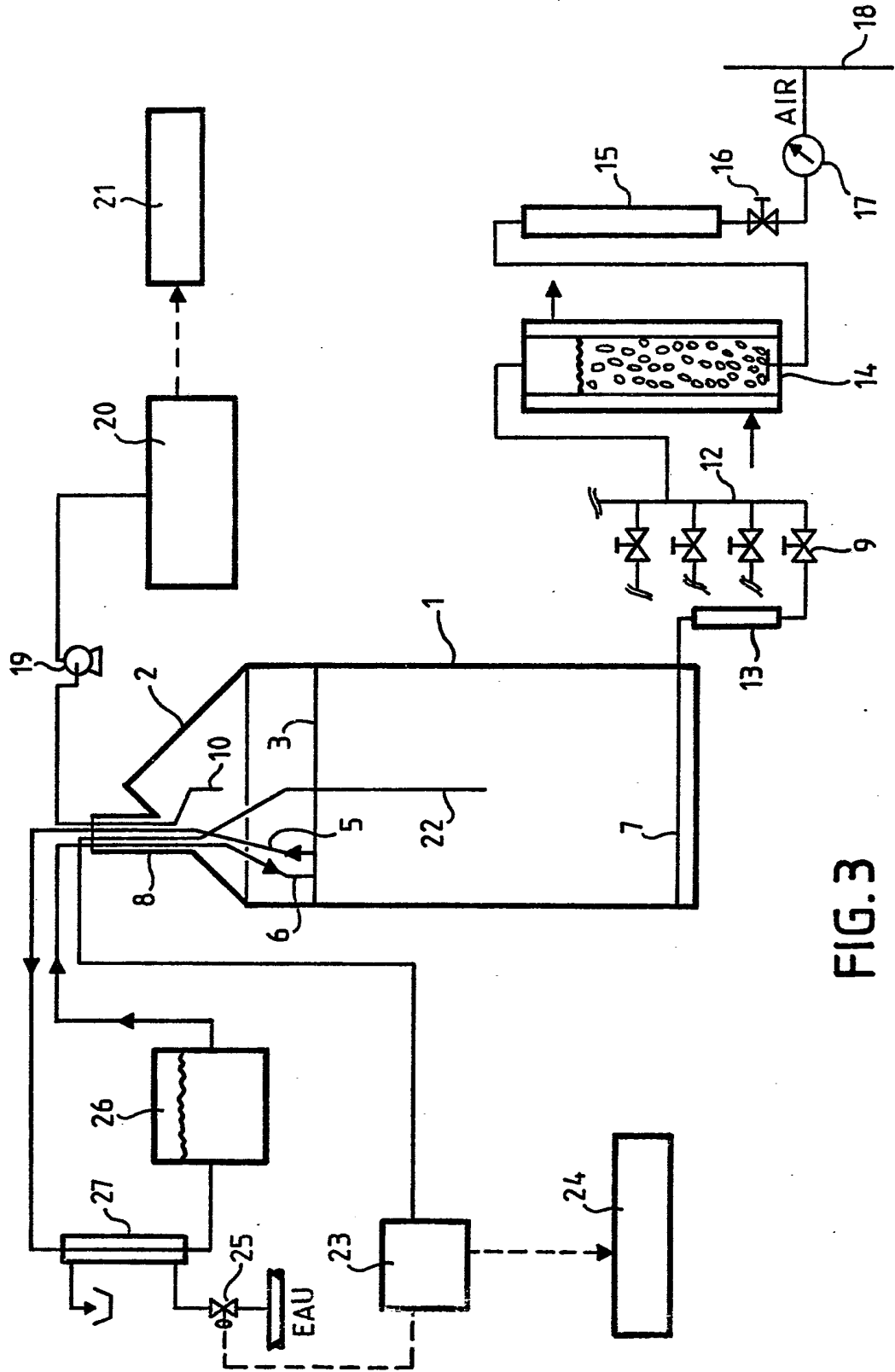


FIG. 3

FIG. 4

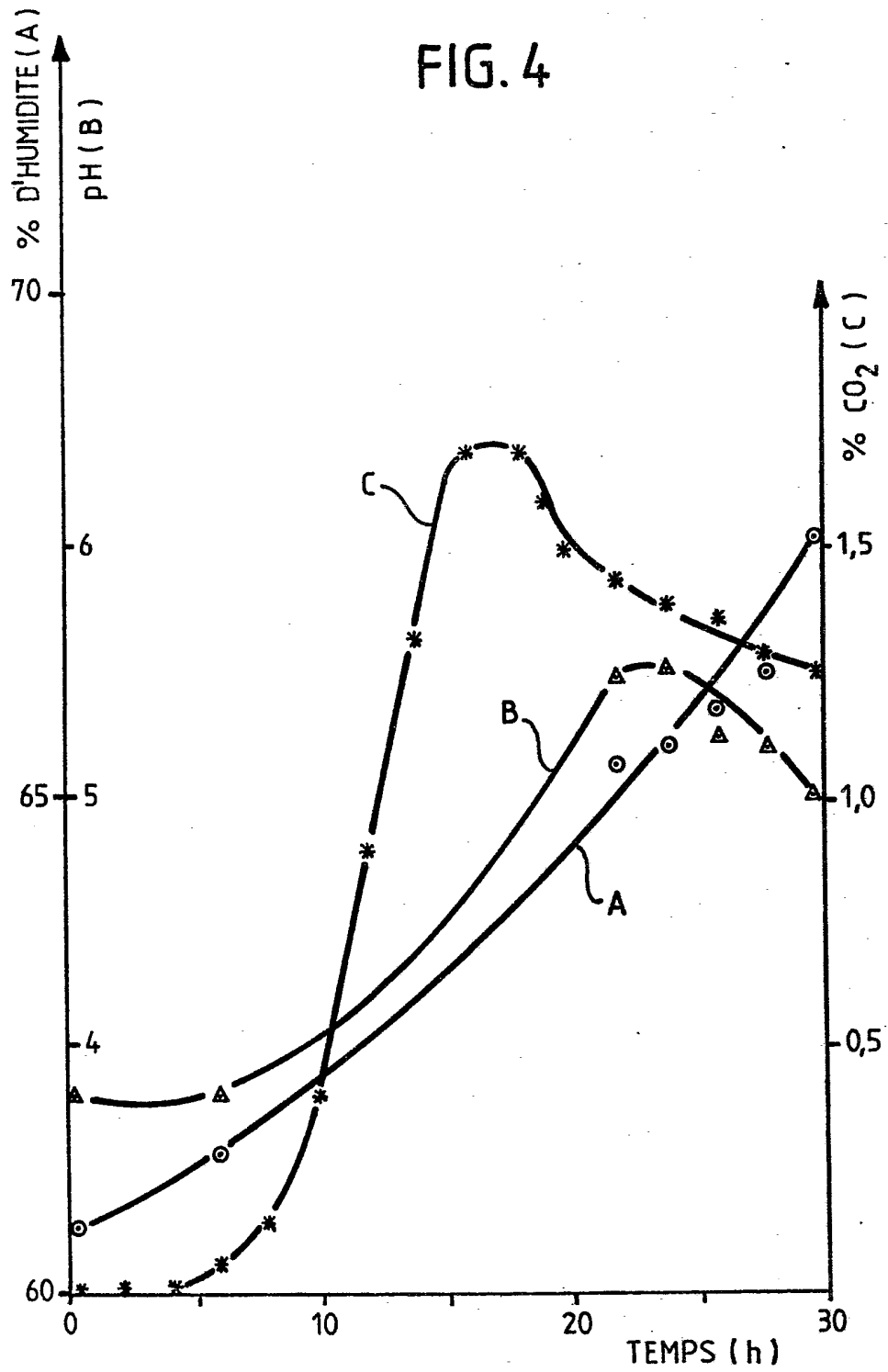


FIG.5

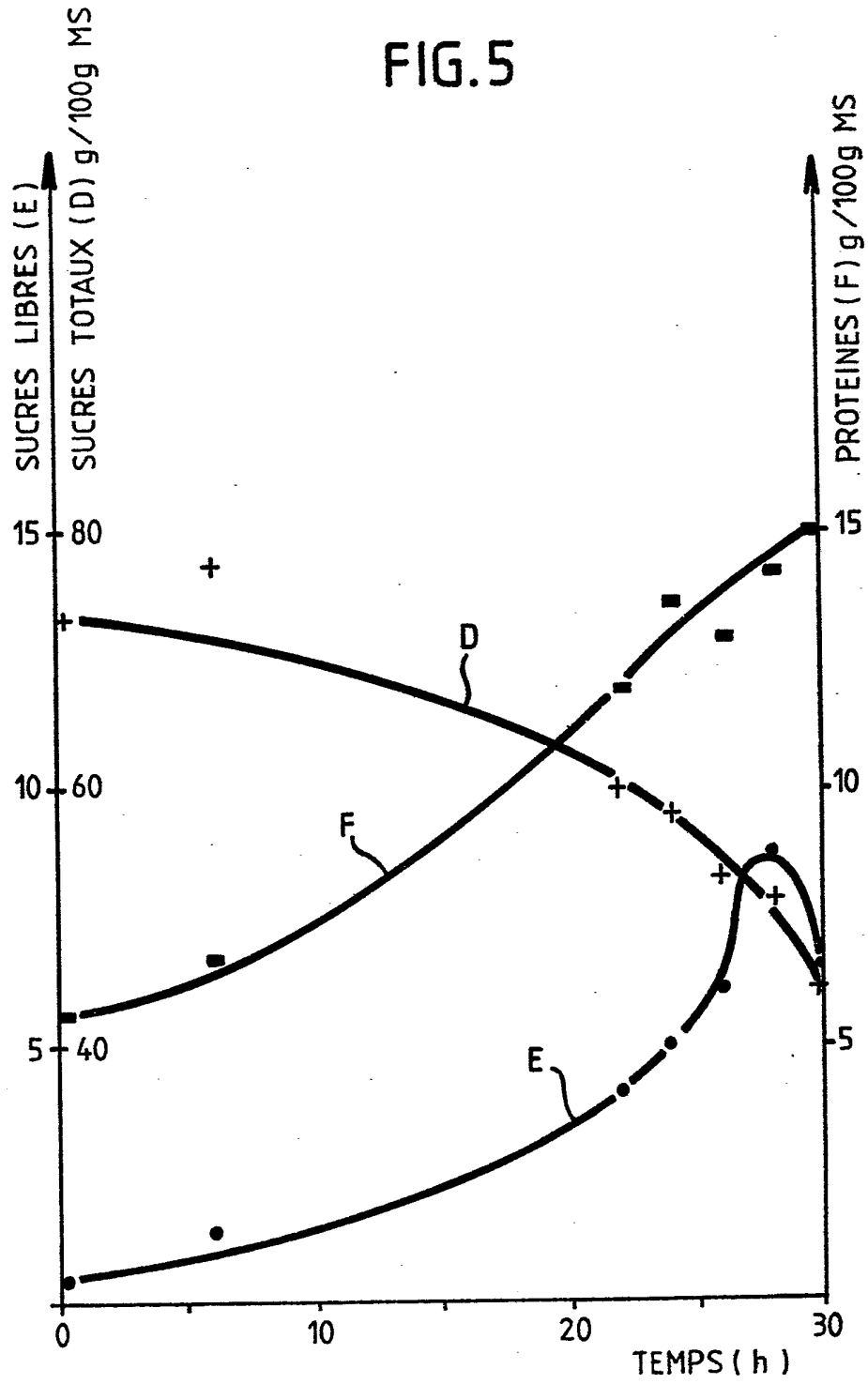


FIG.6

