

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 474 527

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 01791

(54) Procédé de production de l'éthanol à partir de substances contenant un hydrate de carbone et utilisation de cet éthanol comme combustible.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). C 12 P 7/06; C 10 L 1/18.

(22) Date de dépôt 30 janvier 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : Australie, 30 janvier 1980, n° PE 2181/80, et 2 avril 1980,
n° PE 3006/80.

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 31 du 31-7-1981.

(71) Déposant : COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION,
résidant en Australie.

(72) Invention de : Kevin Desmond Kirby et Christopher Jack Mardon.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Lavoix,
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

- 1 -

La présente invention concerne la production d'éthanol, en particulier d'éthanol destiné à être utilisé comme combustible, par fermentation d'une substance contenant un sucre ou d'une substance contenant de l'amidon ou encore d'une substance contenant simultanément ces deux constituants. Elle concerne en particulier la production d'éthanol comme combustible, avec un rendement élevé, par un procédé qui est économique à une beaucoup plus petite échelle que la technologie actuelle et qui nécessite seulement l'utilisation d'un appareillage simple et relativement peu coûteux.

On accorde depuis peu une attention toute particulière à l'utilisation de l'éthanol, spécialement lorsqu'il est mélangé à de l'essence, comme combustible des moteurs à combustion interne des véhicules à moteurs. La conversion du sucre en éthanol par fermentation au moyen d'une levure est bien connue et de nombreuses substances contenant du sucre ont fait l'objet de recherches en vue d'être utilisées dans ce procédé de production de l'éthanol. En général, ces procédés sont basés sur la production initiale d'un liquide à base de sucre et sur la fermentation subséquente de celui-ci par une levure, en phase liquide.

Les betteraves à sucre constituent une source bien connue et largement utilisée de sucres, en particulier de saccharose et, dans un procédé connu d'extraction du sucre à partir de celles-ci, les betteraves sont découpées en longues tranches ou bandes fines, appelées cossettes, avant d'en extraire le sucre par un procédé de diffusion. Les cossettes sont ensuite amenées à un diffuseur incliné continu à travers lequel elles sont entraînées de bas en haut. De l'eau chaude est amenée à l'extrémité supérieure du diffuseur, s'écoule vers le bas, à contre-courant des cossettes, et quitte l'extrémité inférieure du diffuseur sous la forme d'un liquide contenant du sucre.

Dans le cas de la production de l'éthanol à partir de substances contenant de l'amidon, le procédé normal utilisant les céréales contenant de l'amidon est de broyer et de cuire la substance amylacée pour gélatiniser l'amidon, de liquifier et hydrolyser l'amidon en sucres avec du malt, des champignons ou des enzymes et de fermenter ensuite les

- 2 -

sucres en alcool selon un processus de fermentation, en phase liquide, au moyen d'une levure.

Un des buts de la présente invention est de fournir un procédé amélioré selon lequel de l'éthanol, en particulier de l'éthanol utilisable comme combustible, peut être produit avec un rendement élevé à partir d'une substance contenant un sucre, en particulier à partir de la betterave à sucre, de la canne à sucre, de la betterave fourragère ou champêtre, ou analogue, sans nécessiter l'extraction préalable du sucre contenu dans la substance à base de sucre. Il est bien évident que s'il n'est plus nécessaire de soumettre ladite substance à une extraction préalable, le procédé global de la production de l'éthanol peut être simplifié et rendu plus économique.

Un autre but de la présente invention est de pouvoir disposer d'un procédé amélioré pour la production de l'éthanol, en particulier de l'éthanol utilisable comme combustible, à partir de produits agricoles contenant de l'amidon, comme les légumes et les graines céréalières, par exemple les pommes de terre, le manioc ou cassave, le blé, l'orge, le maïs, le triticale (hybride blé-seigle), le sorgho, ou les déchets végétaux ou analogues, sans nécessiter une cuisson préalable de la substance contenant l'amidon ou une conversion, réalisée à part, de l'amidon en sucre avant la fermentation du sucre, ou encore une extraction préalable du sucre produit par l'amidon.

Le procédé de la présente invention pour la production de l'éthanol par fermentation d'une substance contenant un hydrate de carbone est caractérisé en ce qu'il consiste :

(a) à broyer ou réduire en bouillie cette substance à base d'hydrate de carbone pour obtenir une pâte ne contenant pratiquement pas de liquide libre, qui est constituée de particules de cette substance ayant des diamètres allant jusqu'à environ 10 mm ;

(b) à saccharifier, lorsque cela est nécessaire et, si on le souhaite, à chauffer cette pâte pour transformer les hydrates de carbone de cette substance non constitués par

- 3 -

des sucres en sucres ;

(c) à mélanger une suspension de levure à cette pâte (simultanément à ou à la suite de la saccharification précitée, si celle-ci est mise en oeuvre) et à maintenir le mélange dans des conditions de fermentation pour permettre à ladite levure de convertir les sucres de cette pâte en éthanol ; et

(d) à extraire l'éthanol de cette pâte fermentée.

Un premier mode de réalisation du procédé de la 10 présente invention, applicable à la production de l'éthanol par fermentation d'une substance contenant un sucre, consiste :

- 15 (a) à broyer ou réduire en bouillie cette substance à base de sucre pour produire une pâte ne contenant pratiquement pas de liquide libre et constituée de particules de cette substance de diamètres allant jusqu'à environ 10 mm ;
20 (b) à mélanger une suspension de levure à cette pâte ;
(c) à maintenir le mélange obtenu dans des conditions de fermentation pour permettre à ladite levure de convertir le sucre desdites particules en éthanol ; et
(d) à extraire l'éthanol de cette pâte fermentée.

Un second mode de réalisation du procédé de la 25 présente invention, applicable à la production de l'éthanol par fermentation d'une substance contenant de l'amidon, consiste :

- 30 (a) à broyer ou réduire en bouillie cette substance à base d'amidon pour produire une pâte ne contenant pratiquement pas de liquide libre et constitutée de particules de cette substance ayant des diamètres allant jusqu'à environ 10 mm ;
35 (b) à saccharifier et, si on le désire, à chauffer cette pâte pour convertir l'amidon de la substance précitée en sucres ;
(c) à mélanger une suspension de levure à cette pâte, simultanément à ou à la suite de cette saccharification, et à maintenir le mélange obtenu dans des conditions de fermentation pour permettre à ladite

- 4 -

levure de convertir les sucres de cette pâte en éthanol ; et

(d) à extraire l'éthanol de cette pâte fermentée.

5 De préférence, dans ces deux modes de réalisation de l'invention, l'éthanol est extrait de la pâte fermentée en pressant ou comprimant celle-ci pour en extraire un jus contenant l'éthanol. Ce jus contient aussi la plus grande partie de la levure provenant de la pâte fermentée, en 10 même temps que quelques fines fibres de la substance contenant le sucre ou de la substance contenant l'amidon. La levure et les fibres peuvent être séparées du jus par des méthodes connues comme la filtration ou de préférence la centrifugation et elles peuvent être ensuite recyclées 15 dans l'étape de fermentation si on le désire. On doit remarquer que, à ce stade, le recyclage, dans l'étape de fermentation, des fines fibres récupérées avec la levure ne soulève aucun problème puisque le volume des fibres est faible et qu'il atteint une valeur d'équilibre en une durée 20 plutôt courte.

Le second mode de réalisation de la présente invention, qui concerne l'utilisation d'une substance contenant de l'amidon, comprend essentiellement un développement du procédé selon le premier mode de réalisation de cette invention, concernant l'utilisation d'une substance à base de sucre comme matière première, ce développement consistant en l'étape additionnelle de saccharification ou d'hydrolyse de l'amidon de la substance amylacée en sucres avant ou simultanément à la fermentation. La saccharification ou l'hydrolyse peut être effectuée par tout processus connu, par exemple par hydrolyse acide ; cependant, elle est de préférence effectuée par voie enzymatique, en particulier par addition d'amylase. Si on le désire, la vitesse de saccharification de l'amidon peut être augmentée en chauffant la 30 pâte pendant cette étape du procédé.

La saccharification ou l'hydrolyse de l'amidon en sucres par voie chimique ou enzymatique est évidemment bien connue et une description plus détaillée de cette étape est considérée ici comme non nécessaire. Comme indi-

- 5 -

qué plus haut, la saccharification de la substance à base d'amidon peut être effectuée avant la fermentation des sucres par la levure. Cependant, la saccharification et la fermentation simultanées de la substance amylacée présente 5 des avantages spécifiques du point de vue de la simplification de la technologie du procédé. En outre, la réalisation simultanée de ces étapes peut être avantageuse par le fait que la fermentation des sucres, au fur et à mesure de leur production, peut favoriser une saccharification 10 plus complète de l'amidon.

Selon un aspect important de la présente invention, la substance à base de sucre ou la substance à base d'amidon ou la substance contenant, à la fois du sucre et de l'amidon peut être broyée ou réduite en bouillie pour donner de 15 petites particules dont les diamètres vont jusqu'à environ 10 mm ; cependant la forme précise et l'épaisseur des particules ne sont pas essentielles pour cette invention. Lorsque la substance contenant du sucre est la betterave à sucre ou la betterave fourragère, il est préférable que les particules aient un diamètre allant jusqu'à environ 5 mm ; cependant, les dimensions de particules peuvent varier, comme désiré, pour d'autres substances contenant du sucre et tout appareillage convenable de broyage ou de déchiquetage peut être utilisé pour mettre cette substance à base de sucre 20 sous forme de pâte.

Puisque la pâte ne contient pas de liquide libre ou qu'elle en contient peu, elle est généralement très consistante et ne peut pas couler librement d'elle-même. Néanmoins, on a trouvé, dans le cadre de la présente invention, 30 qu'elle peut être ajoutée directement dans un fermenteur afin d'effectuer une fermentation en "phase solide" de cette pâte. L'expression fermentation en "phase solide", telle qu'elle est utilisée dans le présent mémoire descriptif, désigne généralement une attaque microbienne, habituellement 35 par des champignons, des particules solides humides. Cette expression est utilisée pour le procédé de la présente invention puisque celui-ci implique la fermentation des particules solides humides sans addition de liquide supplémentaire (le seul liquide présent correspondant à la très fai-

- 6 -

ble quantité existant dans la suspension d'acide et de levure). On a trouvé que la levure de boulanger pouvait fermenter les sucres des produits agricoles contenant du sucre et mis sous forme de pâte, sans nécessiter une extraction préalable du sucre ou l'agitation de la pâte. De plus, la fermentation en phase solide se produit plus rapidement qu'en phase liquide et le rendement en éthanol est à peu près le même.

De préférence, afin d'obtenir des conditions convenables pour la fermentation de la pâte, un acide tel que l'acide sulfurique ou une base peut être ajouté à la pâte pour régler le pH à une valeur d'environ 4 à 6. De préférence, le pH est ajusté à environ 4,5 dans le cas où le procédé de l'invention utilise une substance initiale contenant du sucre. Il n'est pas nécessaire de procéder à une stérilisation préalable de la pâte brute.

Comme indiqué plus haut, on ajoute une suspension de levure à la pâte et la suspension peut par exemple contenir jusqu'à 20 % en poids de levure, de préférence environ 10 %. De préférence, on ajoute à la pâte 10 g de levure (poids sec) par kg de pâte humide. La levure utilisée pour la production d'éthanol combustible par ce procédé est typiquement la souche Saccharomyces cerevisiae sous la forme de levure de boulanger sèche active ou levure comprimée. On doit remarquer que les souches de levure qui tolèrent très bien l'alcool ou les souches de levure résistantes à la chaleur peuvent être utilisées. La proportion de suspension de levure ajoutée à la pâte dépend de la vitesse de fermentation et peut être réglée si on le désire. On peut aussi ajouter au mélange des substances nutritives pour la croissance de la levure, mais il s'est cependant révélé que, dans de nombreux cas, cette addition n'était pas nécessaire. En outre, des enzymes, telles que les pectinases ou les cellulases pour hydrolyser respectivement la pectine et la cellulose, peuvent être ajoutées à la pâte, si on le désire. La suspension de levure est ensuite bien mélangée à la pâte et à toutes autres substances ajoutées dans le fermenteur et le mélange est maintenu dans des conditions de fermentation. De préférence, ces conditions de fermentation impliquent

- 7 -

une température d'environ 25° à 50° C afin que ladite fermentation se produise rapidement. Quoique l'eau contenue dans la suspension de levure se trouve ajoutée à la pâte, on a constaté que cette eau est absorbée par ladite pâte
5 et qu'elle ne reste pas dans le mélange sous forme de liquide libre.

A l'échelle industrielle, le mélange de la pâte et de la suspension de levure dans le fermenteur ainsi que le chauffage dudit mélange (ou son refroidissement si nécessaire) sont obtenus au mieux en faisant circuler la pâte à travers un échangeur de chaleur externe au moyen d'une pompe appropriée. Pendant toute la fermentation, le contenu du fermenteur reste pratiquement solide et ne peut, à aucun stade, s'écouler librement de lui-même. Néanmoins,
15 les dimensions de particules de la pâte sont suffisamment faibles pour permettre de la pomper facilement.

Lorsque la fermentation est terminée, la pâte fermentée est traitée pour en extraire l'éthanol. Conformément à un processus utilisable dans la pratique pour cette extraction de l'éthanol, la pâte fermentée est pompée dans un séparateur de fibres où le jus alcoolisé est exprimé de la pâte. On a par exemple trouvé que l'utilisation de deux étapes de compression par rouleaux, avec un lavage intermédiaire au moyen d'une faible quantité d'eau, peut enlever environ 95 % de l'éthanol de la pâte fermentée. A titre de comparaison, la mise en oeuvre du même traitement sur la pâte brute, avant fermentation, se révèle enlever seulement environ 65 % du sucre de la pâte brute.

Comme indiqué ci-dessus, le jus alcoolisé obtenu
30 par pressage de la pâte fermentée se révèle contenir la presque totalité de la levure, en même temps que quelques fines fibres. La levure et les fibres peuvent être toutes deux récupérées par centrifugation du jus et la levure ainsi récupérée peut être recyclée dans le fermenteur, en
35 même temps qu'un peu de levure fraîche. La liqueur obtenue après centrifugation du jus alcoolisé peut être distillée dans une colonne de fractionnement pour obtenir, de la manière usuelle, l'azéotrope à 95 % d'éthanol. Puisqu'une

- 8 -

très faible quantité d'eau a été ajoutée pendant tout le procédé de la présente invention, si tant est qu'on en ait ajouté, et que la liqueur distillée dans la colonne de fractionnement est exempte de solides en suspension en 5 raison de l'étape préalable de centrifugation, le volume et la DBO (demande biologique en oxygène) de la liqueur résiduaire ou des résidus de la colonne de distillation sont relativement faibles, la quantité d'effluent est réduite et les problèmes de protection de l'environnement 10 sont limités.

Le schéma ci-joint illustre, à titre d'exemple, les étapes d'un procédé conforme à la présente invention. Ce procédé est également illustré par les exemples ci-après, donnés à titre non limitatif.

15 EXEMPLE 1

Effet des dimensions de particules et de la concentration en levure

La betterave à sucre est mise sous forme de pâte dans un défibreur Bauer ; on prépare deux sortes de pâtes, 20 l'une ayant des dimensions de particules d'environ 3 mm (dénommée ci-après pâte "grossière") et l'autre ayant des dimensions de particules d'environ 0,5 mm (dénommée ci-après pâte "fine"). La teneur en matière sèche est de 28,9 % 25 dans la pâte grossière et de 30,8 % dans la pâte fine. Ces deux pâtes sont acidifiées avec un peu d'acide sulfurique dilué pour abaisser le pH depuis la valeur habituelle de 6,4 jusqu'à environ 4,5, valeur optimale pour la fermentation en alcool. Pour cette expérimentation, on n'ajoute pas 30 de substances nutritives ou d'enzymes.

On pèse des échantillons de 50 g de la pâte grossière (17,0 % de saccharose) et de la pâte fine (18,9 % de saccharose) dans des flacons Erlenmeyer et on mélange intimement à chaque échantillon divers volumes de suspension de levure (levure de boulanger sèche active ou levure compri-mée ajustée à 40 g/litre dans l'eau distillée), de façon à obtenir des concentrations finales de levure de 3,6 et 9 g / litre . On adapte ensuite un bouchon et une soupape d'évacuation de gaz sur les flacons, on les pèse et on incube à

- 9 -

30° C pendant une durée totale de 29 heures, lesdits flacons étant pesés périodiquement pour déterminer la perte de poids due au dégagement de gaz carbonique produit par la fermentation.

5 Les résultats montrent que la fermentation est terminée en 38 heures avec 3 g de levure par litre, en 24 heures avec 6 g de levure par litre et en 16 heures avec 9 g de levure par litre. L'utilisation de levure sèche ou de levure comprimée n'introduit pas de différence sensible
10 quant à la vitesse de fermentation, mais une suspension de levure davantage diluée facilite son mélange intime avec la pâte. L'eau contenue dans la suspension de levure est facilement absorbée par la pâte, de sorte qu'il n'y a pas de modification de sa consistance et qu'on n'observe pas de sé-
15 paration de liquide libre au cours de la fermentation.

Les pâtes fermentées sont distillées sous vide et la teneur en éthanol est mesurée par chromatographie en phase gazeuse. On trouve que, dans le cas d'une concentration en levure de 6 g/litre, la quantité d'alcool obtenu par échantillon est de 4,2 g (91 - 92 % du rendement théorique) avec la pâte grossière et de 4,0 - 4,3 g (79 - 85 %) avec la pâte fine. On observe certaines variations dans les résultats, en raison de la petitesse des échantillons, mais il est clair que la pâte grossière n'est pas plus mauvaise que
25 la pâte fine, en dépit du manque de fluidité et du mélange des solides de la pâte après le début de la fermentation.

EXAMPLE 2

On acidifie 1 kg de pâte grossière de betterave à sucre au moyen d'acide sulfurique dilué pour abaisser le pH 30 à 4,5. On n'ajoute pas non plus de substances nutritives ou d'enzymes. On ajoute ensuite 9 g (poids sec) de levure dans 100 ml d'eau, à 955 g de pâte (22,59 % de solide et 8,92 % de saccharose) et on mélange bien, l'eau étant absorbée par la pâte de façon à ce qu'il ne reste pratiquement pas de
35 liquide libre dans le mélange. On soumet le mélange à la fermentation dans un flacon Erlenmeyer de 2 litres muni d'un condenseur d'eau et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé au moyen d'un débitmètre d'essai pour gaz,

- 10 -

en milieu humide (35,1 litres mesurés). Pour vérifier la mesure des volumes gazeux, on mesure périodiquement, sur une durée totale de 20 heures, la perte de poids du contenu du flacon. Pour un poids initial de 1 094,1 g, la perte pendant la fermentation est de 72,4 g, ce qui laisse 1 021,7 g de pâte fermentée. On préleve un échantillon de 50,8 g pour déterminer la teneur en alcool par distillation et on presse un échantillon de 933,4 g entre des rouleaux d'acier recouvert de caoutchouc, sous pression élevée, de façon à exprimer le jus alcoolisé. Dans le cas de l'échantillon mentionné en dernier lieu, on recueille 451,4 g de jus et 448,7 g de fibres. On arrose ensuite les fibres pressées avec 157,9 g d'eau et on les presse à nouveau pour obtenir encore un peu de liqueur. On recueille ainsi 168,0 g de liqueur et 417,4 g de fibres. Puisque cette expérimentation est conduite à petite échelle, il se produit inévitablement une perte d'un peu de substance (environ 3,5 % à chaque pressage). L'analyse des liqueurs de chaque pressage révèle que la première liqueur contient 27,0 g d'éthanol, 0,125 g de levure et 0,017 g de fibres (particules fines seulement) et que la seconde liqueur contient 5,9 g d'éthanol, 0,075 g de levure et 0,010 g de fibres. Ces résultats correspondent à une récupération globale de 95 % pour l'alcool et de 85 % pour la levure, à partir de la pâte fermentée, pour l'ensemble des deux pressages. Un pressage additionnel augmente la récupération globale de levure jusqu'à 95 %.

EXEMPLE 3

Des tiges fraîches de sorgho à sucre (ou sorgho sucré) sont coupées en petits morceaux d'environ 1 cm de long et broyées pour obtenir une pâte grossière. Cette pâte est acidifiée avec de l'acide sulfurique dilué pour abaisser le pH à 4,5 ; on n'ajoute pas de substances nutritives ou d'enzymes. Puis 9 g (poids sec) de levure dans 90 ml d'eau sont ajoutés à 1 000 g de la pâte acidifiée (22,97 % de solides ; 7,99 % de saccharose) et l'ensemble est bien mélangé, l'eau étant absorbée par la pâte de façon à ce qu'il n'y ait pratiquement pas de liquide libre dans le mélange. On laisse fermenter ce mélange dans un récipient de 2 litres équipé d'un condenseur d'eau et

- 11 -

- d'un piège à glace carbonique. Le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré avec un débitmètre d'essai pour gaz en milieu humide (résultat de la mesure : 16,29 litres). Pour vérifier cette mesure des volumes gazeux, on évalue périodiquement, sur une durée totale de 24 heures, la perte de poids du contenu du récipient. Le poids initial étant de 1 093,6 g, la perte de poids pendant la fermentation est de 47,3 g, ce qui laisse 1 046 g de pâte fermentée. De petits échantillons sont prélevés pour déterminer la teneur en saccharose (résultat de la mesure : 0,09 %), en éthanol (résultat de la mesure : 3,68 % en poids/poids) et en matières sèches (résultat de la mesure : 13,47 %) et un échantillon de 700 g est pressé entre des rouleaux d'acier recouverts de caoutchouc, sous pression élevée, de façon à exprimer le jus alcoolisé. A partir de cet échantillon plus important, on recueille 486,6 g de jus et 190,1 g de fibres. On arrose ensuite les fibres pressées avec 140,0 g d'eau et on les presse à nouveau pour récupérer une quantité additionnelle de liqueur (141,7 g).
- Les liqueurs provenant des deux opérations de pressage sont analysées : on trouve que la première liqueur contient 22,4 g d'éthanol et que la seconde en contient 2,3 g. Ces résultats correspondent à une récupération globale de l'éthanol, pour les deux pressages, de 95,7 %.
- L'éthanol (sous la forme d'un azéotrope à 95 %) et un mélange de levure/fibres fines sont extraits des liqueurs par centrifugation et distillation, comme décrit plus haut.
- D'une manière générale, le procédé de la présente invention se révèle impliquer une fermentation rapide et efficace, de façon inattendue, d'une substance contenant un sucre, en "phase solide" (c'est-à-dire en l'absence de toute quantité notable de liquide libre), ce procédé étant en outre caractérisé par une extraction très efficace de l'éthanol et de la levure, à partir de la pâte, après fermentation. Ces facteurs permettent une production beaucoup plus économique d'éthanol utilisable comme combustible, de telle sorte que le procédé devient économique à une échelle

- 12 -

beaucoup plus faible que dans le cas de la technologie existante. De plus, puisque l'essentiel de l'appareillage nécessaire pour la mise en oeuvre du procédé est plutôt simple et peu encombrant, cet appareillage peut être installé 5 dans un atelier d'ingénierie modeste et est moins coûteux, d'une manière inhérente, que l'appareillage nécessaire aux procédés connus de production de l'éthanol.

Si l'on considère maintenant le cas de l'utilisation d'une matière première amylacée, on trouve que, au lieu 10 de cuire celle-ci pour former une bouillie ou trempe comme il est de pratique usuelle dans toutes les brasseries et distilleries, les enzymes immobilisées et la levure peuvent être ajoutées à la matière première broyée, ce qui permet à la fermentation en éthanol de se dérouler simultanément à l'hydrolyse de l'amidon à faible température 15 (par exemple 25 - 50° C). L'amylase utilisée pour la conversion des substances à base d'amidon nécessite un pH similaire à celui requis pour la fermentation à l'aide de levure. Le pH peut être réglé à la valeur optimale par addition de base ou bien d'acide. La liqueur alcoolisée peut ensuite exprimée des résidus solides par pressage et les enzymes immobilisées et la levure peuvent être recyclées. L'éthanol est extrait de la manière habituelle par distillation de la liqueur alcoolisée.

25 L'immobilisation des enzymes sur de petites particules solides afin qu'elles puissent être récupérées en même temps que la levure apporte un avantage additionnel qui consiste en ce qu'aucune modification importante n'est nécessaire au procédé ou appareil mis en oeuvre pour les 30 matières premières à base de sucre. En particulier, il n'est pas nécessaire d'effectuer de distillation sous vide.

L'exemple ci-après illustre la conversion de substances amylacées en éthanol.

EXEMPLE 4

35 A 49,87 g de manioc broyé, on ajoute 0,2 % en poids/poids de chacune de trois enzymes (une cellulase, une amylase fongique et une amyloglucosidase) et 0,9 % en poids/poids de levure de boulanger (matières sèches)

- 13 -

et on mélange bien dans un petit ballon. On adapte un condenseur au ballon et on incube en portant le ballon au bain-marie à 30° C. On pèse périodiquement le ballon pour déterminer la quantité de gaz carbonique produite. Après 5 incubation pendant 19 heures, on constate une perte de poids de 3,52 g ; puisque le manioc contenait 28 % d'amidon, cette perte de poids correspond à un rendement de fermentation de 46,3 %. Etant donné que cette expérimentation est réalisée à petite échelle, le résidu n'est pas pressé.

10 On doit remarquer que la concentration effective en alcool n'a pas été déterminée dans cet exemple particulier. Des expérimentations à plus grande échelle nécessitent l'optimisation de certaines conditions, notamment l'utilisation d'enzymes spéciales présentant une activité 15 plus puissante vis-à-vis de l'amidon brut. Cependant, la présente expérimentation illustre le fait que l'hydrolyse et la fermentation simultanées de l'amidon brut peut se produire en une durée raisonnable, à faible température, par exemple à 30° C.

20 Sur la figure unique des dessins ci-joints, les nombres de référence ci-après ont les significations suivantes :

- 1 : matière première
- 2 : préparation de la pâte
- 25 3 : pâte brute
- 4 : fermentation
- 5 : apport d'acide
- 6 : apport d'enzymes et de substances nutritives
- 7 : apport de levure
- 30 8 : pâte fermentée
- 9 : séparation des fibres
- 10 : fibres séparées (rejet)
- 11 : jus alcoolisé
- 12 : centrifugation
- 35 13 : recyclage de la levure
- 14 : apport de levure fraîche
- 15 : liqueur
- 16 : distillation

2474527

- 14 -

17 : résidus de distillation

18 : éthanol à 95 %

R E V E N D I C A T I O N S

1. Procédé pour la production de l'éthanol par fermentation d'une substance contenant un hydrate de carbone, caractérisé en ce qu'il consiste :

- 5 (a) à broyer ou réduire en bouillie cette substance à base d'hydrate de carbone pour obtenir une pâte ne contenant pratiquement pas de liquide libre, qui est constituée de particules de cette substance ayant des diamètres allant jusqu'à environ 10 mm ;
- 10 (b) à saccharifier, lorsque cela est nécessaire et, si on le souhaite, à chauffer cette pâte pour transformer en sucres les hydrates de carbone de cette substance non constitués par des sucres ;
- 15 (c) à mélanger une suspension de levure à cette pâte (simultanément à ou à la suite de la saccharification précitée, si celle-ci est mise en oeuvre) et à maintenir ce mélange dans des conditions de fermentation pour permettre à ladite levure de convertir les sucres de cette pâte en éthanol ; et
- 20 (d) à extraire l'éthanol de cette pâte fermentée.

2. Procédé pour la production de l'éthanol par fermentation d'une substance contenant un sucre, caractérisé en ce qu'il consiste :

- 25 (a) à broyer ou réduire en bouillie cette substance à base de sucre pour produire une pâte ne contenant pratiquement pas de liquide libre et constituée de particules de cette substance de diamètres allant jusqu'à environ 10 mm ;
- 30 (b) à mélanger une suspension de levure à cette pâte ;
- 35 (c) à maintenir le mélange obtenu dans des conditions de fermentation pour permettre à ladite levure de convertir le sucre desdites particules en éthanol ; et
- (d) à extraire l'éthanol de cette pâte fermentée.

3. Procédé pour la production de l'éthanol par fermentation à partir d'une substance amylacée, caractérisé en ce qu'il consiste :

- (a) à broyer ou réduire en bouillie cette substance amylacée pour produire une pâte ne contenant pratiquement pas de liquide libre et constituée de particules de cette

- 16 -

substance ayant des diamètres allant jusqu'à environ 10 mm ;

(b) à saccharifier et, si on le désire, à chauffer cette pâte pour convertir l'amidon de la substance précitée en sucres ;

5 (c) à mélanger une suspension de levure à cette pâte, simultanément à ou à la suite de cette saccharification, et à maintenir le mélange obtenu dans des conditions de fermentation pour permettre à ladite levure de convertir les sucres de cette pâte en éthanol ; et

10 (d) à extraire l'éthanol de cette pâte fermentée.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le processus de fermentation s'effectue pratiquement en phase solide.

15 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'éthanol est extrait de la pâte fermentée par pressage ou compression de cette pâte pour en extraire un jus contenant de l'éthanol.

20 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le jus extrait contient aussi de la levure et des fibres provenant de la substance à base de sucre ou d'amidon.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la levure et les fibres fines sont séparées du jus et recyclées dans l'étape de fermentation.

25 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la séparation s'effectue par filtration ou centrifugation.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on ajoute un acide 30 ou une base à la pâte pour régler son pH à une valeur de 4 à 6.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le pH est d'environ 4,5 lorsqu'on utilise une substance contenant un sucre.

35 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on ajoute jusqu'à environ 20 % en poids de levure à la pâte.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé

- 17 -

en ce qu'on ajoute à la pâte environ 10 g de levure (poids sec) par kg de pâte humide.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la levure est une 5 levure résistant à l'alcool.

14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la levure est une levure supportant l'action de la chaleur.

15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la levure utilisée est la 10 souche Saccharomyces cerevisiae.

16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fermentation s'effectue à une température environ 25°C à 50° C.

15 17. Procédé selon l'une des revendications 1, 2 ou 4 à 16, caractérisé en ce que la substance contenant un sucre est choisie parmi la betterave à sucre, les bette-raves fourragères ou champêtres, le sorgho à sucre ou la canne à sucre.

20 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3 à 16, caractérisé en ce que la substance amylose précitée est choisie parmi la pomme de terre, le manioc ou cassave, le blé, l'orge, le triticale (hybride blé-seigle), le sorgho, le maïs ou les déchets végétaux.

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on ajoute au mélange une enzyme ou un mélange d'enzymes ou des substances nutritives pour la croissance de la levure.

30 20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'enzyme ou le mélange d'enzymes sont immobilisés sur des particules solides ou sur les fibres et en ce qu'ils sont recyclés après séparation du jus, contenant l'éthanol, provenant de la pâte fermentée.

35 21. Nouveau combustible, caractérisé en ce qu'il est constitué par un mélange d'essence et d'éthanol obtenu par le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 20.

2474527

1/1

