

Enrichissement en protéines de substrats amylacés par fermentation en milieu solide

J.-C. Senex, M. Raimbault et F. Deschamps

L'enrichissement en protéines de substrats amylacés pour l'alimentation animale est réalisé par un procédé simple, peu coûteux et non aseptique destiné à être mis en œuvre au niveau de la ferme ou du village. A partir du manioc, de déchets de bananes, de la pomme de terre ou d'autres substrats potentiellement disponibles dans les régions tropicales ou tempérées, ce procédé fournit un aliment pour bétail contenant jusqu'à 20 pour cent de protéines et 35 pour cent de sucre résiduel. Sur la base d'une productivité (poids humide) de 40 t/ha, le manioc et la pomme de terre peuvent ainsi procurer 3 fois plus de protéines que le soja et rivaliser favorablement sur le plan économique avec les céréales et le soja.

La production industrielle de protéines d'organismes unicellulaires (POU) à partir des hydrocarbures et du méthanol est actuellement freinée par la conjoncture économique, mais elle ne peut manquer de se développer bientôt à grande échelle dans les régions industrialisées, comme l'Europe occidentale, le Japon et l'U.R.S.S., où le recours à de nouvelles sources de protéines est en passe de devenir une nécessité urgente et absolue.

A priori, on pourrait s'attendre à ce que l'industrie des POU puisse aussi apporter une contribution décisive au problème de la faim dans le tiers monde. Mais cette perspective se heurte en fait à des obstacles majeurs. Pour être économiquement viable, une usine de production de POU doit en effet avoir une capacité minimale d'au moins 100 000 t/an, ce qui correspond à des investissements de l'ordre de 50 à 70 millions de dollars. D'autre part, une unité produisant 100 000 t de protéines à partir des *n*-paraffines nécessite pour son approvisionne-

ment une quantité sensiblement égale de substrat et, de ce fait, doit être associée à une raffinerie de pétrole ayant une capacité annuelle de 3 à 5 millions de t de brut. Des considérations similaires s'appliquent à la production de POU à partir du gaz naturel ou du méthanol. De toute évidence, ces conditions sont absentes dans la plupart des pays en développement d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine. En outre, ces pays ne disposent ni d'un marché ni d'un réseau de transport et de distribution permettant de commercialiser 100 000 t de protéines par an.

Il est clair que les pays du tiers monde qui, faute de disponibilités financières, ne peuvent pas aujourd'hui importer des protéines pour l'alimentation humaine ou animale ne pourront pas non plus importer des protéines industrielles. Il convient donc que ces pays se préoccupent de développer eux-mêmes leur propre production en s'adressant à d'autres sources de POU.

En dehors des hydrocarbures et du méthanol, il existe une grande variété de matières premières potentiellement susceptibles d'être utilisées pour la production de protéines d'organismes



Fermenteur pilote (520 litres). Le cliché montre les jauges ($^{\circ}$, pH) et le dispositif de pulvérisation d'eau. Le fermenteur est disposé sur une balance permettant de contrôler la teneur en eau du substrat

J.-C. Senex, Laboratoire de chimie bactérienne - CNRS 31, ch. Joseph Aiguier - 13274 Marseille Cedex 2 (France). M. Raimbault et F. Deschamps, Centre de recherche IRCHA - Boîte postale n° 1 - 91710 Vert-le-Petit (France). Travail partiellement subventionné par le Comité POU de la DGRST.

bryons. Troisièmement, les centres d'insémination artificielle pourraient tirer certains avantages de la production de taurillons issus de mères sélectionnées, bien que les avantages génétiques risquent d'être limités. Enfin, les gestations gémellaires au moyen du

transfert d'embryons présentent sans doute des avantages du point de vue production de viande/consommation de fourrage, à condition que l'éleveur obtienne des prix élevés pour ses veaux pendant au moins un an.

Si l'application commerciale à grande

échelle de ces techniques n'est pas rentable pour le moment, la situation devrait évoluer à mesure que les méthodes s'améliorent ou que les prix alimentaires augmentent. A peine sommes-nous à l'aube d'une ère nouvelle. ■

Références

- ALLISON, A.J. 1975. Effect of nutritionally induced liveweight differences on the ovarian response and fertility in ewes treated with pregnant mares' serum gonadotropin. *N.Z. J. agric. Res.*, 18: 101-107.
- ALLISON, A.J. 1977. *Theriogenology*, 8: 19-24.
- BRAND, A., AARTS, M.H., ZAAYER, D. & OXENDER, W.D. 1977. Recovery and transfer of embryos by non-surgical procedures in lactating dairy cattle. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. I. *Current topics in veterinary medicine*, p. 281-291. Commission of the European Communities (CEC) Seminar.
- BRAND, A., GUNNINK, J.W., DROST, M., AARTS, M.H. & DE BOIS, C.H.W. 1976a. Dans *Egg transfer in cattle, Cambridge, UK*, p. 57-92. CEC Seminar.
- BRAND, A., TAVERNE, M.A.M., VAN DER WEYDEN, G.C., AARTS, M.H., DIELEMAN, S.J., FONTIJNE, P., DROST, M. & DE BOIS, C.H.W. 1976b. Dans *Egg transfer in cattle, Cambridge, UK*, p. 41-56. CEC Seminar.
- CHURCH, R.B. & SHEA, B. 1976. Dans *Egg transfer in cattle, Cambridge, UK*, p. 73-91. CEC Seminar.
- GREVE, T. & LEHN-JENSEN, H. 1977. *Theriogenology*, 7: 439-451.
- HARE, W.C.D., SINGH, E.L., BETTERIDGE, K.J., EAGLESOME, M.D., RANDALL, G.L.B. & MITCHELL, D. 1977. Embryo sexing with particular reference to cattle. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. I. *Current topics in veterinary medicine*, p. 441-449. CEC Seminar.
- HAY, M.F. & MOOR, R.M. 1975. *J. Reprod. Fert.*, 45: 583-593.
- HILL, W.G. & LAND, R.B. 1976. Dans *Egg transfer in cattle, Cambridge, UK*, p. 355-367. CEC Seminar.
- KRAUSSLICH, H. 1976. Dans *Egg transfer in cattle, Cambridge, UK*, p. 333-342. CEC Seminar.
- KRCO, C.J. & GOLDBERG, E.H. 1976. *Science*, 193: 1-134.
- LAND, R.B. & HILL, W.G. 1975. *Anim. Prod.*, 21: 1-12.
- MARIANA, J-C., MAULÉON, P., BENOIT, M. & CHUPIN, D. 1970. *Annls Biol. anim. Biochim. Biophys.*, 10, Suppl. N° 1: 47-63.
- MAULÉON, P., MARIANA, J-C., BENOIT, M., SOLARI, A. & CHUPIN, D. 1970. *Annls Biol. anim. Biochim. Biophys.*, 10, Suppl. N° 1: 31-46.
- MCFEELY, R.A. 1966. *J. Reprod. Fert.*, 11: 161-163.
- MCINTOSH, J.E.A., MOOR, R.M. & ALLEN, W.R. 1975. *J. Reprod. Fert.*, 44: 95-100.
- NEWCOMB, R., CHRISTIE, W.B. & ROWSON, L.E.A. 1977. The non-surgical recovery and transfer of bovine embryos. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. 1. *Current topics in veterinary medicine*, p. 292-303.
- NICHOLAS, F.W. 1977. Third International Congress of the Society for the Advancement of Breeding Research in Asia and Oceania.
- PETERSEN, P.H. 1978. Document, 29th meeting of the European Association for Animal Production, Stockholm, Sweden.
- PHILIPPO, M. & ROWSON, L.E.A. 1975. *Annls Biol. anim. Biochim. Biophys.*, 15: 233-240.
- RAJAKOSKI, E. 1960. *Acta Endocr.*, Suppl. 52.
- RENARD, J.P., HEYMAN, Y. & MESNIL DU BUISSON, F. 1977. *Theriogenology*, 7: 189.
- ROWSON, L.E.A., LAWSON, R.A.S. & MOOR, R.M. 1971. *J. Reprod. Fert.*, 25: 261-268.
- SAUMANDE, J., CHUPIN, D., MARIANA J-C., ORTAVANT, R. & MAULÉON, P. 1977. Factors affecting the variability of ovulation rates after PMSG stimulation. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. I. *Current topics in veterinary medicine*, p. 195-224. CEC Seminar.
- SCARAMUZZI, R.J., DAVIDSON, W.G. & VAN LOOK, P.F.A. 1977. *Nature*, 269: 817-818.
- SCHAMS, D., MENZER, C., SCHALLENBERGER, E., HOFFMANN, B., HAHN, J. & HAHN, R. 1977. Some studies on pregnant mare serum gonadotrophin (PMSG) and on endocrine responses after application for superovulation in cattle. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. 1. *Current topics in veterinary medicine*, p. 122-143. CEC Seminar.
- SEIDEL, E.G. JR., ELSDEN, R.P., NELSON, L.D. & BOWEN, R.A. 1977a. Superovulation of cattle with pregnant mare's serum gonadotrophin and follicle stimulating hormone. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. 1. *Current topics in veterinary medicine*, p. 159-168. CEC Seminar.
- SEIDEL, E.G. JR., ELSDEN, R.P., NELSON, L.D. & HASLER, J.F. 1977b. Methods of ovum recovery and factors affecting fertilization of superovulated bovine ova. Dans *Control of reproduction in the cow, Galway, UK*. Vol. 1. *Current topics in veterinary medicine*, p. 268-280. CEC Seminar.
- SREENAN, J.M. 1978. *Theriogenology*, 9: 69-83.
- STEWART, F., ALLEN, W.R. & MOOR, R.M. 1976. *J. Endocr.*, 71: 371-382.
- TURNBULL, K.E., BRADEN, A.W.H. & MATTNER, P.E. 1977. *Aust. J. biol. Sci.*, 30: 229-241.
- WILLADSEN, S.M. 1977. The freezing of mammalian embryos. *Ciba Foundations Symposium*, 52: 175-189.
- WILLADSEN, S.M., POLGE, C. & ROWSON, L.E.A. 1978. *J. Reprod. Fert.*, 52: 391-393.
- WILMUT, I. 1976. *Egg transfer in cattle, Cambridge, UK*. CEC Seminar.
- WILMUT, I. & HUME, A. 1978. *Vet. Rec.*, 103: 107-110.
- WILMUT, I. & ROWSON, L.E.A. 1973. *Vet. Rec.*, 92: 686-690.

unicellulaires. Toutefois, la plupart de ces matières premières sont trop coûteuses pour être économiquement compétitives ou ne sont disponibles qu'en quantités trop limitées pour permettre une production à une échelle réelle-ment significative.

Parmi les substrats qui échappent à ces limitations, on fonde habituellement de grands espoirs sur les matières premières cellulosiques, mais pour le moment les nombreuses tentatives effectuées dans ce sens n'ont eu que peu de succès, la principale difficulté étant l'absence de micro-organismes cellulolytiques ayant un taux de croissance convenable.

Par contre, les produits amylacés, et plus particulièrement le manioc dans les régions tropicales ou la pomme de terre sous les climats tempérés, présentent un intérêt évident du fait à la fois de leur haute productivité par hectare et de leur excellent taux de conversion en biomasse par une grande variété de micro-organismes à croissance rapide.

Pour être économiquement compétitive, la production de protéines à partir de l'amidon ne saurait être entreprise par fermentation de type classique, c'est-à-dire en milieu liquide, dans des conditions aseptiques et par des procédés comportant une séparation et un séchage de la biomasse. Comme dans le cas de la production de POU à partir des paraffines ou du méthanol, l'optimisation d'une technologie aussi complexe exigerait un seuil minimal de production très supérieur au marché potentiel dans le cas de la plupart des pays en développement, et entraînerait des investissements et un coût de production trop élevés pour être rentables.

Ces considérations conduisent à envisager une voie d'approche fondamentalement différente, consistant en un enrichissement en protéines par une technologie simplifiée, susceptible d'être mise en œuvre au niveau des communautés rurales, et permettant de combiner localement la culture de la matière première, sa conversion en protéines et son utilisation directe pour l'élevage. Du point de vue économique, l'avantage essentiel et décisif d'un tel procédé intégré est de supprimer les plus-values intermédiaires et la spéculation qui ne manqueraient pas de prendre place si la matière première ou son produit enrichi en protéines étaient commercialisés.

Pour être réalisable au niveau rural, un procédé d'enrichissement en pro-

Tableau 1 ENRICHISSEMENT EN PROTÉINES DU MANIOC PAR FERMENTATION EN MILIEU SOLIDE

<i>Substrat initial (g)</i>	
Farine de manioc ¹	100
SO ₄ (NH ₄) ₂	9
Urée	2,7
PO ₄ KH ₂	5
Eau	100-120
<i>Conditions optimales de croissance</i>	
Température: 35°-40°C	
pH initial	3,5
Inoculum (spores/g de farine)	2 × 10 ⁷
Durée d'incubation (h) . .	30
<i>Composition du produit (%)</i>	
Protéines ²	18-20
Sucres résiduels ³	25-30
Eau ⁴	68

¹ Carbohydrates: 90%; protéines: 2%; eau: 8-9%. — ² Déterminées par la méthode de Lowry (% du poids sec). — ³ Déterminés par hydrolyse enzymatique (amyloglucosidase) et dosage par la méthode de Somogyi-Nelson (% du poids sec). — ⁴ % du produit humide.

téines ne doit pas avoir recours à des conditions aseptiques et doit pouvoir être effectué en une seule opération. Cette dernière condition se heurte à une difficulté biotechnologique majeure, qui explique l'échec de beaucoup de tentatives antérieures ayant pour but d'obtenir directement un enrichissement de substrats amylacés. Si la concentration en matière première est assez élevée pour que le produit puisse être directement utilisé en alimentation animale, le problème est de maintenir des conditions suffisamment aérobies et un transfert d'oxygène assez efficace pour éviter une contamination de la culture par des organismes anaérobies.

Le tempeh et de nombreuses autres préparations alimentaires obtenues par fermentation en milieu solide du soja

Tableau 2 ENRICHISSEMENT EN PROTÉINES DE DIFFÉRENTES MATIÈRES PREMIÈRES (% de la MS)

	Composition initiale		Produit final	
	Pro- téines	Carbo- hydra- tes	Pro- téines	Carbo- hydra- tes
Manioc	2,5	90	18	30
Banane	6,4	80	20	25
Déchets de bananes	6,5	72	17	33
Pomme de terre	5,0	90	20	35
Pomme de terre (résidu de féculerie)	5,0	65	18	28

ou d'autres substrats à l'aide de champignons filamenteux (Martinelli et Hesseline, 1964; Gray, 1970) sont traditionnellement utilisés dans différentes régions d'Asie et d'Afrique, mais ces fermentations n'accroissent pas de façon sensible la teneur en protéines du substrat initial. D'autre part, plusieurs procédés pour l'enrichissement direct du manioc en protéines par fermentation en milieu liquide (Reade et Gregory, 1975; Gregory *et al.*, 1976) ou solide (Brook *et al.*, 1969) ont été décrits. Toutefois, les enrichissements en protéines obtenus en milieu solide n'excèdent pas 3 à 4 pour cent et, de ce fait, sont insuffisants pour que le produit soit utilisable comme aliment complet pour l'élevage. Quant aux procédés en milieu liquide utilisant des champignons filamenteux, ils présentent de sérieuses difficultés technologiques et sanitaires.

Un nouveau procédé de fermentation en milieu solide (Raimbault et Germon, 1976) remplissant les conditions décrites ci-dessus a été mis au point en France. Cette technique a déjà fait l'objet d'une publication préliminaire (Raimbault *et al.*, 1977).

Etudes de laboratoire. Le principe du nouveau procédé repose sur une distribution homogène de spores fongiques et de sels minéraux dans la masse de substrat amylacé mis sous une forme appropriée. La préparation d'un matériel granuleux et poreux, à pH, température et degré d'humidité convenables, est essentielle pour assurer une bonne aération et une croissance du mycélium dans la totalité de la masse.

Dans ce but, la matière première grossièrement broyée et contenant 30 à 35 pour cent d'humidité est maintenue à 70-80°C pendant 10-15 mn par passage de vapeur, de façon à gélatiniser les granules d'amidon. Après refroidissement à 40°C, la préparation est mélangée avec de l'eau contenant l'inoculum (spores), les sources d'azote (sulfate d'ammonium et urée) et du phosphate de potassium, jusqu'à une teneur en eau totale de 55 pour cent. Par agitation mécanique, le substrat ensemencé prend spontanément la forme de granules bien séparés et uniformes, ayant un diamètre de 2 à 3 millimètres.

Les conditions générales pour l'enrichissement en protéines du manioc ou d'autres matières premières amylacées sont résumées au tableau 1. Le procédé a été expérimenté avec différents substrats amylacés: manioc, pom-

mes de terre entières et résidus de féculerie, déchets de triage de bananes. Les résultats rapportés au tableau 2 montrent qu'après 30 h d'incubation on obtient un produit contenant en moyenne 20 pour cent de protéines vraies, déterminées par la méthode de Lowry, et 25 pour cent de sucres réducteurs résiduels. Le taux de conversion des hydrates de carbone en protéines est de 20 à 25 pour cent.

Jusqu'à présent, les expériences ont été réalisées avec une souche d'*Aspergillus niger* ayant une forte activité amylolytique et une composition en

pendant les 20 premières heures d'incubation, puis décroît rapidement jusqu'au centième de sa valeur initiale.

Expérimentation à l'échelle pilote. A partir des résultats obtenus au laboratoire, un équipement de type nouveau a été mis au point pour la mise en œuvre de ce procédé de fermentation en milieu solide (Deschamps et Meyer, 1979). Toutes les opérations sont effectuées dans un pétrin de boulangerie commercial, modifié dans ce but (figure 1).

Le prétraitement à la vapeur et

Tableau 3 PERSPECTIVES AGRO-ÉCONOMIQUES

	Manioc	Soja ¹
<i>Productivité en matière première et en protéines</i>		
Matière première (t/ha)	40	1,8 ²
Teneur en eau (%)	70	—
Protéines (t/ha)	1,8 ³	0,6
<i>Conversion en produits animaux (porc)⁴</i>		
Taux de conversion alimentaire		3:1
Consommation de protéines (kg)		
— naissance à sevrage ⁵		11,3
— sevrage à abattage ⁶		25,5
— total ⁷		36,8
<i>Perspectives agro-économiques globales</i>		
(1) Productivité comparée de protéines par hectare de manioc enrichi et de soja: c.a.: 3:1		
(2) Un hectare de manioc peut produire par fermentation en milieu solide la quantité de protéines nécessaire pour l'élevage de c.a.: 50 porcs.		

¹ 34% de protéines. — ² Données de l'USDA. — ³ Pour un enrichissement en protéines de 20% et une perte de matière sèche de 25% au cours de la fermentation. — ⁴ D'après C.A. Shacklady, dans « Proteins from Hydrocarbons », Academic Press, New York, 1972, 115-128. — ⁵ Naissance à sevrage: 70 jours; + 25 kg; ration contenant 5% de protéines. — ⁶ Sevrage à abattage: 130 jours; + 85 kg; ration contenant 10% de protéines. — ⁷ Total: 200 jours; 110 kg.

acides aminés favorable. Cependant, il convient de souligner que beaucoup d'autres champignons filamenteux, notamment parmi les souches traditionnellement employées en Asie pour l'alimentation humaine, ont également été essayés avec succès. La méthode ne demande pas de précautions d'asepsie, la croissance sélective du champignon étant assurée par un pH acide, une faible teneur en eau du milieu et un ensemencement sporal massif. Les examens microscopiques du produit montrent que toutes les spores germent au bout de 6 à 8 h, et qu'au cours de la phase de croissance les mycéliums se développent sans aucune conidiation. En fin de fermentation, aucune spore n'est observée. Les contrôles bactériologiques du produit de fermentation n'ont mis en évidence aucun développement d'organismes pathogènes ou anaérobies. La flore bactérienne aérobie demeure constante

l'aération de la culture sont effectués par passage de vapeur et d'air à travers des perforations disposées dans le fond de la cuve. Un système de sondes permet de contrôler automatiquement l'humidité, le pH et la température par agitation mécanique et par pulvérisation d'eau et de solutions minérales. Ce système de contrôle est actionné par une sonde thermique dès que la température atteint une valeur préchoisie. Le pH, la température et la durée d'opération du système de régulation permettent de suivre le taux de croissance, et de déterminer le moment optimal pour la récolte du produit de fermentation.

Avec l'organisme présentement utilisé, la température optimale est de 40°C, mais le développement de la culture s'effectue également entre 30° et 45°C sans que le rendement final en protéines en soit significativement modifié. L'humidité initiale du subs-

Tableau 4 PRODUCTIVITÉ OPTIMALE DES ALIMENTS RICHES EN PROTÉINES

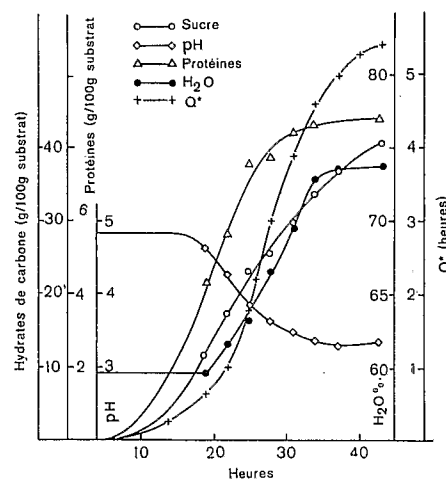
	Rendement total (t/ha)	Protéines	
		Teneur %	Rendement t/ha
Soja	1,8	34	0,6
Colza	3,0	23,3	0,7
Tournesol	2,5	22	0,6
Féverole	3,2	28	0,9
Pois fourrager	3,0	25	0,75
Manioc, enrichi en protéines	9,0 ¹	20	1,8

¹ Manioc: 40 t/ha, teneur en eau: 70%, perte de poids sec en cours de fermentation: 25%.

trat est un paramètre essentiel, sa valeur optimale étant de 55 pour cent. Au cours de la fermentation, la teneur en eau s'accroît progressivement jusqu'à une valeur finale de 70 à 75 pour cent.

La cinétique d'une fermentation sur résidu de pomme de terre est illustrée à la figure 2, qui montre l'évolution de la teneur en protéines, en sucres réducteurs et en eau, ainsi que celle du pH. La courbe marquée par des croix présente un intérêt particulier. Elle indique, en effet, qu'au cours d'une incubation ayant duré au total 30 h le dispositif de contrôle automatique par agitation mécanique et pulvérisation n'a opéré que pendant 5 h seulement. Ce fait démontre l'excellente efficacité du système de refroidissement et correspond à une dépense énergétique remarquablement faible, ce qui présente un intérêt évident pour le coût de production et la faisabilité du procédé en milieu rural dans les régions tropicales.

Actuellement, les études sur ce pro-



Fermentation en milieu solide de la pomme de terre (résidu de féculerie)

* Q = durée d'opération du système de refroidissement

céde de fermentation en milieu solide sont activement développées en France par l'ORSTOM¹ et par l'IRCHA² en collaboration étroite avec l'industrie de la féculerie pour la valorisation des déchets de pomme de terre. Une extrapolation à l'échelle d'un fermenteur de 1 m³, ayant une capacité de 250 kg (poids sec), est en cours. Cet équipement, qui sera opérationnel dans quelques mois, sera utilisé pour des essais nutritionnels et toxicologiques sur animaux cibles (porcs et volaille) pour l'optimisation complémentaire du prétraitement du substrat et des conditions de culture, ainsi que pour l'estimation des investissements en appareillage et du coût de production. Il est prévu d'entreprendre une expérimentation à l'échelle pilote en Asie et en Afrique tropicales, de façon à adapter le procédé aux conditions climatiques et agro-économiques locales.

Perspectives agro-économiques. Comme on l'a déjà souligné plus haut, les deux principales sources d'amidon potentiellement disponibles pour un enrichissement en protéines sont le manioc dans les régions tropicales et la pomme de terre sous les climats tempérés. L'enrichissement en protéines du manioc présente un intérêt particulier dans les régions semi-arides de l'Amérique latine et de l'Afrique où les conditions climatiques ne sont pas favorables à la culture du soja ou d'autres aliments du bétail riches en protéines.

D'une région à l'autre, la productivité à l'hectare du manioc varie largement en fonction du climat et des conditions agro-économiques. D'environ 16 t/ha (poids frais) dans le nord-est du Brésil, le rendement peut être aisément porté, par l'emploi d'engrais et l'amélioration des pratiques agricoles, jusqu'à 40 et même 60 t/ha. Les autres avantages du manioc sont son faible prix de revient, la facilité de sa conservation dans le sol pendant plusieurs mois et le fait que le manioc est également une excellente source de calories pour l'alimentation animale.

Sur la base d'une productivité de 40 t/ha et d'un enrichissement en protéines de 20 pour cent, le manioc ou la pomme de terre peuvent procurer 1,8 t/ha de protéines, c'est-à-dire la

Tableau 5 PRODUCTIVITÉ ET PRODUIT BRUT PAR HECTARE

	Rendement moyen t/ha	Prix courant ¹ \$U.S./t	Produit brut \$U.S./ha	Produit brut comparé
Maïs	6	82,9	497,4	114
Blé	5	127,7	638,5	147
Soja	1,8	241,8	435,2	100
Manioc enrichi en protéines .	9 ²	97,1 ³	873,9	200

¹ Au 29 septembre 1978. — ² Manioc: 40 t/ha; teneur en eau: 70%; perte de poids sec en cours de fermentation: 25%; produit sec contenant 20% de protéines. — ³ Estimé pour le contenu en protéines seul, d'après le prix courant (\$U.S. 213,6, Rotterdam, caf) des tourteaux de soja à 44% de protéines.

quantité de protéines nécessaires pour l'élevage de 50 porcs (tableau 3). Cela correspond à un rendement en protéines par hectare environ trois fois supérieur à celui de la culture du soja aux Etats-Unis. Les rendements et les productivités à l'hectare d'autres sources de protéines classiquement utilisées pour l'alimentation animale figurent au tableau 4.

A partir des prix courants (octobre 1978) et des rendements moyens des produits agricoles, on peut estimer comparativement les produits bruts à l'hectare du maïs, du blé, du soja et du manioc enrichi en protéines. Les valeurs rapportées au tableau 5 démontrent de façon frappante l'intérêt économique de l'enrichissement en protéines par fermentation en milieu solide. En fait, dans le cas du manioc, il convient d'ajouter à l'estimation du produit brut la valeur des sucres résiduels qui constituent 35 pour cent du poids sec. D'autre part, pour une installation rurale combinant la production de la matière première avec l'enrichissement en protéines et l'utilisation directe du produit pour l'élevage, le produit brut réel ne devrait

pas être estimé en se référant simplement à la valeur commerciale des protéines de soja, mais en tenant compte de la plus-value apportée par l'élevage. Enfin, il convient de souligner qu'un des principaux intérêts agronomiques qu'on peut attendre d'un enrichissement du manioc en protéines est de permettre une production animale dans des régions qui ne disposent d'aucune autre source de protéines conventionnelles.

De toute évidence, la compétitivité économique de l'enrichissement en protéines par fermentation en milieu solide dépend essentiellement du coût des investissements et du prix de revient de la production. A cet égard, il serait prématuré de procéder dès maintenant à une estimation. Pour répondre à ces questions, il faut attendre le résultat de l'expérimentation entreprise à l'échelle de fermes pilotes. Toutefois, dans l'état actuel du développement technologique, les données figurant au tableau 5 donnent à penser que l'enrichissement en protéines de substrats amyliques par fermentation en milieu solide ouvre des perspectives prometteuses. ■

Références

- BROOK, E.J., STANTON, W.R. & WALLBRIDGE, A. 1969. Fermentation methods for protein enrichment of cassava. *Biotechnol. Bioengng*, 11: 1271-1284.
- DESCHAMPS, F. & MEYER, F. 1979. *Nouveau fermenteur pour milieux solides*. Patent N° 79.02.625, 1 février 1979.
- GREGORY, K.F., READE, A.E., KHOS, G.L., ALEXANDER, J.C., LUMSDEN, H.M. & LOSOS, G. 1976. Conversion of carbohydrates to protein by high temperature fungi. *Food Tech.*, p. 30-35.
- GRAY, W.D. 1970. The use of fungi in food and in food processing. *Chemical Rubber Co. Critical Rev. Food Technol.*, 1: 225-329.
- HESSELTINE, C.W. 1965. A millenium of fungi, food and fermentation. *Mycologia*, 57: 149-197.
- MARTINELLI, A. & HESSELTINE, C.W. 1964. Tempeh fermentation. *Fd Technol.*, 18: 167-171.
- RAIMBAULT, M. & GERMON, J.C. 1976. *Procédé d'enrichissement en protéines de produits comestibles solides*. Patent B.F. N° 76.06-677. 9 mars 1976.
- RAIMBAULT, M., DESCHAMPS, F., MEYER, F. & SENEZ, J.C. 1977. *Direct protein enrichment of starchy products by fungal solid fermentation*. Document, Fifth International Conference on Global Impacts of Applied Microbiology, Bangkok, 21-26 November.
- READE, A.E. & GREGORY, K.F. 1975. High temperature production of protein enriched feed from cassava by fungi. *Appl. Microbiol.*, 30: 897-904.

¹ Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, 24, rue Bayard, 75008 Paris, France.

² Institut de recherche en chimie appliquée, 18 bis, boulevard de la Bastille, 75012 Paris, France.

Pâturage des bovins sous cocotiers

S.G. Reynolds

De gros efforts sont déployés depuis quelque temps pour réaliser l'intégration qui s'impose entre élevage et arboriculture, notamment les cocoteraies (Thomas, 1978). La superficie mondiale totale sous cocotiers dépassant, selon les estimations, 5 millions d'ha, elle offre un énorme potentiel pour ce type d'agriculture intégrée.

Bien que l'on puisse arguer de ce que la priorité doit avant tout aller aux cultures vivrières, l'élevage ne venant qu'au second plan, il existe à notre avis au moins deux cas bien tranchés — avec des situations intermédiaires entre les deux — dans lesquels l'intégration de l'élevage et de la culture des cocotiers se justifie.

Premièrement, dans les zones à forte densité de population, où les terres disponibles sont restreintes et où il faut accorder la priorité aux cultures vivrières, on peut introduire l'élevage bovin pour exploiter les différents sous-produits et fourrages que l'on coupe et porte ensuite aux animaux alimentés au piquet ou en stabulation. Il s'agit là d'un système traditionnel très répandu en Asie du Sud-Est, et selon des travaux récents effectués aux Seychelles, à Maurice et ailleurs (Preston et Leng, 1978; Preston, 1979) avec des bananiers, de la canne à sucre, des tiges de patate et *Leucaena leucocephala*, les petits agriculteurs pourraient



Bovins Hereford pâturant *Panicum maximum* et *Centrosema pubescens*

obtenir une production intensive de viande bovine et de lait sur des exploitations allant de 2 à 4 ha, en intégrant les cultures vivrières et de rapport avec l'élevage et en utilisant le fumier pour produire du biogaz avant de le recycler comme engrais.

Deuxièmement, lorsque la pression sur les ressources en terres n'est pas aussi forte et qu'il est possible de pratiquer des cultures associées plus extensives, on peut choisir, par exemple, entre la culture du cacaoyer et du caféier et des pâturages naturels ou améliorés pour l'élevage bovin. Dans ce cas, la terre entre les cocotiers n'est que trop souvent abandonnée aux plantes adventices improductives et il faudrait en tirer un bien meilleur parti pour accroître les profits généraux à l'hectare.

Le présent article est consacré à ce deuxième aspect et, plus précisément

aux pâturages des bovins sous cocotiers. Preston et d'autres (Anon., 1977) ont déjà traité de l'utilisation des sous-produits dans une série d'articles.

Elevage traditionnel des bovins sous cocotiers

Depuis toujours, les bovins sont utilisés dans les grandes plantations comme « balayeurs » ou « nettoyeurs » pour lutter contre les herbes et les plantes adventices indigènes, et mieux repérer ainsi les noix tombées. La viande qu'ils donnent est considérée comme une espèce de prime inattendue qui vient s'ajouter aux avantages tirés de la récolte principale de noix de coco.

Arguments militant plus spécialement en faveur de l'intégration entre cocoteraies et pâturages

Espacement. Dans de nombreuses régions, l'espacement des cocotiers est tel qu'il faut associer ces derniers à une autre culture pour en exploiter pleinement le potentiel de croissance. Dans bien des zones à cocoteraies, une grande partie de la terre est sous-utilisée et le couvert dense de plantes adventices et de buissons non seulement réduit la production de noix en lui disputant l'eau et les nutriments disponibles, mais rend aussi difficile le repérage des noix tombées.

Qualité de la terre. Dans beaucoup de régions, les cocotiers couvrent des terres de bonne qualité, au voisinage d'établissements humains. On propose

L'auteur est directeur/agronome des pâturages tropicaux du projet FAO de production animale URT/78/028 à Zanzibar, c/o UNDP, Box 9182, Dar es-Salaam, Tanzanie. Le présent article est fondé en grande partie sur les travaux qu'il a menés en qualité d'agronome des pâturages tropicaux dans le cadre du projet FAO de production animale WES/76/003 au Samoa-Occidental.

Zootech*nie*

REVUE MONDIALE DE

publication trimestrielle - production et santé animales et produits animaux n° 35 - 1980

Biogaz - récupération de l'énergie à partir des déchets d'origine animale. Première partie	
E.P. TAIGANIDES	2
Sorgho fourrager dans l'accroissement de la production animale	
J.L. WHEELER	13
Une nouvelle méthode de conservation du lait cru - système antibactérien de la lactoperoxydase	
H. KORHONEN	23
Transfert des embryons pour l'élevage bovin	
I. WILMUT	30
Enrichissement en protéines de substrats amylicés par fermentation en milieu solide	
J.-C. SENEZ, M. RAIMBAULT et F. DESCHAMPS	36
Pâturage des bovins sous cocotiers	
S.G. REYNOLDS	40
Nouvelles et notes	46
Ouvrages nouveaux	46

La REVUE MONDIALE DE ZOOTECHNIE, publiée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), expose les développements intervenus dans les secteurs de l'élevage, de la santé animale et des produits et sous-produits animaux, particulièrement en Asie, en Afrique et en Amérique latine. La FAO a été fondée à Québec (Canada) en octobre 1945 par un certain nombre de nations qui décidèrent d'unir leurs efforts pour assurer une paix durable en libérant le monde de la privation. La FAO compte actuellement 147 Etats Membres.

Directeur général:
Edouard Saouma

La REVUE MONDIALE DE ZOOTECHNIE [Abréviation: Rev. mond. Zootech. (FAO)] est préparée par la Division de la production et de la santé animales qui est l'une des cinq divisions du Département de l'agriculture. Cette division est subdivisée en trois services techniques s'occupant de la production animale, du développement des industries du lait et de la viande, et de la santé animale.

Président du Comité de rédaction:
H.C. Mussman (Directeur, Division de la production et de la santé animales).

Rédacteur technique p.i.: D.E. Faulkner
Maquette: D. Grauer

● Les articles signés expriment les opinions de leurs auteurs et ne correspondent pas nécessairement aux points de vue de l'Organisation. ● Les désignations utilisées et la présentation des données qui figurent dans la présente publication et sur les cartes géographiques n'impliquent, de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, aucune prise de position quant au statut juridique ou constitutionnel de l'un quelconque des pays, territoires ou zones maritimes y figurant ni quant au tracé des frontières. ● Les articles de la REVUE MONDIALE DE ZOOTECHNIE peuvent être reproduits (s'il n'est pas fait mention de copyright) sous réserve

d'en Indiquer la source. Prière d'envoyer une coupure de tout texte reproduit à la Section distribution et ventes. ● Abonnement annuel: 8,00 dollars U.S. Les demandes d'abonnement peuvent être adressées à la Section distribution et ventes, FAO, via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome. Les abonnements peuvent être souscrits en monnaie locale auprès des agents ou dépositaires FAO dont la liste figure au dos de la couverture.

COUVERTURE: Utilisations du biogaz.

BIOGAZ

récupération de l'énergie à partir des déchets d'origine animale

Première partie

E.P. Taiganides

En raison de l'importance croissante du problème mondial de l'énergie, le présent article revêt à l'heure actuelle un intérêt particulier.

Il comporte deux parties, la première partie, publiée ici, traite des principes qui gouvernent la digestion anaérobie nécessaire à la production de biogaz, ainsi que de la conception, du fonctionnement et de la surveillance continue du digesteur.

La deuxième partie, qui paraîtra dans le prochain numéro, portera sur les descriptions de systèmes qui fonctionnent déjà depuis une dizaine d'années en Inde, en Allemagne, en Chine et aux Etats-Unis et se terminera par un examen des aspects économiques des installations de biogaz.

Pourquoi « biogaz » ?

Par installation de biogaz on entend généralement des cuves construites dans le but de produire du gaz méthane grâce à la digestion anaérobie des déchets agricoles et autres biomasses, comme le fumier, l'engrais flamand, les résidus de récoltes, etc. Les unités de biogaz des usines de traitement des eaux usées sont appelées « digesteurs de gadoues ». On les appelle aussi usines de « bihugas » en Allemagne, « gobar gas » en Inde, « marsh gas » en Chine et ailleurs dans

le monde. C'est la découverte, il y a environ deux siècles, que les gaz émis par les terres marécageuses inondées étaient combustibles qui a mené à la théorie et à la pratique actuelle de récupération de l'énergie des gaz produits par la décomposition des matières organiques se trouvant dans un milieu liquide privé d'oxygène.

Au cours de la dernière décennie, les coûts de l'énergie ont commencé de monter en flèche et ont remis en question la garantie de l'approvisionnement en provenance de sources traditionnelles. Associée à la prise de conscience toujours croissante de l'opinion publique des possibilités offertes par les techniques biologiques pour convertir la biomasse en énergie, cette évolution annonce une ère d'études scientifiques intensives des sources d'énergie non traditionnelles en particulier et de la conservation des ressources en général. La fabrication de biogaz à partir de déchets a capté l'imagination des gens dont certains, après avoir confronté les statistiques sur le « potentiel » du processus avec la « technologie existante », sont rassurés et croient qu'il suffit de lancer une campagne publicitaire en faveur des unités de biogaz, pour résoudre non seulement les problèmes d'énergie auxquels se heurtent les exploitations mais aussi ceux que posent les déchets d'origine animale proprement dits.

Quelques mythes à propos du biogaz

Avant d'aller plus loin, il faut d'abord détruire certains mythes à propos du biogaz :

Premièrement, *l'unité de biogaz serait la panacée que nous cherchons depuis*

longtemps pour résoudre le problème des déchets d'origine animale. Faux. Ni le biogaz, ni aucune autre méthode de traitement, ne peut être une panacée, en raison de la variabilité infinie des conditions qui règnent dans les exploitations et des besoins différents de ces dernières. La récupération de cette énergie ne peut être faite que dans des exploitations où elle est facilement utilisable ou dans des exploitations dotées d'un personnel compétent ou habitué à faire fonctionner des installations de biogaz. Les besoins en biogaz doivent être établis, non seulement en termes de quantité, mais aussi en fonction des variations saisonnières. Les meilleures conditions pour la production de biogaz supposent une demande soutenue d'énergie, permettant à l'installation de fonctionner avec un minimum d'espace d'entreposage. Même s'il coûte beaucoup moins cher, le biogaz ne peut pas concurrencer le gaz de ville ou celui en bouteille lorsque ceux-ci sont facilement disponibles.

Deuxièmement, *le biogaz réduirait énormément le volume des déchets à manipuler.* Faux. Seules les matières organiques des solides sont réduites de 50 à 70 pour cent. Or, comme elles ne représentent que 2 à 5 pour cent de la totalité des déchets, cette réduction de 50 pour cent n'influerait guère sur le volume total des déchets. En fait, c'est l'odeur fétide des déchets bruts qui est réduite grâce à la stabilisation des matières organiques biodégradables, limitant aussi le potentiel de pollution. En outre, certaines bactéries pathogènes sont éliminées si les déchets restent assez longtemps dans le digesteur. Un autre avantage important est la destruction des graines de mauvaises herbes pendant la digestion

E.P. Taiganides est professeur de génie agricole (environnement) et occupe actuellement le poste de directeur du projet exécuté en République de Singapour par la FAO et financé par le PNUD SIN/74/006, « Animal waste management and utilization ». Le gouvernement de Singapour a autorisé la publication du présent article.