BIBLIOGRAPHIE

- [1] ADAMS H. S. Milk and food sanitation practice. New York. 1947.
- [2] BERNARD E., KREIS B. *Ann. Inst. Pasteur*, t. 77, n° 6, p. 653. 1949.
- [3] BOUVIER G. *Rev. Path. Gen. et Comp.*, n° 652, pp. 1409-17. 1953.
- [4] BOYER J., TISSIER M. *Presse Médicale*, n° 36, pp. 1451-1453. 1959.
- [5] BRODA T., KRUCZEK J., LACH H. *Med. Wet.*, n° 5, pp. 270-274. 1958.
- [6] BRÜGER H. *Landarzt*. 1955.
- [7] CHODKOWSKI A. *Med. Wet.*, n° 4, pp. 196-198. 1958.
- [8] DAVIS I. G. *Presse Médicale*, vol. 67, n° 12, p. 483. 1959.
- [9] DONIGIEWICZ K. *Med. Wet.*, n° 4, pp. 204-209. 1959.
- [10] HAUDUROY P. Inventaire et description des bacilles paratuberculeux. Masson, Paris. 1946.
- [11] HAUDUROY P. et ROSSET W. *Ann. Institut. Pasteur*, t. 86, p. 772. 1954.
- [12] ICKERT F. *Zeitschr. Med. Klin.*, n° 29, p. 1136. 1954.
- [13] KRAUSS S., SLUZEWSKI Z. *Med. Wet.*, n° 3. 1959.
- [14] KRUGE W. *Tilgung der Rindartuculose*. 1957.
- [15] PROST E. *Med. Wet.*, n° 1, pp. 17-22. 1959.
- [16] ZELLER F. *Ref. Arch. f. Lebensmittelhyd.*, 12. 1957.
- [17] YEGIEN D., KURUNG J. *Am. Rev. Tuberc.*, 65, 2, pp. 181-186. 1957.

SUPPLEMENT TECHNIQUE

**L'UTILISATION DU SÉRUM DE FROMAGERIE
DANS LA PRODUCTION DES LEVURES**

par

G. GÉNIN

Ingénieur E.P.C.I.

Le sérum de fromagerie est un sous-produit important de l'industrie laitière, puisque la fabrication de 1 kg de fromage peut fournir jusqu'à 9 kg de sérum. Si ce produit peut, dans certains cas, être retourné aux fermiers ou parfois desséché et utilisé dans certaines préparations, on peut dire que dans la plupart des cas, son évacuation pose de graves problèmes aux fromageries, puisque ce produit ne peut être rejeté directement dans les égouts ou dans les rivières sans traitement préalable.

Or, le sérum de fromagerie, par suite des hydrates de carbone et des protéines qu'il contient, constitue un produit de valeur et différents essais ont été entrepris pour permettre l'utilisation de ses principaux constituants. L'une des méthodes est d'employer le sérum comme milieu de culture pour la production de levure, cette levure, qui renferme 50 p. 100 de protéines, de vitamines et autres éléments nutritifs, pouvant être utilisée pour l'alimentation des animaux et même pour celle de l'homme.

Cependant, le choix des levures que l'on peut ainsi obtenir, est limité à celles qui sont susceptibles d'utiliser le lactose contenu dans le sérum. Certaines espèces, comme *Saccharomyces fragilis* et certaines souches de *Torula*, possèdent cette propriété et on trouve dans la littérature, des travaux portant sur cette question et décrivant la croissance des levures dans le sérum, afin d'obtenir un produit intéressant par sa teneur en protéines [1], en vitamines et en enzymes [2].

A l'occasion du XV^e Congrès international de laiterie, dont les travaux se sont déroulés à Londres en 1959, A. E. WASSERMAN et ses collaborateurs de l'Eastern Regional Research Laboratory, de Philadelphie, avaient présenté les résultats d'une étude de laboratoire [3] ayant pour objet de définir les conditions dans lesquelles la culture d'une race de *Saccharomyces* peut être réalisée dans le sérum de fromagerie. Plus récemment [4], le même auteur a repris le problème en étudiant cette fois, les caractéristiques et le rendement d'une installation permettant d'opérer sur des lots de l'ordre de 2 500 litres de sérum, de façon à obtenir une production de levure de 2,5 tonnes par jour et en établissant l'intérêt économique d'une telle opération. Nous résumons ci-dessous les conclusions auxquelles sont parvenues ces auteurs dans leurs deux séries d'études.

Études de laboratoire

Les essais ont été effectués dans des récipients d'une capacité d'un demi-litre, dont le contenu pouvait être vigoureusement agité avec arrivée d'air directement sous l'agitateur, de façon, par cette aération et cette importante agitation, à éviter d'opérer dans des conditions anaérobies, point important dont des recherches antérieures avaient montré l'importance [5]. Le sérum étaitensemencé de façon qu'il contienne $500 \cdot 10^6$ cellules de *S. fragilis* par ml. L'utilisation la plus complète du lactose contenu dans le sérum a été obtenu en 6 heures, après avoir enrichi le milieu par addition de 0,5 p. 100 de sulfate d'ammonium, 0,5 p. 100 de phosphate dipotassique et 0,1 p. 100 d'extrait de levure Difco, la température étant maintenue à 30-32° C, avec un pH initial de 5,7. On a ainsi pu établir l'influence d'un certain nombre de facteurs que l'on peut résumer comme suit :

Influence de l'ensemencement.

Des études antérieures [6] portant sur les résidus de l'industrie laitière avaient montré que la vitesse de disparition des substances solubles d'une solution aérée est liée directement à la quantité

de cellules présentes. On a donc fait varier l'importance de l'inoculum de 300 à 2 000 . 10⁶ cellules par ml. Avec la plus forte proportion de cellules, on obtient un rendement maximum de levure de 23,5 mg par ml en 3 heures, la quantité de levure ajoutée étant égale, en poids à sec, à environ 30 p. 100 du poids sec du sucre contenu dans le sérum.

Influence d'un traitement par la chaleur.

Quoique le traitement par la chaleur du sérum et l'élimination des protéines précipitées ait été parfois recommandé [7], les essais ont montré qu'une déprotéinisation n'est pas nécessaire pour une propagation rapide de la levure et les rendements sont les mêmes sur sérum traité ou non par la chaleur.

Importance de l'azote.

L'étude de la distribution de l'azote entre les cellules et le milieu montre la nécessité d'enrichir ce dernier en azote pour obtenir une levure à haute teneur en azote. Même sans cette addition, la totalité de l'azote présent dans le milieu n'est pas assimilée par la levure. L'addition de 0,5 p. 100 de sulfate d'ammonium fournit suffisamment d'azote pour que la propagation de la levure se poursuive pendant 2 à 3 heures ; avec 1 p. 100, on peut prolonger l'opération pendant 4 heures. Cette influence de l'addition d'azote se reflète dans la teneur en azote de la levure obtenue. Sans addition, la teneur en azote de cette dernière n'est que les 66 p. 100 de celle de la levure d'ensemencement. Avec une addition de 0,5 p. 100 de SO₄(NH₄)₂, la teneur en azote des cellules commence à augmenter, pour diminuer ensuite, lorsque le milieu s'appauvrit et atteint 85 p. 100 de la teneur en azote de la levure initiale. Enfin, avec une addition de 1 p. 100, de sulfate d'ammonium, on conserve et on renforce même pendant les 4 heures de propagation, la teneur en azote de la levure initiale.

Besoins en oxygène.

Initialement, la consommation d'oxygène est faible, mais elle augmente au fur et à mesure que le lactose est consommé et que la population de la levure se développe. Au maximum cette consommation est de 100 à 120 ml d'oxygène à la minute et par litre de suspension.

La formule d'utilisation du lactose pour la synthèse de la levure se représente généralement par l'équation suivante :

qui montre que, pour 40 g de lactose présent dans chaque litre de sérum, il faut compter sur une consommation de 10,5 l (14,5 g) d'oxygène. Pratiquement, on consomme 14,3 l, l'excès d'oxygène étant employé à l'oxydation de l'acide lactique et des protéines et pour la respiration des cellules. Pour fournir une telle quantité d'oxygène qui, au moment de la pointe de consommation, atteint 100 à 120 ml à la minute par litre de sérum, il faut prévoir une installation efficace d'aération.

Le rendement en levure (en poids sec) a été de 52 p. 100 du lactose et de l'acide lactique contenus dans le sérum. Puisque les 2/3 du carbone contenu dans ces produits sont assimilables, cela montre que chaque litre de sérum devrait pouvoir fournir 27 g de levure contenant 45 p. 100 de carbone. On a obtenu en moyenne 23 g, ce qui correspond à un rendement de 85 p. 100 de la théorie.

Des essais effectués avec du sérum provenant de la fabrication du Cheddar, du Ricotta et de fromage blanc, ont donné des rendements comparables. Cependant, du fait de la variation de la composition et du pH du sérum, il est nécessaire de régler la composition des sels ajoutés.

Il faut enfin noter que la production de levure ne fait pas disparaître la totalité des matières organiques contenues dans le milieu ; cependant, le tableau suivant montre qu'après 4 heures de propagation, la demande en oxygène chimique s'abaisse à 9 000 mg/l, montrant que 84 p. 100 des produits initiaux solubles consommateurs d'oxygène ont disparu.

	Demande en oxygène mg/l	Matières organiques contenues dans les levures mg/l
Sérum initial	55 000	0
Sérumensemencé	58 400	9 600
après 1 heure	43 200	21 000
après 2 heures	26 000	36 000
après 3 heures	17 000	36 800
après 4 heures	9 000	37 400

Études industrielles

Les essais industriels entrepris par WASSERMAN et ses collaborateurs ont été exécutés dans une cuve en acier de 1,50 m de diamètre et de 3,80 m de hauteur, comportant un agitateur à turbine tournant à 300 tours minute. Quoique ce récipient ait pu contenir 6 000 l de liquide, il était, dans les essais, rempli à moitié de sa capacité, de façon à laisser un espace de garde suffisant pour

tenir compte des mousses formées par l'agitation et l'aération. L'air était fourni par un turbo-compresseur pouvant débiter 10 m^3 à la minute sous une pression de $0,35 \text{ kg/cm}^2$. L'air était réparti sous la turbine de l'agitateur, de façon à être immédiatement dispersé au sein du liquide. La température du milieu de culture était maintenue à la valeur convenable, en faisant circuler dans un serpentin disposé à l'intérieur de la cuve d'une longueur de 35 m et d'un diamètre de 37 mm, un courant d'eau à la température de 5°C .

A la fin de chaque période de 4 heures (durée de propagation optimale), la levure contenue dans le milieu était concentrée par centrifugation, de façon à obtenir un liquide épais contenant 15 à 18 p. 100 d'extrait sec. Pour éliminer les impuretés solubles, le produit concentré était remis en suspension dans un volume égal d'eau et centrifugé à nouveau. Le produit était alors séché dans un séchoir à double tambour tournant à la vitesse de 12 t/m et parcouru par de la vapeur sous une pression de 6 kg/cm^2 . Les paillettes de levure desséchée recueillies sur le tambour étaient dirigées par un transporteur à vis dans un broyeur à marteaux, puis vers un ensacheur.

Au cours de l'étude d'une installation de ce genre, différents contrôles analytiques ont été effectués dans le cours d'une opération. C'est ainsi que la teneur en levure du milieu de culture était déterminée en prélevant des échantillons de liquide de 5 cm^3 qui étaient séchés à 105°C . Pour l'analyse du lactose contenu dans le milieu, on utilisait la méthode de STILES [8] et la vitesse d'absorption de l'oxygène dans l'appareil était déterminée par une modification de la méthode au sulfite de COOPER [9].

Propagation de la levure.

Les résultats d'un essai représentatif sont reproduits dans le tableau ci-dessous :

	Quantité
Volume du sérum	2 268 l
Lactose (4,86% de sérum)	109 kg
Lactose consommé	109 kg
Volume de levureensemencée	567 l
Poids de levureensemencée	50 kg
Volume total du liquide	2 835 l
Rendement brut en levure sèche	97 kg
Rendement net en levure sèche	47 kg

Les 109 kg de lactose contenus dans les 2 268 litres de sérum disparaissent au cours des 4 heures de propagation et on obtient, à la place des 50 kg de levure introduite pour l'ensemencement, un poids total de levure de 97 kg.

En prolongeant l'opération au-delà de 4 heures, on n'augmente pas le poids de levure produite. En fait, comme la totalité du lactose a été consommée, tout nouvel accroissement s'effectue aux dépens de la levure déjà formée et on constate effectivement une légère diminution du poids de celle-ci. Environ 55 p. 100 du poids du lactose sont transformés en levure fraîche. En fait, les 109 kg de lactose auraient dû fournir 60 kg de levure fraîche, comme on n'en a obtenu que 47, le rendement est de l'ordre de 85 p. 100.

Aspect économique.

En se basant sur les résultats obtenus dans cette installation pilote, une estimation a été faite des dépenses de construction et d'exploitation d'un atelier de fabrication en vraie grandeur. Ces prévisions ont été faites en supposant une usine travaillant 200 jours par an et produisant 2 250 kg de levure sèche par jour. Le tableau ci-dessous donne tout d'abord le coût d'une telle installation qui a été établi d'après les prix américains et qui, bien entendu, peuvent varier sensiblement suivant les conditions locales.

	Dollars
Cuves de stockage	6 000
Cuves de fermentation	15 000
Compresseur d'air	3 500
Cuves réservoirs	5 000
Appareil centrifuge	10 000
Séchoir	25 900
Installation de réfrigération	20 000
Broyeur, ensacheuse	6 500
Bâtiments	23 000
Laboratoire	9 000
Tuyauterie et appareillage accessoire	36 000
Total	159 000

Les dépenses annuelles fixes peuvent alors être fixées comme suit :

	Dollars
Amortissement (en 10 ans)	15 900
Dépenses d'exploitation 5 p. 100	7 950
Assurance, impôts, entretien	12 720

Les dépenses de fabrication proprement dites ont enfin été évaluées dans le tableau suivant :

		Prix par pound (0,45 kg) de levure sèche (cents)
Matières	ammoniaque	0,038
	levure sèche	0,105
	PO_4Na_3	0,012
	$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_3$	1,000
	agent antimousse	0,600
Service	vapeur et eau	0,250
	énergie électrique	1,340
	main-d'œuvre	1,560
	séchage	2,730
Total		7,635

On voit que les constituants du milieu de culture : sels alcalins, anti-mousse, représentent 1,755 cents par pound de levure sèche, les services s'élèvent à 3,15 cents et les frais de séchage à 2,73 cents, ce qui porte le prix de revient à 7,635 cents. En ajoutant à ce total les dépenses annuelles fixes ramenées au pound de levure, on arrive au chiffre de 11,292 cents.

Au prix actuel de la levure utilisée pour la nourriture des animaux, on voit que l'opération est rentable, d'autant plus qu'elle simplifie les opérations de rejet du sérum, de telle sorte que le bénéfice de cette simplification pourrait venir en déduction du prix de la levure.

Il est bien entendu que ce calcul a été fait pour une fabrique de fromage qui n'aurait donc pas à acheter le sérum nécessaire et à le transporter. Si le propriétaire de l'installation voulait développer sa fabrication, il lui faudrait par contre acheter le sérum résiduaire fourni par d'autres fromagers et le transporter, ce qui augmenterait le prix de revient.

En utilisant une installation analogue, en lui apportant certaines modifications et en prenant certaines précautions, il serait également possible de produire une levure destinée à l'alimentation humaine, le prix de vente actuel d'un tel produit rendrait l'opération intéressante.

REFERENCES

- [1] E. G. SIMPSON et H. YOUNG. Brevet américain 2 809 113.
- [2] R. P. MYERS et S. W. WEISBERG. Brevet américain 2 128 845.
- [3] A. E. WASSERMAN, W. J. HOPKINS et N. FORGES. *C. R. du XV^e Congrès International de Laiterie*. 2^e volume, section 3, p. 1241. Londres, 1959.

- [4] A. E. WASSERMAN, J. W. HAMPSON et N. F. ALVARE. *J. of the Water Pollution Control Federation*, t. 33, p. 1090. 1961.
 - [5] A. E. WASSERMAN, W. J. HOPKINS et N. PORGES. *Sewage and Ind. Wastes*, t. 30, p. 913. 1958.
 - [6] N. PORGES, L. JASEWICZ et S. R. HOOVER. *Proc. 10th Ind. Waste Conference* 1955, p. 135.
 - [7] A. M. HANSON, N. E. RODGERS et R. E. MEADE. Brevet américain 2 465 870.
 - [8] R. H. STILES, W. H. PETERSON et E. B. FRED. *J. Bacteriol.*, t. 12, p. 427. 1926.
 - [9] C. M. COOPER, G. A. FERNSTROM et S. A. MILLER. *Ind. Eng. Chem.*, t. 36, p. 504. 1944.
-

Bulletin analytique

(Journaux)

Acide lactique et lactates

Kagan (J. J.), Pilnik (W.) et Smith (M. D.). — Fabrication de l'acide lactique par fermentation du jus de peaux d'agrumes. Conserve e deriv. agrumari, 1960, t. 9, p. 198.

Le jus provenant de l'expression des peaux de fruits d'agrumes est soumis à une fermentation après addition de bactéries lactiques, ce qui fournit une certaine proportion d'acide lactique. Ce dernier est récupéré par échange d'ions, avec la résine Dowex 50.

Ryabchikov (D. I.), Ermakov (A. N.), Belyaeva (V. K.) et Marov (I. N.). — Formation de complexes de zirconium et d'hafnium avec divers hydroxyacides. Zhur. Neorg. Khim., 1960, t. 5, p. 1051.

On a employé des éléments radio-actifs du zirconium et de l'hafnium, afin de déterminer le coefficient de distribution de ces éléments dans les solutions d'acide perchlorique avec un échangeur de cation KU-2, en présence d'un acide carboxylique contenant un groupe hydroxyle, comme par exemple, les acides citrique, tartrique, trihydroglutarique, malique ou lactique. Même dans un milieu très faiblement acide, il se forme des complexes de zirconium et d'hafnium, dont les caractéristiques ont été déterminées.