SUPPLÉMENT TECHNIQUE

PROGRÈS RÉCENTS DANS LA FABRICATION ET LES EMPLOIS DU LACTOSE (*Fin*)

par

G. Génin

Ingénieur E.P.C.I.

C'est la connaissance des réactions chimiques du lactose et des produits auxquels elles donnent naissance, qui justifie les principales applications de ce produit, aussi nous débiterons la seconde partie de cette étude par une description des principales propriétés du lactose.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU LACTOSE

Produits d'hydrolyse

Le lactose peut être hydrolysé par la lactase provenant des parois de l'intestin des mammifères, par l'émulsine des amandes, par la lactase sécrétée par les levures faisant fermenter ce sucre et par les solutions diluées d'acides forts. Le glucose et le galactose en proportions égales sont les produits immédiats de cette hydrolyse. Cependant l'hydrolyse enzymatique du lactose n'est pratiquement pas utilisée industriellement par suite des difficultés d'obtention des quantités convenables d'enzymes nécessaires.

La vitesse d'hydrolyse des différentes formes de lactose par les acides est pratiquement identique. Une solution à 10 p. 100 de lactose contenant la quantité suffisante d'acide chlorhydrique pour que le pH soit réglé entre 1,2 et 1,3 est pratiquement complètement hydrolysée à 150° C en une heure [1]. Le sérum obtenu dans ces conditions, concentré et neutralisé, possède un goût agréable. Si la concentration en lactose est supérieure à 10 p. 100, il se forme également d'autres produits ayant un goût amer qu'il est possible d'éliminer par traitement au moyen de charbon. Les sirops fabriqués généralement par hydrolyse du lactose sont obtenus en partant d'une solution de lactose à 30 p. 100.

Produits de la pyrolyse

On sait que le chauffage du lait provoque un brunissement de ce produit et on admet généralement que le lactose joue un rôle dans ce phénomène, soit par caramélisation du sucre, soit par formation de composés de lactose et de caséine.

Le lactose hydraté perd toute son eau d'hydratation au-dessus de 130° C. La masse vitreuse obtenue est très hygroscopique et c'est à elle qu'on attribue la prise en masse des produits laitiers contenant du lactose anhydre. Chauffé entre 150 et 165° C, le lactose prend une coloration jaune, à 175° C il devient brun, émet une odeur caractéristique et perd environ 13 p. 100 de son poids. Ce produit brun contient du lactose anhydre et une substance [2], insoluble dans l'eau, du lactocaramel soluble dans l'eau et d'autres produits secondaires.

Produits d'oxydation

Les produits obtenus par oxydation du lactose dépendent des conditions dans lesquelles l'opération est conduite, en particulier nature et concentration de l'oxydant, température et *pH*. Le permanganate de potassium oxyde le lactose en milieu acide ou alcalin avec formation de gaz carbonique et d'eau. L'oxydation par l'acide nitrique fournit de l'acide mucique et des acides sacchariques. Par l'acide chromique, on obtient du furfural. Le brome donne de l'acide lactobionique. L'iode réagit avec le lactose sous pression à 100° C, pour donner du formaldéhyde, de l'acide formique et une substance humique contenant de l'iode. L'oxyde de cuivre hydraté est neutre, donne un mélange d'acides formique, lactique et glycolique.

L'eau oxygénée n'a qu'une action négligeable sur le lactose, mais en présence d'une substance oxydable comme le sulfate ferreux, on obtient de l'acide lactobionique. L'ozone est sans action en solution acide : en solution alcaline, son action est analogue à celle de l'air. En présence d'alcali et de catalyseurs tels que hydroxyde céreux, sulfate ferreux, sulfite de sodium, le lactose est oxydé par l'air, en gaz carbonique et en eau. Enfin le chauffage du lactose dans l'acide sulfurique dilué entraîne une auto-oxydation et la formation d'acide formique et d'acide beta-acétylpropionique.

Produits d'hydrogénation

C'est BOUCHARDAT qui a étudié le premier l'hydrogénation du lactose par l'amalgame de sodium et a obtenu un mélange de dulcitol, de mannitol, de lactate de sodium, d'isopropanol, d'éthanol et

d'hexanol. IPATIEFF a étudié l'hydrogénation du lactose en solution aqueuse par l'hydrogène sous pression de 74 atmosphères et à 130° C, en présence de nickel et d'oxyde de nickel, et a obtenu du dulcitol. SENDERENS, en opérant uniquement en présence de nickel, a obtenu un mélange de lactitol, de dulcitol et de sorbitol. En faisant appel à d'autres conditions opératoires, d'autres auteurs ont pu obtenir divers produits dérivés des précédents.

Enfin ZARTMAN et ADKINS, en chauffant un mélange de lactose, d'alcool éthylique et d'hydrogène à 250° C et sous une pression de 300 atmosphères, ont obtenu par hydrogénéolyse, en présence d'oxyde de chrome et de cuivre comme catalyseurs, de l'alcool méthylique, de l'eau, du propanediol et différents composés hydroxylés.

Produits de substitution

Le lactose fournit les réactions caractéristiques des sucres avec la phénylhydrazine, en donnant la phénylhydrazone, puis l'hydrazone. On a préparé différents nitrates de lactose dont l'octonitrate qui présente un certain intérêt comme explosif [3].

L'acétylation du lactose fournit de l'heptaacétyl acétyllactoside qui, traité par l'acide bromhydrique, donne un bromolactoside. On peut introduire d'autres halogènes de la même façon.

Le lactose se combine directement avec les composés aminés et forme une cyanhydrine qui peut être transformée en acide lactose carboxylique. Parmi les autres composés du lactose présentant un certain intérêt pratique, il faut citer les benzoates, le butyrate, le butylmercaptan, les phosphates et ses combinaisons avec le sodium, la cystéine et le carbonate de calcium.

Produits de fermentation

Les produits que l'on obtient par fermentation du lactose ne sont pas particuliers à ce sucre, puisque tous sont déterminés par l'organe provoquant la fermentation plutôt que par le produit soumis à la fermentation, et tous les organismes qui font fermenter le lactose entraînent également la fermentation des autres sucres courants. Par contre, les organismes qui font fermenter les sucres ordinaires n'entraînent pas forcément la fermentation du lactose. En conséquence, dans les fabrications industrielles reposant sur la fermentation du lactose, les points importants sont l'utilisation d'un organisme qui assure une conversion suffisante du lactose et sa transformation dans le produit désiré, et le faible prix de la source de lactose utilisée (c'est en général le sérum, de préférence à

d'autres produits tels que les mélasses de sucre de canne, le sucre de betterave ou de produits d'autres origines). On a constaté en particulier que la présence de certaines vitamines dans le sérum de lait peut présenter des avantages.

De nombreuses substances ont été isolées dans les produits qui résultent de la fermentation du sérum. Parmi ceux qui sont obtenus en proportions suffisantes pour justifier une application industrielle, il faut citer les alcools éthylique et butylique et l'acide butyrique [4] l'acide citrique [5], l'acide acétique [6], l'acide propionique [7], l'acide lactique [8], l'acétylméthylcarbinol [9], la riboflavine et la pénicilline. Dès à présent, certains de ces produits sont d'ailleurs obtenus industriellement par fermentation du lactose.

La riboflavine peut être préparée par fermentation du lactose au moyen de *Clostridium acetobutylicum*, à condition que cet organisme ait été entraîné pour obtenir de la riboflavine avec un rendement suffisant.

En ce qui concerne la production de l'alcool éthylique, la possibilité de sa fabrication en partant de sérum a été établie, mais il ne semble pas que le procédé ait été exploité industriellement, malgré la publication de nombreuses études et de brevets sur ce procédé [10]

De nombreux organismes sont susceptibles de transformer le lactose en acide lactique, industriellement, on utilise une culture mixte de *Lactobacillus* et de *Mycoderme*. Le rendement de l'opération est supérieur à 95 p. 100, on obtient un acide racémique constitué par un mélange d'acides dextrogyre et levogyre, sans formation de sous-produits difficiles à éliminer. Le procédé a d'ailleurs été décrit à plusieurs reprises [11].

APPLICATIONS DU LACTOSE

Les applications du lactose sont aujourd'hui très nombreuses et variées, nous les grouperons dans cet exposé en un certain nombre de catégories.

L'emploi du lactose dans la préparation des milieux de fermentation

Le lactose est encore aujourd'hui considéré comme l'hydrate de carbone le plus adapté à la préparation de nombreux milieux de fermentation. Cela a été en particulier vrai lorsqu'on a commencé, sur une échelle industrielle, la fabrication de la pénicilline par fermentation des solutions de lactose au moyen de moisissures. Cependant sa vitesse de fermentation est plus lente que celle de nombreux autres sucres et c'est la raison pour laquelle, dans la

fabrication de la pénicilline, on tend aujourd'hui à remplacer le lactose par le glucose, cependant certaines sociétés persistent à préférer le lactose malgré son prix plus élevé. D'ailleurs, des améliorations ont été apportées au cours de ces dernières années dans l'utilisation du lactose pour cette fabrication, ainsi que pour d'autres fermentations industrielles qui ont permis d'utiliser un lactose moins onéreux et n'ayant pas subi de traitement de raffinage. On estime encore aujourd'hui que l'utilisation du lactose dans la préparation de milieux de fermentation représente le débouché le plus important de ce sucre.

Produits pharmaceutiques

L'industrie des produits pharmaceutiques utilise le lactose depuis de nombreuses années, essentiellement comme charge dans la préparation des spécialités pharmaceutiques. Le plus souvent, les produits actifs sont mélangés avec le lactose qui convient particulièrement bien pour la préparation de tablettes ou de pilules, soit par compression, soit par moulage. Pour effectuer ces préparations, on peut préparer par exemple une solution de lactose et d'un liquide volatil, tel qu'un alcool, dans lequel on introduit les constituants pharmaceutiques désirés, de façon à obtenir une pâte que l'on peut mouler. Après séchage pour l'élimination du composé volatil, on obtient des tablettes ou des pilules qui ont une bonne tenue mécanique. On peut également employer le lactose pour l'enrobage de pilules pharmaceutiques. Pour toutes ces applications il est bien évident qu'il faut utiliser un produit de haute pureté répondant aux spécifications de la pharmacopée.

Le lactose a été également utilisé dans la préparation de milieux bactériologiques, on fait par exemple appel à ce sucre pour la recherche des organismes coliformes, qui, contrairement à de nombreux organismes, provoquent la fermentation du lactose avec production de gaz.

Produits pour l'alimentation des enfants et aliments spéciaux diététiques

Initialement, c'est le lactose répondant aux spécifications de la Pharmacopée qui était utilisé pour la préparation de produits alimentaires pour l'enfance. En fait, il était parfaitement ridicule de raffiner du lactose pour obtenir un produit renfermant moins de 0,1 p. 100 de substances minérales pour l'ajouter ensuite à des produits laitiers qui pouvaient contenir jusqu'à 8 p. 100 de ces substances et ce raffinage était d'autant moins justifié que le

raffinage avait pour objet d'éliminer les produits existant normalement dans le lait. C'est la raison pour laquelle on a vu apparaître sur le marché une qualité de lactose dite alimentaire destinée à la préparation de produits pour enfants, et qui est d'un prix de revient moins élevé que celui de la qualité répondant aux normes de la pharmacopée.

Pour cette application, le beta-lactose a trouvé d'importants débouchés. Il est en effet plus sucré et plus soluble que le monohydrate alpha et on le trouve également dans la qualité de la pharmacopée. Le beta-lactose est un produit anhydre tandis que le monohydrate alpha contient environ 5 p. 100 d'eau de cristallisation.

Les qualités nutritives du lactose sont dues à ce que, par destruction de sa molécule, il fournit 50 p. 100 de son poids de galactose. Ce sucre est indispensable au développement mental de l'enfant. Le lactose exerce une influence favorable en modifiant la flore bactérienne du tube digestif, il facilite également l'assimilation du calcium et éventuellement du magnésium. On a constaté que des enfants recevant une nourriture enrichie en lactose ont une structure musculaire plus développée que ceux dont la nourriture est enrichie par l'addition de sucrose ou d'autres hydrates de carbone.

Le lactose a également été utilisé pour la préparation d'aliments spéciaux et on a indiqué par exemple que les diabétiques peuvent tolérer des doses de lactose bien supérieures à celles de sucrose ou de glucose. Certaines crèmes glacées pour diabétiques contiennent par exemple des proportions importantes de lactose.

Industries alimentaires

Dans le domaine de l'alimentation, on trouve beaucoup d'applications où le lactose peut être utilisé avec intérêt. Il faut d'ailleurs signaler que dans tous les cas où cela est possible, et si la lactalbumine et les matières minérales du lait n'affectent pas les qualités du produit final, il peut être plus intéressant d'utiliser soit de la poudre de sérum, soit de la poudre de lait écrémé, soit même de la poudre de lait entier.

C'est surtout dans l'industrie de la boulangerie et de la pâtisserie que le lactose a été utilisé. Par exemple, dans la préparation du sucre glace que certains considèrent comme trop sucré, le remplacement de 15 à 20 p. 100 du sucrose par du lactose permet non seulement d'éviter cet inconvénient, mais entraîne également une meilleure stabilité de la coloration du produit et améliore sa saveur. De même, les garnitures des bonbons fourrés peuvent être améliorées

par l'emploi de lactose et la pâte à tarte est plus feuilletée et sa saveur est améliorée par l'addition de 6 à 8 p. 100 de lactose à la farine. On a ajouté du lactose aux matières grasses utilisées dans la préparation des pâtes en vue d'améliorer leur coloration.

Enfin, pour la garniture des tartes, qu'il s'agisse de fruits ou de crèmes, on peut améliorer la texture de ces produits en remplaçant une certaine proportion de sucrose par du lactose.

Dans la préparation des sucreries, le lactose améliore l'aspect et la texture de ces produits et, alors qu'à une certaine époque, on utilisait du lait comme source de lactose, l'apparition sur le marché d'une qualité de lactose alimentaire a permis d'employer ce produit comme constituant de la confiserie. Non seulement la saveur des produits est améliorée, mais la présence de lactose modifie les caractéristiques de cristallisation du sucrose et du sucre inverti, en communiquant aux produits une texture améliorée.

Dans la préparation de certains fruits et de légumes, l'emploi de lactose améliore la saveur et parfois même la coloration des produits, et dans le domaine des jus de fruits congelés, le lactose trouve également des applications. On a même signalé que dans la préparation des chips et des pommes de terre frites, le trempage des pommes de terre dans une solution de lactose avant la cuisson dans la friture permet d'obtenir des produits d'une coloration dorée plus uniforme.

Dans l'industrie du lait, l'emploi de lactose pulvérisé est devenu assez fréquent dans la fabrication du lait condensé sucré, le lactose servant à ensemencer le produit condensé en permettant d'obtenir un produit de texture améliorée. Le lactose constitue aujourd'hui également un ingrédient des pâtes de fromage à tartiner. Nous signalerons enfin l'emploi du lactose dans la préparation des boissons chocolatées et de différents autres produits alimentaires à base de lait, dans celles des mélanges de café en poudre et de crème, et enfin dans celle des potages en sachets.

Applications diverses

Il semble qu'il n'y ait pas de limite à la variété des applications du lactose et dans le domaine purement industriel, on a cité des domaines éventuels où le lactose, en particulier à partir du jour où son prix pourra bénéficier de sensibles réductions, trouvera d'importants débouchés.

On a par exemple signalé l'emploi du lactose comme agent antigel et le produit peut être répandu sur des routes ou des chemins verglacés pour éviter les risques de dérapage. Il présente, par rapport

au sel qui est souvent employé pour cette application, l'avantage qu'après dissolution, il ne présente pas pour les cultures voisines les inconvénients d'une solution salée. On a également décrit l'utilisation du lactose dans l'argenture des miroirs et dans la fabrication de produits pyrotechniques. Un spécialiste a conseillé la préparation de bonbons additionnés d'une faible proportion de lactose cristallisé et on constate que la présence de ces petits cristaux permet le nettoyage et le détartrage des dents.

Applications des dérivés du lactose

On a signalé, il y a quelques années, l'emploi d'un sirop de lactose hydrolysé dans les industries alimentaires. Il s'agit d'un produit dénommé Hidrolex [12]. Ce produit est obtenu par l'hydrolyse enzymatique du lactose contenu dans le sérum et il n'entraîne pas les inconvénients qui résultent de l'absorption de fortes doses de lactose et qui se manifestent par une forte diarrhée, car le lactose est partiellement hydrolysé en glucose et en galactose. On a également décrit [13] l'emploi du lactose hydrolysé dans les produits laitiers congelés et concentrés, en vue de retarder leur vieillissement.

Malgré que le lactose ait à lutter contre la concurrence d'autres sucres moins onéreux, ce produit a servi à la préparation de différents composés chimiques. On fabrique actuellement l'acide lactobionique et le galactose et l'acide lactobionique préparé par oxydation électrolytique du lactose constitue un agent séquestrant non toxique. Son sel de calcium, qui présente une très forte solubilité dans l'eau, peut trouver des applications dans l'industrie pharmaceutique pour la préparation de produits à forte teneur en calcium [14].

Enfin, pour terminer, rappelons que le lactose peut constituer également le point de départ de la fabrication de l'acide lactique et des lactates et nous avons déjà dans ces colonnes décrit à de nombreuses reprises les emplois industriels de ces produits.

SPÉCIFICATIONS APPLICABLES AUX DIFFÉRENTS TYPES DE LACTOSE

C'est surtout aux Etats-Unis que l'industrie du lactose s'est particulièrement développée et où ce produit est vendu en différentes catégories pour ses diverses applications. Nous avons indiqué dans le tableau ci-dessous les spécifications applicables à ces différents types de lactose et qui figurent dans un bulletin technique de la Western Condensing Co qui est un des plus importants producteurs américains de lactose.

SPÉCIFICATIONS PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLICABLES AUX DIFFÉRENTS TYPES DE LACTOSE

	Lactose pour fermentation	Lactose brut	Lactose alimentaire	Lactose pharma- ceutique	Lactose pharma- ceutique par atomisation
Lactose en p. 100	98,0	98,4	99,0	99,85	99,4
Humidité en p. 100 (produit non hydraté)	0,35	0,3	0,5	0,1	0,5
Protéines (Nx6,38) en p. 100	1,0	0,8	0,1	0,01	0,05
Cendres, en p. 100	0,45	0,4	0,2	0,03	0,09
Lipides, en p. 100	0,2	0,1	0,1	0,001	0,01
Acidité en actique lactique en p. 100	0,4	0,4	0,06	0,04	0,03
Métaux lourds en plomb, ppm	x	x	< 2	< 1	< 2
Pouvoir rotatoire spécifique (D à 25°C)	x	x	+ 52,4°	+ 52,4°	+ 52,4°
Trouble	x	x	5	5	5
Autres sucres en mg	x	x	15	5	10
Coloration	x	x	10	5	5
Pureté bactérienne :					
Numération sur plaque par g	x	x	< 100	< 30	< 30
Coliformes dans 10 mg	x	x	0	0	0
Organismes formant des spores dans 10 mg	x	x	0	0	0
Moisissures dans 10 mg	x	x	0	0	0
Levures dans 10 mg	x	x	0	0	0

x = détermination non effectuée pour cette qualité de lactose

RÉFÉRENCES

- [1] G. A. RAMSDELL et B. H. WEBB, *J. Dairy Sci.*, **23**, 525, 1940.
- [2] A. LIEBEN, *Sitzber. Akad. Wiss.*, **18**, 180, Vienne, 1856.
- [3] W. de. C. CRATER, Br. am. 1.759.565, 20.5.1930.
- [4] S. BOTKIN, *Z. Hyg.*, **11**, 421, 1892.
L. GRIMBERT, *Ann. Inst. Pasteur*, **7**, 353, 1893, **9**, 840, 1895.
- [5] C. WEHMER, *Chem. Ztg.*, **37**, 37, 1913.
- [6] M. SCHULZ, *Molk. Ztg.*, **56**, 385, 1942.
- [7] J. M. SHERMAN et R. H. SHAW, *J. Biol. Chem.*, **56**, 895, 1923 et Br. am. 1.470.885 du 16 octobre 1923.
- [8] E. KAYSER, *Ann. Inst. Pasteur*, **8**, 737, 1894.
- [9] L. GRIMBERT, *C. R.* **132**, 706, 1901.
- [10] H. H. BROWNE, *Chem. News*, **19**, 1272, 1941.
L. ENEBO, H. LUNDIN et K. MIRBÄCK, *Osterr. Chem. Ztg.*, **45**, 9 et 34, 1942.
K. MIRBÄCK et L. ENEBO, *Svensk. Kem. Tidskr.*, **52**, 326, 1940.
K. MIRBÄCK et E. VASSEUR, *Z. f. Physiol. Chem.*, **277**, 171, 1943.
BAYERISCHE MILCHVERSORGUNG GmbH., Br. ang. 477.863, 3 janvier 1938.
W. KAUFFMANN et P. J. VAN DER LEE., Br. am. 2. 183.141, 12 décembre 1939.
- [11] L. V. BURTON., *Food Ind.*, **9**, 571 et 617, 1937.
NATIONAL DAIRY PRODUCTS Corp., Br. am. 2.071.346, 23 février 1937.
T. R. OLIVE *Chem. and Metall. Eng.*, **43**, 480, 1936.
SEALTEST SYSTEM LABORATORIES INC., Br. am. 2.071.368, 23 février 1937.
- [12] *The story of the new miracle feed ingredient*, une brochure publiée par Consolidated Products Co, Danville, 1953.
- [13] STIMPSON E. G. Br. amer. 2.668,765, 1954.
- [14] LACTOBIONO
- [14] *Lactobiono delta lactone*. Bulletin technique 0-100 publié par Sheffield Farms Co, Norwich, 1952.

Bulletin Analytique

(Revue)

Fibres et films

Korthum (K.) et Ashbrand (M.). — Analyse quantitative des feutres de laine contenant de la cellulose et des fibres de caséine. Melliand Textilber, t. 40, p. 193, 1959.

Le feutre, après avoir été déchiqueté, est extrait pendant 3 heures avec du tétrachlorure de carbone, on le fait bouillir deux fois avec de l'eau distillée, puis on le sèche. Pour déterminer la teneur en cellulose, trois grammes