

qu'il est le plus souvent bon de réduire, celle d'un demi-litre de SO_4H_2 pour 1.000 l. de moût.

Humboldt (1) recommande d'ajouter seulement 1 l. d'acide pour 10.000 l. de moût de mélasse de canne, et Arnstein (2) une dose suffisante pour obtenir une acidité correspondant à 1,5-2 cc. de soude normale par 100 cc. Suivant Effront et Prescott, la meilleure pratique en distillerie de mélasse de canne consisterait à réaliser une acidité de 1 à 2,5 gr. par litre, tandis que, d'après Williams, le moût de mélasse devrait avoir une acidité sulfurique libre de 0.1 %.

Freeland a insisté sur le fait que la quantité d'acide sulfurique employée doit être fonction de la qualité de la mélasse et du type de fermentation. Une mélasse médiocre exige une plus forte proportion d'acide qu'une autre de bonne qualité, fermentant facilement. En fermentation pure, il faut beaucoup moins d'acide qu'en fermentation spontanée. « On admet généralement, dit-il, que l'acidité idoine du moût est comprise entre 0.15 et 0.20 %, évaluée en acide sulfurique, mais cette dose est souvent dépassée et peut s'élever à 3 %, si la mélasse contient beaucoup d'acides libres. Habituellement, on ajoute 0.75 à 1 l. d'acide sulfurique pour 1.000 l. de moût de mélasse de canne ».

Owen et Bond ont constaté que la dose d'acide sulfurique correspondant au maximum de rendement alcoolique variait suivant la levure utilisée et la composition de la mélasse. Ils ont obtenu les résultats ci-après, au cours d'essais effectués avec des moûts (à 16-17° Brix) de mélasses blackstraps :

Levures	SO_4H_2 ajouté (cc. par l.)	Acidité du moût (gr. SO_4H_2 par l.)	Rend. alcool % Rend. théor.	Acidité du moût (gr. SO_4H_2 par l.)	Rend. alcool % Rend. théor.
		<i>Mélasse de Louisiane</i>		<i>Mélasse de Cuba</i>	
N° 83	0.0	2.11	88.23	3.48	86.69
	0.5	2.84	87.38	4.26	84.99
	1.0	3.04	91.37	4.85	85.58
	1.25	3.83	91.58	5.29	88.58
	1.5	4.56	92.64	6.13	84.42
	2.0	4.90	83.66	6.22	83.15
Magné	0.0	2.11	90.23	3.48	86.00
	0.5	2.84	88.36	4.26	84.23
	1.0	3.14	91.57	5.05	86.14
	1.25	3.83	94.14	5.29	84.84
	1.5	4.31	90.59	5.54	85.21
	2.0	4.90	89.90	6.22	83.71
N° 74	0.0	2.11	92.81	3.48	87.90
	0.5	2.84	89.38	4.26	84.14
	1.0	3.33	94.66	5.15	82.46
	1.25	3.83	92.83	5.29	90.49
	1.50	4.12	86.34	5.64	78.91
	2.0	4.90	82.24	6.22	83.90

Ces résultats montrent que la dose optima d'acide sulfurique dépend de la race de levure. Elle est, avec la levure N° 83 par exemple, de 1.50 cc. par litre pour la mélasse de Louisiane et de 1.25 cc. pour celle de Cuba. Dans le cas de la levure Magné, le rendement maximum en alcool est donné par une acidification de 1.25 cc. pour les deux types de mélasse. La tolérance des diverses races à l'égard des variations de l'acidité est plus ou moins grande : l'écart entre les rendements alcooliques maxima et minima correspondant aux différents taux d'acidité est le plus élevé pour la levure N° 74 et le plus

(1) Louisiana Plant, LXVIII, 206, 1922.

(2) Louisiana Plant, LXVIII, 126, 1922.

faible pour la levure Magné. Les quantités d'acide exigées pour obtenir le rendement maximum en alcool varie davantage dans le cas de la mélasse de Louisiane (1,0 à 1,5 cc, suivant les races de levure) que dans celui de la mélasse de Cuba (1,25 cc). Ceci paraît tenir aux variations du « pouvoir tampon » de la mélasse.

Enfin les chiffres ci-dessus montrent que l'addition de quantités d'acide insuffisantes a comme conséquence une réduction du rendement en alcool. Ce fait, assez souvent observé, est difficile à expliquer. Il tient probablement à l'action des acides organiques libérés par l'acide sulfurique. Owen et Bond concluent de ce qui précède qu'il importe de préciser expérimentalement par des essais de laboratoire, pour chaque race de levure et pour chaque type de mélasse, les besoins du moût en acide.

Le dosage de l'alcool produit en présence de quantités variables d'acide sulfurique est une méthode assez délicate, la différence entre le rendement de la solution optima et celui des solutions renfermant des quantités d'acide inadéquates, étant généralement faible. Un autre procédé plus pratique consiste à doser l'acidité au début et à la fin de la fermentation.

Il a été en effet, constaté depuis longtemps que plus l'acidité augmente au cours de la fermentation, moins le rendement alcoolique est élevé. Fernbach (1) notamment a montré que si l'acidité produite par les levures pures peut varier avec les races, elle est toujours d'autant plus forte que le liquide est primitivement moins acide. On admet depuis longtemps en distillerie de betteraves que l'augmentation d'acidité ne doit pas dépasser 0.2 gr., dans les bonnes fermentations (Boullanger).

Hildebrandt, dans le cas spécial des mélasses de canne, a trouvé que le maximum de rendement alcoolique est obtenu lorsque le pH du moût ne subit pas de modification en cours de fermentation. Ci-après quelques-uns des résultats obtenus par cet auteur :

SO ₂ H ₂ ajouté (cc. par l)	pH initial	pH final	Différence de pH	Rend. alcool % Rend. théor.
<i>Mélasse de Porto-Rico</i>				
0.	3.75	5.48	— 0.27	83.7
0.5	5.39	5.30	— 0.09	84.8
1.0	5.20	5.14	— 0.06	85.9
1.5	5.00	5.10	0.	86.1
2.0	4.80	4.80	0.	86.1
<i>Mélasse de Cuba</i>				
—	6.25	5.50	— 0.75	85.74
—	5.63	5.26	— 0.37	85.90
—	5.00	5.02	+ 0.02	87.18
—	4.53	4.63	+ 0.10	86.73

Dans les essais ci-dessus, le pH optimum est voisin de 5, mais il est susceptible de varier, suivant les races de levure, entre 4 et 6. Le véritable critérium de l'acidité optima est que le pH final n'ait pas tendance à être supérieur ou inférieur au pH initial. Le moyen le plus simple et le plus sûr de régler l'acidification des moûts consistera donc à réaliser la constance du pH pendant la fermentation.

Il en est du moins ainsi lorsque l'on vise à obtenir le maximum de rendement en alcool. Si l'on se propose de fabriquer un alcool de bouche, dont le bouquet est fonction des produits secondaires formés au cours de la fermentation, il n'en est plus de même.

Lorsque le pH est relativement bas (4.5-5.0), la fermentation est rapide et

(1) C. R. CLVI, 77, 1913.

le rhum obtenu léger. S'il est élevé (5.5-6.0), il y a production d'une quantité plus importante d'acides gras et d'esters. L'eau-de-vie est plus corsée, plus moelleuse et plus fine. Mais la fermentation est plus longue et délicate à conduire. Il importe notamment que le moût soit préalablement stérilisé, pour éliminer les bactéries, dont le développement interfère avec celui de la levure dans les milieux de faible acidité.

Selon Arroyo, le pH convenant le mieux pour la production du rhum courant, serait situé entre 5.5 et 5.8, et l'acidité titrable entre 1.5 et 2 cc., de soude N/10 par 100 cc. de moût. Toutefois, si le moût n'a pas été préalablement stérilisé (au moins partiellement), il pourra être nécessaire de descendre à 5.0 et même 4.5, pour éviter la contamination par les bactéries et les levures sauvages. Dans la fabrication des rhums très corsés, où interviennent des levures à scissiparité qui s'accommodent d'une acidité élevée, le pH sera encore plus bas. Le distillateur aura donc à déterminer expérimentalement quel est le pH optimum pour les races particulières de ferment qu'il utilise et les conditions spéciales de sa fabrication (richesse saccharine des moûts (1), température de fermentation, type de rhum, etc...).

Arroyo a également étudié la fermentation à pH maintenu constant par neutralisation des acides au cours de la fermentation. Il a obtenu, par ce procédé, des rhums plus aromatiques, plus moelleux et murissant plus rapidement. Il attribue ces résultats d'une part à ce que les acides gras inférieurs (acides formique, acétique), qui ont une saveur âcre, se trouvent éliminés sous forme de sels, alors que les acides gras supérieurs sont moins facilement neutralisés par les alcalis ajoutés et tendent à former des esters de valeur par voie chimique au cours de la fermentation et de la distillation ; d'autre part à ce que la formation de l'huile de rhum est accrue, lorsque le pH est élevé.

Ci-après quelques résultats obtenus par l'auteur ci-dessus, en ajoutant de l'ammoniaque liquide au moût pendant la fermentation (température de fermentation 27-29° C.).

	Moût de mélasse		Moût de vesou	
	Sans ammoniaque	Avec ammoniaque	Sans ammoniaque	Avec ammoniaque
Durée de la ferm. (heures).	88.0	42.0	72.5	44.0
pH initial	5.0	5.0	5.0	5.0
Brix initial	21.0	21.0	22.0	22.0
Sucres initiaux (gr. par 100 cc. de moût)	12.5	12.5	13.2	13.2
pH final	4.2	4.8	4.5	4.9
Brix final	6.6	6.2	7.7	7.1
Sucres résiduels (gr. par 100 cc.)	0.7	0.4	0.8	0.5
Alcool % sucres totaux	45.9	47.0	46.9	47.1
<i>Composition du rhum.</i>				
Alcool en vol. %	75.5	76.7	81.65	82.46
Aldéhydes (gr. par hl. d'alcool à 100°)	22.3	19.7	19.12	15.40
Esters —	88.8	107.9	113.9	127.9
Alcools supérieurs —	196.5	122.9	165.1	109.7

Arroyo conseille d'opérer industriellement comme suit :

Le moût, préalablement stérilisé, est porté au pH 5.8-6.0, puis on ajoute 1 gr. de carbonate de chaux stérile par litre de moût, en évitant d'agiter le liquide pour ne pas provoquer de modification du pH ; le carbonate se dépose au fond de la cuve et n'influe pratiquement pas sur le pH, si l'on n'effectue pas

(1) Le développement des levures est sous la dépendance étroite du complexe, alcool - température - acidité. Si la température et la richesse saccharine sont élevées, il est nécessaire d'avoir un pH relativement haut, sous peine de voir paralysée l'action de la levure. Dans le cas de température et d'acidité élevées, il importe d'abaisser la teneur du moût en sucres.

d'agitation. Le pH du pied de cuve est également ajusté à peu près à la même valeur que celui du moût.

Suivant l'auteur, cette méthode donnerait un rhum de haute qualité, très difficile à imiter. Elle est malheureusement d'application difficile, car nécessitant un travail en milieu aseptique, pour protéger la levure contre la concurrence des bactéries.

Sels nutritifs et catalyseurs.

Les moûts de jus de canne présentent souvent une déficience en certains éléments nécessaires à l'alimentation de la levure, et notamment en azote. Les mélasses au contraire peuvent renfermer un excès de matières minérales, qui entravent le développement de la levure et dont l'action nuisible peut être diminuée par l'addition de sels antagonistes. Enfin, l'emploi en petites quantités de substances agissant comme stimulants ou catalyseurs est susceptible d'accélérer la fermentation et d'augmenter le rendement en alcool.

Si jusqu'ici seule l'utilisation des sels ammoniacaux et à un degré moindre, des phosphates, a pris une certaine importance en rummerie, de nombreux essais ont montré cependant l'intérêt que présenterait, dans certains cas, l'emploi de diverses autres matières agissant sur la nutrition des levures.

Matières azotées.

Sulfate d'ammoniaque. — Le sulfate d'ammoniaque était déjà couramment utilisé aux Antilles Françaises à la fin du siècle dernier, généralement à la dose de 400-500 gr. pour 1.000 l. de moût. A l'heure actuelle, on ajoute, à la Martinique, 100 à 300 gr. de ce sel par 1.000 l. En distillerie de vesou, la proportion la plus courante est de 300 gr. par 1.000 l., tandis qu'en rummerie de mélasse, le sulfate d'Am. est parfois supprimé, surtout quand on veut obtenir un rhum corsé. Il en est à peu près de même à la Guadeloupe, où l'on emploie assez souvent la dose de 200 gr. de sulfate par 1.000 l. de moût de mélasse. A la Réunion et à Madagascar, les moûts sont presque toujours composés sans sulfate d'Am.

En Guyane anglaise, on ajoute 1 kg de sulfate d'Am par 1.000 l. de moût. La dose est abaissée aux Etats-Unis, pour le travail des mélasses blackstraps (50-55 % de sucres), à 100 gr. par 1.000 l. de moût à 16-18° Brix de densité. Dans le procédé Magné, on introduit seulement 250 gr. de sulfate d'Am. pour 1.000 l. dans l'appareil à levain, 350 gr. p. 1.000 l. dans la cuve intermédiaire et rien dans les cuves de fermentation. Par contre, dans le travail des sirops invertis de Cuba, on doit employer des quantités beaucoup plus fortes, allant jusqu'à 3 kgs par 1.000 l. de moût, pour réaliser le rendement maximum en alcool.

A la Jamaïque, le sulfate d'Am. n'est jamais utilisé.

L'addition de sel nutritif, en provoquant un développement plus vigoureux de la levure, rend les fermentations plus rapides et réduit les dangers d'infection par les ferments étrangers. Il est cependant une dose optimale, comprise, d'après Pringsheim, entre 0.004 et 0.008 % d'azote assimilable, au-dessus et au-dessous de laquelle la fermentation est ralentie et le rendement diminué.

La proportion d'azote des mélasses est en général suffisamment forte pour que le moût contienne une quantité de cet élément au moins égale à l'optimum ci-dessus. Il semble en conséquence qu'on pourrait se dispenser le plus souvent d'employer les sels ammoniacaux en fermentation de mélasse de canne. N. Deerr, par exemple, a observé que dans le cas des mélasses de Hawaï examinées par lui, lesquelles renfermaient 0.24 à 1.06 % d'azote, correspondant à 0.05-0.2 % d'azote dans le moût, le sulfate d'Am., n'avait aucune influence ni sur la durée de la fermentation, ni sur le rendement en alcool.

Arroyo, cependant considère que si le taux d'azote total descend au-dessous de 1 % dans les mélasses, il devient nécessaire d'ajouter à celles-ci du sulfate d'ammoniaque (0.2 à 0.5 % de la mélasse en poids), pour obtenir une bonne

fermentation en rhummerie. A partir de 1 % d'azote total, l'addition de cet élément nutritif ne se motive plus. Suivant le même auteur, les mélasses de Porto-Rico présenteraient, à quelques exceptions près, une déficience généralisée en azote. La concentration optima en azote, pour des moûts à 18-21 Brix, renfermant 11.5 à 13.5 % de sucres totaux, serait de 75 à 100 mgr. d'N par 100 cc. de moût.

Les jus de canne, surtout s'ils ont été délégués au préalable, ainsi que les sirops de batterie, présentent en général une déficience en matières azotées. Owen, par exemple, a montré que pour donner le maximum de rendement en alcool, les moûts de sirop inversé à 24° Brix de densité, exigeaient un apport de 3 gr. de sulfate d'Am. par litre.

Kozo Suzuki, à Formose, a constaté que la quantité optima de sulfate d'Am, pour les moûts de vesou renfermant 8 % de sucre, est de 0.5 gr. par litre, si ce sel nutritif est utilisé seul. Mais quand on emploie en même temps du phosphate bipotassique, les meilleurs résultats, en ce qui concerne à la fois le rendement en alcool et la rapidité de la fermentation, sont donnés par une dose de 1 gr. de sulfate d'Am et 1 gr. de phosphate par litre.

Suivant Iwata, les proportions les plus indiquées sont, pour le jus de canne provenant du premier et du deuxième moulin, de 1 gr. de chacun des sels ci-dessus par litre. Pour les jus du troisième moulin, une dose de 0.5 gr. de sulfate d'Am et de 0.1 gr. de phosphate de K suffit. Quant aux jus, plus riches en azote et en sels minéraux fournis par les cannes insuffisamment mûres, endommagées par les parasites, ou par les « bouts blancs », ils n'ont pas besoin d'être additionnés de sels nutritifs. Le vesou des cannes surmuries demande environ moitié moins de sels nourriciers que celui des cannes normales.

Le dosage de l'azote dans la matière première fournira des indications intéressantes sur les besoins du moût en sulfate d'Am. Des essais comparatifs de laboratoire seront toutefois nécessaires pour préciser la dose optima, qui peut varier avec la race de levure.

L'emploi de sels ammoniacaux présente quelques inconvénients, lorsque l'on veut obtenir une eau-de-vie corsée. Il diminue la quantité des alcools supérieurs produits. Ceux-ci proviennent, en effet, pour la plus grande partie, de la transformation des acides aminés du moût par la levure, laquelle a tendance, quand elle dispose d'une source d'azote plus facilement assimilable, à ne pas attaquer les amino-acides.

Diverses matières azotées ont été proposées de temps à autre en remplacement du sulfate d'Am. Bien que leur utilisation ne soit pas étendue, il est intéressant d'en dire quelques mots, en raison des avantages qu'elles peuvent présenter dans certains cas.

Ammoniaque et sels ammoniacaux divers. — L'emploi de l'ammoniaque a été préconisé par Owen, pour la fermentation des sirops invertis. Si les fortes doses exigées par ces derniers proviennent uniquement du sulfate d'Am, la fermentation débute d'une façon satisfaisante, mais, par suite de l'accumulation des ions SO_4 , elle devient bientôt languissante et s'arrête avant que les sucres ne soient entièrement épuisés. Pour parer à cet inconvénient, l'auteur propose de remplacer la moitié du sulfate d'Am. par une dose correspondante d'ammoniaque, qui est ajoutée au moût lorsque la fermentation est à peu près en son milieu.

En ce cas, l'emploi de phosphate d'Am. ou, ce qui est plus économique, d'azote albuminoïde, sous forme de sang desséché ou de fonds de cuve de distillerie par exemple, peut également se montrer avantageux.

L'emploi de l'ammoniaque, sous la forme d'une solution à 10 % d' NH_3 , a aussi été préconisé par Arroyo pour la préparation du levain. L'ammoniaque accélère la multiplication des cellules de levure et s'oppose davantage que le sulfate d'Am. à l'abaissement du pH, ainsi que le montrent les essais ci-après. Les doses employées ont été de 4 gr. de sulfate d'Am pur (en une fois) et de 1 cc. d'ammoniaque pur (en plusieurs fois) par litre de moût.

Temps (heures)	Nombre de cellules (millions par cc.)		pH	
	Culture avec sulf. d'Am.	Culture avec ammoniacque	Culture avec sulf. d'Am.	Culture avec ammoniacque
0.00	5.00	5.00	5.45	5.45
6.00	15.00	33.00	—	—
9.00	30.00	75.00	—	—
12.00	65.00	190.00	4.80	5.00
15.00	120.00	286.00	—	—
18.00	145.00	370.00	—	—
21.00	160.00	430.00	4.65	4.90

En utilisant, dans la fermentation du moût principal, l'ammoniacque en solution au lieu de sulfate d'Am, l'auteur précité a également observé une réduction de la durée de la fermentation et une augmentation du rendement alcoolique, en même temps qu'une diminution du taux des alcools supérieurs et un accroissement de celui des autres produits. Dans les essais ci-après, la fermentation a été effectuée à la température de 27-29° C.

	Moût de mélasse		Moût de vesou	
	avec sulf. d'Am.	avec ammoniacque	avec sulf. d'Am.	avec ammoniacque
Durée de la form. (h).	72.5	44.0	86.0	58.0
pH initial	5.0	5.0	4.8	4.8
Brix initial	22.0	22.0	16.0	16.0
Sucres à l'origine (gr. par 100 cc.) . .	13.2	13.2	1.5	14.5
pH final	4.5	4.9	4.4	4.7
Brix final	7.7	7.1	0.0	0.0
Sucres résiduels (gr. par 100 cc.)	0.8	0.5	0.48	0.14
Alcool % sucres totaux	46.9	47.1	47.40	48.50
<i>Composition des Rhums</i>				
Alcool % en vol.	81.65	82.46	80.08	82.28
Aldéhydes (gr. par hl. d'alcool à 100°).	19.12	15.40	21.11	18.10
Esters —	113.9	137.97	68.4	102.3
Alc. supérieurs —	165.1	109.74	252.9	112.2

Divers autres sels ammoniacaux : carbonate, phosphate, chlorhydrate d'Am., ont été expérimentés. Dans les conditions ordinaires, ils n'offrent pas d'avantages bien nets par rapport au sulfate, et, comme ils coûtent plus cher, ils ne sont pas à préconiser. Signalons cependant qu'Azzi (1), au Brésil, a obtenu les rendements maxima, dans la fermentation des mélasses de canne, par l'emploi du phosphate d'Am., à la dose de 150 - 200 gr. par hl.

Urée. — Lindner et Wüst, puis Bokorny, ont observé que l'urée constituait une excellente source d'azote pour la levure, laquelle se développe remarquablement dans une solution d'urine additionnée de sucre. Suivant Zeller (2), l'addition d'urine aux moûts déterminerait un accroissement de l'activité de la fermentation, pouvant aller jusqu'à 200 %. Ceci serait dû en partie aux sels ammoniacaux présents, mais surtout à une substance stimulante soluble dans l'alcool, précipitable par l'insuline et dont l'action serait comparable à celle de la vitamine B de Gigon ou du biocatalyseur Z d'Euler. La dose optimale d'urine est de 1-2 %, et l'urine de la nuit est plus active que celle du jour.

Levure peptonisée et autolysée. — Les produits de dégradation des matières

(1) Bol. de Agricult. São Paulo XXXVI, 330, 1935.

(2) Biochem. Z. CLXXII, 142, 1926.

albuminoïdes (albumines et peptones, amino-acides) sont facilement assimilés par la levure. Ai diverses reprises, on a préconisé d'ajouter au moût les fonds de cuve, préalablement traités de façon à réaliser la peptonisation ou l'autolyse des levures.

Barbet a obtenu une amélioration dans la fermentation des mélasses de betteraves, par l'emploi des fonds de cuve peptonisés par addition d'acide sulfurique sous pression.

Le résidu boueux de levure est porté à l'ébullition, dans un Krüger par exemple, et distillé jusqu'à épuisement de l'alcool. On ajoute ensuite une dose d'acide sulfurique correspondant à celle qui est nécessaire pour assurer l'acidification du moût normal ; on ferme et on porte à une pression de 2 kg. Les cellules de levure sont peu à peu dissoutes. Le mélange acide est alors refroidi et ajouté au moût. Il faut environ 500 gr. de levure peptonisée par 100 kg. de mélasse travaillée.

Dans le procédé Bauer, on effectue la peptonisation par les bactéries. La levure est abandonnée à elle-même pendant 3 ou 4 semaines dans de petites cuves, qui reçoivent chaque jour la quantité de levure correspondant à la consommation.

On peut aussi réaliser l'autolyse en maintenant en vase clos, à la température de 50°. pendant quelques jours, la levure préalablement délayée dans de l'eau.

Si l'on part de levure pressée de brasserie ou de boulangerie, on peut faire avec celle-ci une pâte claire en diluant au moyen d'eau distillée. On ajoute un poids égal d'une solution saturée de sucre blanc.

Owen a pu obtenir, en ajoutant des fonds de cuve autolysés à des moûts de mélasse de canne, des excédents de rendement appréciables, ainsi que le montrent les chiffres du tableau ci-après :

Type de mélasse	Rendement % Rendement théorique		Quantité levure autolysée %
	Sans levure autolysée	Avec levure autolysée	
« High test » de Porto-Rico	83.94	85.07	0.25
—	82.8	87.51	0.56
—	82.8	86.2	0.50
—	83.94	87.51	0.50
—	86.19	88.63	0.50
Cuba	84.56	86.8	0.50
Louisiane	85.63	90.3	0.25
Mélasse de betteraves	83.8	88.8	0.25

Owen a constaté que les augmentations de rendement étaient surtout accentuées dans le cas des moûts à forte densité, riches en sucre.

Kayser a montré qu'en présence de levure autolysée, il y a production plus importante d'impuretés, particulièrement d'alcools supérieurs. Ci-après quelques résultats obtenus, en faisant fermenter un moût de mélasse à 12 % plus de 25 % de vinasse avec 2 levures de rhum, en l'absence et en présence de 2 % de levure de bière autolysée :

Composition du distillat (en gr. par hl. d'alcool à 100°)

	Sans levure autolysée		Avec levure autolysée	
	Lev. III	Lev. XXII	Lev. III	Lev. XXII
Acides volatils	18.60	17.70	22	20
Esters volatils	38	40	40.80	68
Alcools supér.	110	155	225	245

Dans un autre essai avec de la levure de rhum autolysée (2 %), le même auteur a obtenu :

	Sans levure autolysée	Avec levure autolysée
Acidité totale	9.4	11.8
Esters volatils	48	60
Esters supérieurs	282	415

Les produits protéolytiques provenant de l'autolyse agissent non seulement sur la quantité, mais encore sur la nature des esters obtenus. L'alcool fourni par le ballon avec levure autolysée de l'essai précédent avait très bon goût et était plus parfumé que celui du ballon témoin. La composition des esters était la suivante :

Sans levure autolysée :	1 ac. valérianique
	<hr/> 6 ac. acétique
Avec levure autolysée :	1 ac. valérianique
	<hr/> 2.5 ac. acétique

Enfin, la fermentation des ballons ayant reçu la levure autolysée partait plus rapidement et se terminait plus tôt. Kayser préconise en conséquence l'addition de levure autolysée dans le cas des fermentations faites avec certaines levures pures, peu productives d'alcools supérieurs, et aussi pour activer les fermentations.

Il y a lieu de signaler que les boues des cuves de fermentation et les lies des appareils à distiller, constituées pour la majeure partie par des cellules de levure, paraissent jouer un rôle important dans la préparation du rhum Jamaïque à grands arôme. Ces matières, qui sont recueillies dans le « muck hole », constituent une source de matières azotées, dont la transformation, par les levures et les bactéries, contribuerait puissamment à la production du bouquet (Allan). De même, dans la fabrication du rhum grand arôme de la Martinique, les dépôts de levure, au lieu d'être évacués à chaque nouvelle fermentation, sont conservés dans les cuves : c'est seulement lorsque leur niveau dépasse une certaine hauteur qu'on en élimine une partie.

Phosphates.

Les phosphates jouent un rôle important dans la fermentation alcoolique. Divers auteurs ont montré qu'ils stimulent d'une façon très marquée l'activité fermentative de la levure (Delbruck, Elion, Young). Elion (1) notamment a constaté que le phosphate monopotassique et le phosphate neutre d'ammoniaque déterminent une augmentation du dégagement de CO₂, variant, dans un temps donné, de 28 à 63 %, suivant la race de levure.

Cependant, malgré que les moûts de mélasse ne contiennent généralement qu'un faible taux d'acide phosphorique, l'addition de phosphates a donné assez rarement des résultats profitables industriellement.

Peck et Deerr, par exemple, n'ont pu obtenir d'accélération de la fermentation, ni d'augmentation du rendement en alcool, en ajoutant du phosphate de chaux aux moûts de mélasse des Hawaï, qui renfermaient moins de 0.03 % de P₂O₅.

Par contre, Owen et Chen ont constaté que les sirops invertis de Cuba, pour donner le maximum de rendement en alcool, exigeaient un apport relativement important d'acide phosphorique : 1 gr. de phosphate de potasse par litre de moût à 20° Brix.

Dans la fermentation industrielle des mélasses finales de Porto-Rico, on emploie habituellement 250 à 500 gr. de phosphate de chaux par 1.000 l. de moût.

(1) Zent Bakt. Parasit. XIV. 1893/.

Suivant Arroyo, en fermentation rhummière, la dose optima d'acide phosphorique le varierai, pour les mélasses, entre 0,2 et 0,25 % de P_2O_5 . La déficience en acide phosphorique serait beaucoup moins fréquente dans les mélasses de Porto-Rico que celle en zote. Un excès de P_2O_5 , associé à une insuffisance d'N gêne sérieusement, d'après les observations du même auteur, la bonne marche de la fermentation qui pourrait être même complètement arrêtée dans les cas extrêmes. Dans de tels cas, l'addition d'azote, en quantité suffisante pour porter le rapport P_2O_5/N aux environs de 1/5, permettrait de rétablir immédiatement la marche normale. La concentration optima, en acide phosphorique pour des moûts à 18-20° Brix, renfermant 11,5 à 13,5 % de sucres totaux, se fait de 15 à 20 mgr. de P_2O_5 par 100 cc. de moût.

Les expériences effectuées par Kozo Suzuki et par Iwata à Formose sur la fermentation du jus de canne ont montré que les meilleurs résultats étaient obtenus par l'addition de 1 gr. de phosphate de K par litre, avec les jus normaux. Le vesou fourni par les cannes immatures ou fortement attaquées par les insectes ne demande pas d'acide phosphorique.

Sels de magnésie, de manganèse, etc...

Divers auteurs ont signalé l'action favorable exercée sur le rendement en alcool et sur la rapidité de la fermentation par certains sels métalliques. Il est d'ailleurs le plus souvent difficile de préciser si ceux-ci interviennent en fournissant à la levure une matière nutritive qui manque dans le moût, ou s'ils agissent comme stimulants de la fonction zymasique. Cette stimulation peut être elle-même de nature biocatalytique, ou résulter de l'action neutralisante exercée vis-à-vis de certains principes toxiques produits par la levure.

On conseille souvent l'emploi de *sulfate de magnésie*, dans la fermentation des sirops invertis et des mélasses de forte richesse saccharine. Owen et Chen ont obtenu une légère augmentation du rendement alcoolique et un accroissement important de la rapidité de la fermentation, en ajoutant à des moûts de sirop inversé de Cuba (à 20° Brix) du sulfate de Mg, à la dose de 1,5 gr. par litre. Il est possible que, dans certains cas, les matières premières sucrées, et particulièrement les jus de canne déféqués, présentent une déficience en magnésie, qui rende utile l'addition de cet élément aux moûts.

Kayser a observé que les sels de magnésium agissaient aussi sur les produits secondaires de la fermentation, en augmentant notamment le taux des alcools supérieurs et en diminuant celui des esters. Cet auteur a obtenu, dans un essai de fermentation avec et sans phosphate de magnésie, les résultats ci-après (en gr. par hl.) d'alcool à 100° :

	Sans phosphate de magnésie	Avec phosphate de magnésie
Esters volatils	48,7	8,0
Alcools supérieurs	97,1	285,2

Guanzon et Lopez ont constaté que le *sulfate de Mg*, employé à la concentration de 0,005 à 0,01 mol. (0,60 à 1,20 gr. par litre), augmentait le rendement alcoolique des moûts de mélasse de canne (1) dans des proportions variant de 2,46 à 8,88 %. Avec le *sulfate de Ca*, utilisé dans les mêmes conditions (0,68 à 1,36 gr. par l.), le rendement en alcool était accru de 8,27 à 11,12 %. L'effet utile du sulfate de Ca était diminué par l'emploi simultané du sulfate de Mg. Ces résultats seraient dus à l'action antagoniste exercée par les ions Ca vis-à-vis des ions K et par les ions Mg vis-à-vis des ions Na. Dans les essais qu'ils ont effectués, les auteurs ci-dessus ont, en effet, observé une réduction de l'augmentation de rendement, lorsque le sulfate de Ca était employé en même temps avec le sulfate de K, et le sulfate de Mg avec le sulfate de Na. Ce dernier sel, utilisé seul, donnait des rendements inférieurs à celui des témoins. Comme les mélasses de canne renferment des proportions souvent très fortes de sels de K ou de Na, l'addition au moût de sulfate de Ca ou de Mg permet-

(1) La mélasse, diluée à 18 Brix, renfermait par litre : Ca 0,5825 gr. ; Mg 0,1464 gr. ; K 0,4318 et Na 3,9590 gr.

trait de contrebalancer l'influence nocive exercée sur la nutrition de la levure par une solution physiologiquement mal équilibrée. Ca et Mg, qui présentent entre eux un antagonisme prononcé, ne doivent jamais être employés simultanément.

Lasnitzki et Szorenyi (1) ont constaté que les sels de potasse (KCL) augmentaient fortement la rapidité de la fermentation (de 150 % environ). Même dans le cas des mélasses de canne, cependant très riches en K, l'addition de sels de potasse pourrait dans certains cas provoquer des augmentations de rendement. Guanzon et Lopez ont pu obtenir un accroissement de 10¹ à 300 % dans les ballons traités avec du sulfate de K à la concentration de 0.005 — 0.01 mol. Ils attribuent ceci à l'action antagoniste exercée par K vis à vis des ions métalliques autres que Na, qui se rencontrent normalement dans les mélasses.

Suivant Sanzo et Pirrone (2), si l'on ajoute de l'eau de mer aux solutions de glucose, on observe une accélération marquée de la fermentation alcoolique (20 à 24 % avec 13 % d'eau). Cette action serait plus prononcée lorsque l'eau a été fraîchement recueillie. A dose élevée (au-dessus de 20 %), l'eau de mer provoque au contraire un retard marqué de la fermentation. Brill et Thurlow (3) ont observé aux îles Philippines, où la mélasse est assez souvent diluée avec de l'eau de mer pour la préparation des moûts, que le rendement alcoolique diminue proportionnellement avec la quantité d'eau de mer, lorsque celle-ci dépasse un certain taux. Le rendement en alcool (% rendement théorique), de 71.6 dans les cas de mélasse diluée avec de l'eau distillée additionnée de 3 équivalents de NaCl (0.48 gr par l.), tombait à 63.4, quand on utilisait 1/4 d'eau de mer, et à 55.5, si l'on employait uniquement cette dernière.

Mitra (4) en Californie, a constaté que les chlorures de Na, K, Ca et Mg, s'ils atteignent une certaine concentration sont plus ou moins toxiques pour les levures. KCL s'est présenté comme le moins toxique et NaCl comme le plus toxique.

Kayser et Marchand (5) ont observé que l'addition de sulfate de manganèse à un moût sucré concentré (1 gr et 1.5 gr de sulfate par litre à 24 % de sucre) avait pour effet de pousser la fermentation beaucoup plus loin et de donner une augmentation d'alcool atteignant parfois 3 %. La quantité de glycérine et d'acides volatils se trouve également augmentée, tandis que les acides fixes diminuent. Le lactate, l'acétate et le nitrate de Mn se comportent sensiblement comme le sulfate, mais avec le succinate et le phosphate on observe, pour une disparition plus forte de sucre, des teneurs en alcool plus faibles que dans le témoin. L'accoutumance des levures aux sels de manganèse permettrait, d'après Kayser et Marchand, d'obtenir des fermentations plus complètes. Le phosphate de manganèse augmenterait le taux des impuretés, particulièrement celui des alcools supérieurs et des esters (Kayser).

Plus récemment, Hildebrandt et Boyce, expérimentant avec des moûts de mélasse de canne, ont constaté que par l'emploi de petites quantités de sulfate de manganèse, de sulfate de cuivre et de cyanure de sodium, on obtenait une augmentation du rendement alcoolique variant de 1 à un peu plus de 2 %. L'action stimulante était plus prononcée et plus régulière, lorsqu'au lieu d'ajouter le sel métallique au moût normal, on l'ajoutait au levain, à la dose de 1 pour 1000 à 10.000 dans le cas du sulfate de Mn, 1 pour 1000 à 3.000 dans celui du sulfate de Cu et de 1 pour 10.000 dans celui du cyanure de Na. L'opération doit être renouvelée à chaque nouveau levain, l'action des sels ne se faisant pas sentir au delà de la seconde génération. Cette façon de faire en permettant de réduire à un faible chiffre la quantité de sels nécessaires, rend relativement peu coûteux l'emploi de ceux-ci dans les fermentations industrielles.

(1) Blochem. J. XXIX, 580, 1934.

(2) Atti R. Acad. Lincei 161, XIII, 140, 1921.

(3) Philippine J. Sc. A XII, 267, 1917.

(4) Univ. of California. Public. in Agr. Sc. III, 63, 1917.

(5) Ann. Inst. Agr. 121 VI, 355, 1907.