

Trente ans de travaux en technologie rhumière à l'Inra-Antilles-Guyane : Trente ans de recherche en technologie des rhums

Fahrasmane L., Parfait B.

INRA UMR 1270 QUALITROP, Domaine Duclos Prise d'eau F-97 170 Petit-Bourg, France

Correspondance : Louis.Fahrasmane@antilles.inra.fr

Résumé

Les rhums produits dans les Départements d'Outre-Mer français sont marqués par leur caractère aromatique fort et original. Trente ans de travaux de recherche menés par l'INRA au Centre Antilles-Guyane ont permis de décrire les flores bactérienne et de levure des milieux de fermentation et de sortir d'une manière de produire basée principalement sur des pratiques empiriques. Les données acquises ont contribué à la maîtrise des aléas de fermentation et en même temps à un contrôle de l'acidité des produits, d'où une meilleure maîtrise de la régularité de la qualité des rhums. La première souche de levure commerciale sélectionnée pour la rhumerie a été un des résultats (1998) marquants de ce programme, ainsi que la mise au point de procédés de dépollution et de valorisation des effluents par méthanisation.

Mots clés : rhum, microbiologie, canne à sucre, fermentation, levure, bactérie, effluents, dépollution, méthanisation, composition

Abstract: Thirty years of research on rum technology at Inra Antilles-Guyane

The rums produced in the French overseas Departments are marked by their strong and original aromatic character. Thirty years of research conducted at INRA Centre Antilles-Guyane allowed the inventory of the bacterial flora and the yeast strains involve in fermentation media, and get out of a manner of production mainly based on empirical practices. The collected data have contributed to control the vagaries of fermentation and at the same time to control the acidity of the distillates, resulting in better control of the regularity of rums quality. Among main results there were: a commercial yeast strain selected for the rum distillery, the first in the world for this purpose, and processes developed for wastewaters remediation by anaerobic digestion producing also energy.

Keywords: rum, microbiology, sugarcane, fermentation, yeast, bacteria, wastewaters, wastewaters treatment, composition

Introduction

Dans les 3 îles Départements d'Outre-Mer français, la production et la transformation de la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) demeurent une part significative de leur économie respective, à travers la production sucrière et la production de rhums traditionnels.

Le terme « rhum » est générique et désigne les distillats alcooliques de bouche, provenant de la distillation de moûts fermentés, préparés à base de produits sucrés issus exclusivement de la canne à sucre : jus, sirop, mélasse. Les rhums de type traditionnel sont caractérisés par leur caractère aromatique. Ce type de production fait appel à un savoir-faire empirique des producteurs. Pour demeurer en phase avec les nouveaux modes de consommation, les évolutions de la distribution et le besoin de négocier avec les structures administratives et politiques qui interviennent dans

l'environnement de cette filière, les producteurs ont eu un impérieux besoin de données techniques et scientifiques sur les processus de production et les produits. Il en a résulté un besoin de recherche qui a été pris en compte dès 1970. Depuis 1972, l'INRA au sein de son Centre Antilles-Guyane a mis des moyens opérationnels qui ont permis de réaliser des travaux pour ce secteur d'activité.

La canne à sucre est une ressource agricole qui, à l'échelle mondiale, fait l'objet de sélection et de création variétale depuis un peu plus d'un siècle. Cependant, il n'y a pas eu jusqu'à maintenant de canne spécialement destinée à la transformation rhumière.

La fabrication du rhum traditionnel fait intervenir des levures et des bactéries qui convertissent le sucre en éthanol et co-produisent des composés à propriétés aromatiques. Ces souches sont souvent de genres et d'espèces identiques à celles que l'on rencontre dans d'autres fermentations agro-industrielles (*Saccharomyces*, bactéries lactiques). *Schizosaccharomyces* constitue un genre spontané, singulier, et obligatoire dans la production du rhum traditionnel de type grand arôme. Les écosystèmes que constituent les milieux de fermentation de rhumerie, ont des conditions physico-chimiques remarquablement différentes des milieux de brasserie, d'œnologie ou de transformation du lait. La connaissance qui pourrait être générée sur ces micro-organismes, de milieux tropicaux, est scientifiquement intéressante pour la microbiologie moderne.

Les rhums traditionnels

Leur diversité ainsi que des raisons historiques, culturelles et fiscales les font apprécier. La dynamique forte de la commercialisation des rhums de tous types fait prendre conscience aux français que la route du rhum fait le tour du monde. De ce fait, la production traditionnelle aura de plus en plus à faire face, sur ses marchés de prédilection, à la production mondiale. D'où la nécessité pour elle, de produire des connaissances pour pouvoir valoriser ses produits, de se doter d'arguments techniques nouveaux, lui permettant de disposer d'arguments de marketing, qui garantissent la notoriété des marques les plus connues.

La production traditionnelle a été pendant longtemps caractérisée par la mise en œuvre de jus de canne ou de mélasse, sans cahier des charges sur la qualité de ces matières premières, ainsi que par l'utilisation d'eau de dilution non assainie, prélevée dans le milieu naturel (cours d'eau, nappe phréatique). La fermentation était bien souvent spontanée. Il en résultait une très grande variabilité de la qualité des produits dont certains étaient caractérisés par une acidité volatile élevée et la présence d'off-flavor, de goûts anormaux (acroléine, alcool allylique...). La production était donc confrontée à un problème de non-qualité provenant pour beaucoup de la qualité sanitaire des matières premières, et d'une fermentation mixte aléatoire.

Mise en place de la démarche de recherche

La production rhumière des Antilles-françaises a toujours été marquée par le caractère aromatique de ses produits. Au début du siècle dernier, les tentatives d'intégration dans le schéma de production de nouvelles pratiques provenant de la microbiologie industrielle (culture pure, cuve-mère, souche sélectionnée...), avaient échoué, car on avait privilégié les gains de productivité. Les produits qui en avaient résulté étaient neutres du point de vue aromatique. La plupart des producteurs revinrent, vers 1920, aux fermentations mixtes. Cependant, le passage de l'alambic à la colonne Créole, dans le but d'améliorer la productivité se fit progressivement, entre 1818 et 1865, sans retour en arrière, même s'il est reconnu que les produits issus de l'alambic sont de meilleure qualité aromatique que ceux obtenus avec une colonne à distiller.

Le caractère aromatique des rhums traditionnels est un facteur déterminant dans leur utilisation culinaire. En France, en particulier, près des 2/3 du rhum sont singulièrement utilisés comme ingrédient culinaire. Au sein des eaux-de-vie, l'ampleur de cette forme d'utilisation du rhum traditionnel est une singularité. Pour l'instant, dans la fabrication et la commercialisation, il n'y a pas eu de prise en considération tendant à valoriser spécifiquement ce type d'utilisation. Il est intéressant de noter qu'environ 10 000 hectolitres d'alcool pur de rhum grand arôme, type particulièrement aromatique, sont commercialisés annuellement comme ingrédient culinaire, exclusivement à des préparateurs culinaires, avec une fiscalité particulièrement réduite. C'est une voie qu'il faut dynamiser. Pour ce faire, il y a tout une acquisition de connaissance à réaliser sur l'écologie microbienne des milieux de fabrication du rhum grand arôme. C'est un écosystème complexe et spontané qu'on sait à peine reproduire. L'échec de nombreuses tentatives pour le reproduire en témoigne.

Le besoin de maîtriser la qualité de cette production aromatique, et d'objectiver les descripteurs des produits, a conduit les groupements professionnels rhumiers, de la Guadeloupe et de la Martinique, à se tourner vers la recherche et le développement. C'est en réponse à l'expression de ce besoin que l'INRA a mis en place de travaux de recherche. P. Dupuy, Directeur de recherches à l'INRA, a effectué une mission de deux semaines en mars 1970, dans les Caraïbes, avec comme but principal de donner une orientation scientifique à un futur laboratoire INRA, travaillant en faveur de l'industrie rhumière. Dans son rapport de mission, il a proposé un programme de recherches pour « une étude sur la fermentation du rhum ». Celui-ci présentait pour objet le rhum agricole et le rhum industriel. Les objectifs proposés étaient de:

- « ...mieux connaître la flore responsable de la fermentation et en particulier le rôle des bactéries ».
- déterminer « les conditions qui permettront d'augmenter le rendement et les esters, et de diminuer les alcools supérieurs et les aldéhydes ».

Dès 1972, A. Parfait a entamé des travaux, à l'Unité de Recherche en Technologie des Produits Végétaux du Centre INRA Antilles-Guyane.

Premiers travaux d'approche

Ceux-ci ont reposé sur: les esters qui sont réputés être des composés de qualité des eaux-de-vie, un problème de goût anormal qui existait sur les produits de l'époque, et la nécessité de dresser un état de l'art.

La composition des rhums traditionnels en esters volatils d'acides gras supérieurs a été le premier résultat publié (Parfait *et al.*, 1972). Bien que le mélange de ces composés ne soit pas à l'origine de l'arôme caractéristique des rhums, il participe à leurs qualités. Les facteurs présentés comme importants pour l'élaboration de la qualité sont la distillation à un faible taux de rectification, l'addition de cire au milieu de fermentation, la distillation des moûts troubles et l'emploi de souches sélectionnées de levure.

La présence de dérivés de l'acroléine dans un rhum à goût anormal (Dubois *et al.*, 1973) a été l'objet de travaux qui ont conclu que le mauvais goût observé était le fait de la présence d'acroléine dans les moûts fermentés correspondant.

Parfait et Sabin (1975) ont fait le point sur les principaux paramètres opératoires de la technologie rhumière, la flore en levure, et la composition analytique des principaux types de rhum traditionnel que sont : le rhum agricole, le rhum industriel, le rhum grand arôme et le rhum de sirop. Les auteurs ont conclu que « cette production traditionnelle des Antilles françaises donne une place importante à l'art de l'opérateur ». Ces auteurs ajoutaient que la fixation des paramètres de la fermentation (température,

flore, appareil à distiller, complémentation...) ne garantissait pas l'obtention d'un produit donné dans des conditions régulières. Il n'y avait donc pas maîtrise du processus.

En 1975, un symposium international sur les rhums a été organisé par l'INRA et l'Association pour la Promotion des Industries Agricoles a été l'occasion de faire le point sur les compétences disponibles et les approches développées en divers points du globe, en matière de technologie rhumière. Ces premiers jalons posés ont permis d'identifier que la production rhumière traditionnelle souffrait sporadiquement de problèmes de non-qualité, qui dépassaient le problème de goût anormal des produits de l'époque. Il était manifeste qu'il y avait un manque d'appréhension de problèmes sanitaires au niveau, des matières premières, de l'eau de dilution, et des installations industrielles. Au-delà des éléments qui définissent réglementairement le rhum, il fallait identifier des données sanitaires, microbiologiques et opératoires en fermentation, qui permettraient de fabriquer des produits sans mauvais goût et off-flavor, tout en laissant de la place à la diversité.

Des voies d'investigation ont alors été développées progressivement en vue d'identifier des moyens de contrôler les sources de non-qualité des rhums traditionnels et la maîtrise de la régularité de la production. Elles ont concerné :

- la microbiologie des milieux de fermentation, tant en ce qui concerne les levures que les bactéries, la chimie des rhums et les voies métaboliques,
- les conditions opératoires permettant de contrôler l'apparition d'off-flavors.
- des procédés de traitement et de valorisation des effluents de la rhumerie,
- la chimie des rhums en liaison avec la microbiologie des fermentations, la maturation des distillats.

La maîtrise de la non-qualité

Les matières premières, mélasse et jus de canne à sucre, ne sont pas stériles et les milieux de fermentation ne sont ni stérilisés ni pasteurisés. Avec l'eau de dilution, les matières premières hébergent une flore bactérienne qui se développe durant la fermentation rhumière. Les travaux en bactériologie ont montré qu'en technologie rhumière existe une flore bactérienne variée dont nous avons fait une synthèse (Fährasmane et Ganou-Parfait, 1998).

Dans le caractère aromatique des rhums traditionnels, la flore bactérienne joue un rôle déterminant ; leur élimination conduit à des produits neutres, c'est le cas dans la production des rhums légers. Au-delà d'un certain seuil, les bactéries peuvent être préjudiciables à la qualité des produits. Sans chercher à éliminer les bactéries, il sera intéressant d'identifier les conditions, les mécanismes d'apparition de facteurs négatifs au rhum, provenant de l'activité bactérienne, afin de proposer des solutions pour les contrôler.

Bactériologie des eaux de dilution.

Pour la composition des moûts, de l'eau est apportée. Les volumes utilisés représentent entre la moitié et les 4/5 de la cuvée. Elle provient de rivières ou de nappes phréatiques. Une étude sur la bactériologie des eaux de fabrication de distillerie en Guadeloupe a été réalisée (Ganou-Parfait *et al.*, 1991). Les bactéries des eaux de dilution sont des germes anaérotolérants (10^6 c.f.u./ml) : coliformes, streptocoques fécaux, *Clostridium*, bactéries sulfato-réductrices (BSR) (10^3 c.f.u./ml). Leur nombre s'accroît avec le taux de minéralisation de ces eaux. La flore des eaux, particulièrement celle des rivières, s'accroît sérieusement quand il fait mauvais temps. De plus en plus, les distilleries sont équipées en station de traitement des eaux ; c'est une nécessité pour gérer le risque sanitaire

bactériologique pouvant provenir de l'eau de dilution, en particulier avec des eaux fortement minéralisées ou en période pluvieuse. Le statut sanitaire des eaux de fabrication s'est amélioré.

L'acidité volatile des vins et des rhums.

Trois facteurs principaux agissent sur la nature et les quantités d'acidité volatile des rhums (Fahrasmane *et al.*, 1983) :

- les agents fermentaires,
- la température de fermentation dont l'élévation augmente l'acidité volatile,
- le degré de distillation.

L'acidité volatile des milieux fermentés et des distillats est en relation avec l'activité de la souche de levure intervenant durant la fermentation alcoolique. Les bactéries présentes dans les milieux de fermentation contribuent au pool d'acidité volatile ; en particulier lors d'accidents de fermentation, l'acidité volatile de ces milieux est augmentée. Le ralentissement de la vitesse de fermentation qui en résulte peut aboutir à un arrêt de la fermentation (Ganou-Parfait *et al.*, 1991).

Les rhums de consommation ont généralement une acidité volatile qui varie entre 1 et 5 milliéquivalent/litre (még/l). Ce paramètre double dans les produits vieillis. Dans les rhums acides, accidentés, l'acidité volatile varie entre 10 et 20 (még/l).

Le niveau d'acidité volatile et les proportions de ses composantes apparaissent comme des indicateurs de la présence de bactéries et de leur activité au cours de la fermentation rhumière.

La bactériologie des moûts.

Le jus de canne à sucre qui est la matière première des distilleries agricoles, contient des germes aérobies (Ganou-Parfait *et al.*, 1991). *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Bacillus* sont les genres les plus actifs. Elles proviennent du sol, des tiges de canne à sucre, de l'air et des installations. On y trouve aussi des anaérobies aérotolérants, capables d'utiliser le lactate produit par *Leuconostoc*, *Lactobacillus* et des *Clostridium* anaérobies. Les bactéries lactiques dominent.

Dans les mélasses, on trouve principalement des bactéries lactiques et des sporulées (*Bacillus*).

Les populations des moûts de distillerie sont très variées. On y trouve :

- Des *Micrococcus* dans les jus de canne à sucre (Ganou-Parfait *et al.*, 1988). Ce sont des bactéries du sol, qu'on trouve aussi sur les tiges de canne à sucre, dans le moût de distillerie ; elles semblent se répartir en trois types. Elles sont préfermentaires : alors que l'anaérobiose n'est pas encore établie, leurs populations atteignent 10^5 c.f.u. /ml dans les moûts. Leur activité est préjudiciable à la qualité des produits, car elles produisent de l'acide acrylique et de l'alcool allylique dans les rhums à base de jus de canne.
- Des *Bacillus* dans les moûts à base de jus de canne à sucre (Ganou-Parfait *et al.*, 1987). Elles proviennent de cannes attaquées par les rongeurs (rats), et creusées de galeries par des insectes foreurs. Les souches se maintiennent en anaérobiose. Elles produisent des acides gras volatils à partir du lactate. Elles ont la particularité de former des voiles en surface des cuves à la fin de la fermentation alcoolique. Ces voiles semblent protéger les cuves à ciel ouvert du développement de bactéries acétifiantes.
- Des *Corynebacterium* (Lencerot *et al.*, 1984) et des *Clavibacter*. Elles proviennent de la canne à sucre, surtout quand son statut sanitaire se dégrade. Ces bactéries dégradent le glycérol, produit

secondaire de la fermentation alcoolique par la levure, en acroléine(2-propénal) et en 2-propénol. Ces réactions donnent des rhums à goût piquant.

- Des *Clostridium* qui sont des germes anaérobies. L'amélioration de la qualité sanitaire des eaux de fabrication a permis de faire diminuer la population des *Clostridium* telluriques. Les clostridies jouent un rôle important dans la fabrication du rhum grand arôme, avec en particulier *Clostridium saccharobutyricum*. Les milieux à base de jus de canne à sucre contiennent fréquemment *Clostridium butyricum* et *Clostridium bifermentans*. Dans les milieux à base de mélasse, on trouve aussi quelques espèces de clostridies.
- Des bactéries lactiques dont le nombre varie entre 10^7 et 10^8 c.f.u./ml, en début de fermentation, que ce soit dans des moûts à base de jus de canne ou à base de mélasse. 80 à 90 % des souches ont un comportement anaérobie. On y trouve des bactéries homofermentaires et des hétérofermentaires. Leur activité génère de l'acide lactique et des polysaccharides. Les bactéries lactiques constituent l'essentiel de la flore bactérienne des moûts à base de mélasse ; tandis qu'elle est plus variée dans ceux à base de jus de canne.

Une approche de la dynamique des diverses espèces bactériennes au cours du cycle fermentaire permet de conclure, qu'en particulier, dans les moûts à base de jus de canne à sucre, il y a une préfermentation lactique des moûts, avant que la fermentation alcoolique n'ait lieu (Ganou-Parfait *et al.*, 1989). Des travaux en cours ont pour but de modéliser cette « co-culture », afin de la valoriser technologiquement. En effet, la pratique courante est d'acidifier les moûts en début de fermentation par apport d'acide sulfurique. En dirigeant l'écologie microbienne, on pourrait faire en sorte qu'il y ait maîtrise d'une acidification biologique lactique qui permettrait ensuite une fermentation alcoolique par la levure, dans la gamme de pH habituelle qui protège le milieu du développement de bactéries préjudiciables.

La fermentation alcoolique en rhumerie

Les principales opérations unitaires réalisées au cours de la production rhumière sont l'extraction, la fermentation et la distillation. Il y a des pertes à toutes ces étapes. Les pertes au cours de l'étape de fermentation sont les plus importantes. Des mesures de rendement fermentaire en fermentation alcoolique ont été effectuées sur des productions traditionnelles (Fahrasmane, 1991).

Les résultats sont les suivants :

- Rendement Gay-Lussac	0.67 l AP /kg glucose,
- Rendement Pasteur	0.61 l AP /kg glucose,
- Rendement optimal théorique	0.59 l AP /kg glucose,
- Rendement sur mélasse	0.52 l AP /kg glucose,
- Rendement sur jus de canne	0.47 l AP /kg glucose,
- Rendement sur sirop	0.40 l AP /kg glucose.

En distillerie de mélasse de betterave, avec un levurage par cuve-mère, le rendement fermentaire est de 0.58 l AP /kg glucose (de Miniac, 1988). Même si l'amélioration du rendement n'était pas une priorité, après que les problèmes de non-qualité avaient été réglés, les professionnels se sont souciés de l'amélioration du rendement. Une des voies explorées est la recherche de souches de levures sélectionnées, adaptées à la fermentation des produits à base de canne à sucre (Fahrasmane *et al.*, 1986)

Des *Schizosaccharomyces* de rhumerie ont été isolées et collectionnées dans notre Unité (Fahrasmane *et al.*, 1988). Leur étude taxonomique a montré qu'il y avait essentiellement des *Schizosaccharomyces pombe* (90 %), quelques *S. malidevorans* (8%), et une *S. japonicus* (2 %). Une étude sur leur utilisation en technologie rhumière a été réalisée (Ganou-Parfait et Parfait, 1980). Ce genre de levure peut dans certaines conditions technologiques, avoir une productivité en fermentation alcoolique, équivalente à *Saccharomyces cerevisiae*. Le profil aromatique des composés secondaires produits est très différent de celui des *Saccharomyces*.

Schizosaccharomyces et le complexe bactérien, riche en *Clostridium*, qui l'accompagne dans la fermentation du rhum grand arôme constituent pour l'instant un écosystème, donnant des produits singulièrement riches en propriétés aromatiques. Les producteurs ne savent au mieux que reproduire cet écosystème sans le contrôler. Il y a là des connaissances à générer, afin de le maîtriser et mieux le valoriser.

Une collection de souches de *Saccharomycetaceae* de rhumerie a été constituée (Parfait et Sabin, 1975 ; Fahrasmane et Ganou-Parfait, 1998). A partir de cette collection, une étude a été entreprise en vue de sélectionner des levures pour la rhumerie. Ce travail a abouti en 1997 à la sélection, au plan mondial, de la première souche commerciale de rhumerie : DANSTIL EDV 493 (Vidal et Parfait, 1994), une *Saccharomyces cerevisiae* commercialisée, sous forme de levures sèches actives, par Lallemand S.A.. Cette levure sélectionnée permet une amélioration des rendements de fermentation et de la productivité, moyennant un aménagement de l'ensemencement, par rapport aux conditions habituelles de coupage. Une de ses particularités est de ne pas être aussi affectée que les autres souches de levure, utilisées comme levure d'appoint, aux températures avoisinant 35 °C que l'on peut mesurer dans les cuves de rhumerie.

La tige de canne à sucre est enveloppée d'une couche cuticulaire de cire. La cire est concentrée dans les boues de défécation de la sucrerie. Un fractionnement de ces boues a été entrepris. Des stéroïdes, notamment stigmasterol et sitostérol en ont été isolés. Ceux-ci ont été ajoutés à des milieux de fermentation alcoolique afin d'étudier leur action sur le comportement fermentaire des levures. Lorsqu'il s'agit de levures sauvages, l'ajout de ces stéroïdes se traduit par un gain de production d'éthanol, comparativement à un milieu témoin sans apport de stéroïdes. La levure de boulangerie déjà relativement riche en stérols est bien moins sensible à l'apport de stéroïdes (Bourgeois et Fahrasmane, 1988).

Produits secondaires de la fermentation alcoolique

Le glycérol est un produit secondaire de la fermentation alcoolique, fréquemment présent, en des quantités variables, dans le milieu de fermentation en rhumerie. Il a la particularité d'être consommé par des bactéries (Fahrasmane et Ganou-Parfait, 1998) (*Micrococcus*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Clostridium*) en produisant des composés liés aux mauvais goûts des rhums : de l'acroléine, du propène 2 et quelques fois de l'acide acrylique. Ces composés sont des indicateurs de désordres bactériens, auxquels il faut remédier, par exemple en production à base de mélasse en évitant les conditions fermentaires qui sont favorables à la formation de glycérol (18), et en travaillant dans des conditions sanitaires qui inhibent l'action d'une flore bactérienne contaminante surabondante.

A l'issue d'un travail de thèse sur « la formation des acides gras courts et des alcools supérieurs par des levures de rhumerie », Parfait et Jouret (1980) ont montré que le choix de l'espèce et de la souche de levure est déterminant dans le contrôle quantitatif et qualitatif de la production des acides gras courts et des alcools supérieurs. Il apparaît que dans le milieu jus de canne il y a formation d'acide propionique ; la composition en acides organiques (citrique, aconitique et malique) du jus semble déterminante dans cette production. Il y a à mettre ce résultat en liaison avec la singulière richesse des rhums traditionnels en acide propionique en particulier, et plus généralement en acides gras courts.

Du point de vue méthodologique, nous nous sommes intéressés à l'acide éthyl 2 méthyl 3 butyrique, identifié par certains auteurs comme caractéristique des rhums (Fahrasmene *et al.*, 1985). Ce travail a montré que ce sont plus les quantités de cet acide d'origine bactérienne qui sont singulièrement élevées qui le singularisent, car en définitive on trouve ce composé dans d'autres substances de bouche.

Chimie des rhums

Les travaux réalisés en chimie des rhums, au-delà des esters, ont porté sur des composés chimiques ou des familles chimiques qui sont majeurs dans le non-alcool (les alcools supérieurs), ou qui sont sensibles en terme de qualité des produits.

Le rhum contient une plus grande variété et de plus grandes quantités de composés organo-soufrés que les autres spiritueux (Fahrasmene *et al.*, 1989). D'après Leppanen *et al.* (1979), le rhum est le seul spiritueux contenant du sulfure de diméthyle. L'activité de bactéries sulfatoréductrices dans les milieux de fermentation serait en partie à l'origine de tous ces composés. La composition en éléments soufrés de la canne à sucre et l'apport, lors de la préparation des moûts, de sulfate d'ammonium et d'acide sulfurique, fournirait un substrat aux bactéries sulfato-réductrices des moûts.

En aval de la distillerie, la méthanisation des effluents pose le problème d'un équilibre précaire entre les flores méthanigènes et sulfato-réductrices. La fraction organo-soufrée des rhums mérite une étude approfondie et systématique, car elle présente un intérêt analytique et organoleptique pour la caractérisation des rhums.

Le dosage de l'acide formique dans les rhums vieillis ou non, montre que le taux d'acide formique dans des rhums traditionnels est dans la fourchette des chiffres trouvés pour d'autres eaux-de-vie. Aussi, l'intervention de bactéries amène une augmentation importante du taux d'acide formique des rhums blancs (Jouret *et al.*, 1990a). Cet acide est quantitativement plus important dans les rhums de mélasse que dans ceux à base de jus de canne à sucre.

Certains alkylpyrazines des rhums apparaissent comme pouvant permettre de différencier les rhums blancs de mélasse des rhums blancs de jus de canne. En effet, la 2 méthyl pyrazine, la 2 – 5 méthyl pyrazine et la 2 – 6 diméthyl pyrazine sont absentes de rhums agricoles alors qu'ils sont nettement présents dans ceux à base de mélasse (Jouret *et al.*, 1990b).

Le carbamate d'éthyle ou uréthane est une molécule réputée cancérigène que l'on peut trouver dans des rhums. Le marché nord américain a adopté une limite supérieure de présence de ce composé dans les rhums, qui est de 125 µg/l. Cette substance peut provenir de la fermentation, en particulier dans les milieux contenant de l'urée, ce qui n'est pas le cas de milieux de distillerie, mais aussi il peut être formé par réaction purement chimique au cours et après la distillation.

Les rhums n'ont jamais été reconnus comme des alcools particulièrement riches en carbamate d'éthyle. Sa présence, au-delà du seuil défini, est une préoccupation pour les producteurs qui veulent exporter, en particulier, vers l'Amérique du nord ; certains rhums en sont exempts mais d'autres pas, sans qu'on puisse actuellement avoir d'explication. Les quantités mesurées vont jusqu'à 2 500 µg/l. Il y a donc des connaissances à générer sur le déterminisme de l'apparition du carbamate d'éthyle.

La matière première canne à sucre

La production de rhums traditionnels associe à la production d'éthanol la production de composés aromatiques ou non alcool, au cours de la fermentation. Cette production dépend de l'aptitude du moût, et donc de la matière première, à répondre aux besoins de la levure et aux agents co-fermentaires que

sont les bactéries. Nous nous sommes intéressés à la canne à sucre en tant que ressource végétale, (Célestine-Myrtil-Marlin et Ouensanga, 1988), à son contenu, ainsi que celui des mélasses (Célestine-Myrtil-Marlin et Parfait, 1988) en acides organiques. Des mesures ont aussi été effectuées en fonction de l'âge de la canne à sucre (Célestine-Myrtil-Marlin, 1990). Les acides organiques agissent sur le comportement métabolique des levures, au cours de la fermentation ((Fahrasmane *et al.*, 1985).

Un travail a été entrepris sur les méthodes de traitement de la canne à sucre associées à une méthode de dosage des sucres (Célestine-Myrtil-Marlin et Parfait, 1987). Nous avons besoin de méthodes précises et fiables pour doser les sucres et suivre leur évolution au cours des bio-transformations (Célestine-Myrtil-Marlin, 1991.).

Traitement et valorisation des effluents

La distillation des milieux fermentés de rhumerie engendre des rejets, des eaux résiduaires, la vinasse, qui contient une charge polluante. Des programmes menés dans notre Unité ont contribué à caractériser les vinasses et à proposer des processus de dépollution et de valorisation, par digestion méthanique.

Les flux de pollution engendrés par la distillation d'alcool de mélasse de canne sont particulièrement élevés : 950 à 1900 kg DCO/m³ d'alcool pur (A.P.) produit, soit une charge polluante de 13 à 26 000 équivalents habitant jour/ m³ A.P. produit. La distillation de rhum agricole représente des flux de pollution six fois moins importants : 250 kg/ DCO/ m³ A.P., soit 3000 équivalents habitant jour/ m³ A.P. produit (Bories *et al.*, 1994).

Lorsque la charge organique des eaux résiduaires des industries agro-alimentaires, telle que la distillerie, est déversée sans précaution dans le milieu naturel, elle y provoque différentes formes d'inconvénients, dont les plus caractéristiques sont la pollution des eaux et la pollution par les odeurs accompagnées des nuisances qu'elles induisent.

Diverses filières ont été proposées pour l'élimination ou le traitement des vinasses : évaporation-incinération, épandage-irrigation, lagunage anaérobie, production de biomasse microbienne, digestion anaérobie ou digestion méthanique. Cette dernière filière est un processus biologique naturel qui consomme et réduit la pollution organique. Son application dans des stations d'épuration, aux effluents agro-alimentaires, permet en même temps la production de biogaz combustible.

A la Guadeloupe, dans une importante distillerie, la vinasse de mélasse fait l'objet d'une digestion anaérobie, selon un procédé dimensionné grâce à une étude de l'INRA. Ce procédé permet de faire dans des conditions normales de fonctionnement :

- une dépollution avec 60 % de la DCO éliminées,
- une production d'énergie : du biogaz représentant 60 % des besoins énergétiques de la distillerie (Bories *et al.*, 1988).

Des essais pilotes permettent d'atteindre une élimination de plus de 95 % de la DCO de vinasses de jus de canne par digestion anaérobie (Bories *et al.*, 1994). Le biogaz produit présente un intérêt très limité pour la distillerie agricole, car elle dispose de bagasse comme combustible.

Conclusion

Deux colloques sur les rhums traditionnels des Départements français d'Outre-Mer ont été tenus, en 1994 et en 1996, respectivement en Guadeloupe et à la Réunion. Ils ont été une occasion de rencontres entre les professionnels, les instituts techniques, les administrations, les instituts de

recherche. Ces manifestations ont donné lieu à l'édition d'Actes qui faisaient le point sur des problèmes et questions de la production de rhums traditionnels.

Les travaux réalisés sur la fabrication des rhums traditionnels, au cours de cette trentaine d'années, ont permis de mieux connaître et appréhender la flore bactérienne et ses produits, les mécanismes de la non-qualité dans ces fabrications, et de proposer des moyens d'y remédier. Les produits de mauvaises qualités sont actuellement bien moins fréquents qu'il y a trente ans. Les médailles gagnées par les distillateurs des Antilles françaises, aux concours agricoles sont de plus en plus nombreuses.

Des travaux, sur des souches de levures collectionnées dans les rhumeries, ont permis de sélectionner une souche qui constitue un outil pour contribuer à la conduite de la fermentation. Il y a moins de connaissances sur le fonctionnement et la dynamique bactérienne des écosystèmes de la distillerie, marqués par une grande biodiversité. Il y a proximité phylogénétique entre les bactéries lactiques des fermentations et les corynébactéries dont certaines sont des pathogènes de la canne à sucre.

Sur la matière première, il y a le besoin de définir un itinéraire technique de production agricole et de traitement post-récolte, adapté à la transformation rhumière, en prenant en considération d'autres constituants que le saccharose : acides organiques, précurseurs d'arômes, marqueurs, traceurs... Avec le jus de canne, stérile, stabilisé par microfiltration tangentielle, que nous avons mis au point, nous disposons d'un milieu d'étude du comportement, en culture pure, des agents microbiens.

L'essentiel des travaux réalisés l'a été à l'échelle du laboratoire. La prise en considération de la matière première et des co-cultures nécessite d'adjoindre à l'échelle laboratoire un dispositif à l'échelle pilote, et aussi de réaliser des opérations sur sites industriels.

Nous n'avons pas développé d'activité en matière de distillation. Cette étape de fabrication contribue elle aussi de manière significative à l'élaboration de la qualité des produits.

La maturation des rhums est une étape sur laquelle nous avons eu pour l'instant qu'une approche préliminaire, à travers l'utilisation de boisés et des bois rouge de Guyane.

Le singulier caractère aromatique des rhums traditionnels a été l'objet de peu d'attention. Il a l'avantage de se situer en dehors du champ de l'alcoolisme. Il y a un potentiel d'innovation à prospecter pour formuler des produits de la rhumerie, répondant de manière ciblée à ces utilisations aromatiques.

Le traitement et la valorisation des effluents bénéficient de résultats obtenus, tant sur effluents de mélasse que sur effluents de jus de canne à sucre. Sur les premiers, il y a des traitements d'amont ou secondaire de différents types à étudier ou à dimensionner : ébourbage, épandage, lagunage...

Le modèle rhums traditionnels est relativement complexe, car il fait intervenir :

- le traitement de matières premières : mélasse et jus de canne (biochimie, physiologie...),
- des bioconversions complexes : fermentation alcoolique, co-fermentations bactériennes, fermentation méthanique des effluents en aval,
- des opérations unitaires du génie des procédés : broyage, extraction, distillation...
- des traitements de maturation des distillats, plus ou moins longs, pour élaborer diverses qualités de produits.

Les différents outils et itinéraires maîtrisés et les acquis de la recherche-développement dans la filière canne-sucre-rhum pourront trouver des applications dans l'agro-transformation de ressources végétales tropicales.

Références bibliographiques

- Bories A., Raynal J., Bazile F., 1988. Anaerobic digestion of high-strength distillery wastewater (cane molasses stillage) in a fixed-film reactor. *Biological Wastes* 23, 251-267.
- Bories A. Bazile F. Lartigue P., 1994. Traitement anaérobie des vinasses de distillerie en digesteurs à micro-organismes fixés. Actes, Colloque sur les rhums traditionnels 219-242. ISBN N° 2-9506 860 -2 - 8.
- Bourgeois P., Fahrasmane L., 1988. Effet de stéroïdes de la canne à sucre sur des levures en fermentation alcoolique. *Canadian Institute of Food Science and Technology* 21, 5, 555 – 557.
- Célestine-Myrtil-Marlin D., Parfait A., 1987. HPLC analysis of sugars in sugarcane stalks. *International Sugar Journal* 89, 186–190, 217–220.
- Célestine-Myrtil-Marlin D.A., Ouensanga A., 1988. Distribution of simple sugars and structure polysaccharides in sugarcane stalks. *Sugar Journal* January, 11-14.
- Célestine-Myrtil-Marlin D. Parfait A., 1988. HPLC determination of organic acids in sugarcane and its industrial by-products *International Sugar Journal* 90, 28–32.
- Célestine-Myrtil-Marlin D., 1990. Influence of cane age on sugars and organic acids distribution in sugarcane stalks. *Sugar y Azucar*, 85, 17-24.
- Célestine-Myrtil-Marlin D., 1991. Valorisation de la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) à l'intérieur de la filière canne à sucre : de la sélection variétale au contrôle de la fabrication en usine. *Industries alimentaires et Agricoles* 108, 621-623.
- Dubois P., Parfait A., Dekimpe J., 1973. Présence de dérivés de l'acroléine dans un rhum à goût anormal. *Annales de Technologie Agricoles* 22, 2, 131–135.
- Fahrasmane L., Parfait A., Jouret C., Galzy P., 1983. Etude de l'acidité volatile des rhums des Antilles françaises. *Industries alimentaires et Agricoles* 100, 297–301.
- Fahrasmane L., Parfait A., Jouret C., Galzy P., 1985. Production of higher alcohols and short chain fatty acids by different yeast used in rum fermentations. *Journal of Food Science* 50, 1427-1436.
- Fahrasmane L., Parfait A., Galzy P., 1986. Propriétés fermentaires des levures de fermentation. *Industries alimentaires et Agricoles* 103, 125-127.
- Fahrasmane L., Ganou-Parfait B., Parfait A., 1988. Yeast flora of Haitian distilleries. *MIRCEN Journal* 4, 239–241.
- Fahrasmane L., Ganou-Parfait B., Bazile F., 1989. Le métabolisme du soufre dans la rhumerie. *Mircen Journal* 5, 239-245.
- Fahrasmane L., 1991. Amélioration du rendement de la fermentation alcoolique de milieu à base de canne à sucre. AFCAS : 1^{re} Rencontre internationale en langue française sur la canne à sucre. p. 310–311.
- Fahrasmane L., Ganou-Parfait B., 1998. Microbial flora of fermentation media. *Journal of Applied Microbiology* 84, 921–926.
- Ganou-Parfait B., Parfait A., 1980. Problèmes posés par l'utilisation de *Schizosaccharomyces pombe* dans la fabrication des rhums. *Industries alimentaires et Agricoles* 97, 575-580.
- Ganou-Parfait B., Fahrasmane L., Parfait A., 1987. Bacillus spp in sugar cane fermentation media. *Belgian Journal of Food Chemistry and Biotechnology* 42, 192–194.
- Ganou-Parfait B., Fahrasmane L., Célestine-Myrtil D., Parfait A., Galzy P., 1988. Les *Micrococcus* en technologie rhumière aux Antilles françaises. *Microbiologie – Aliments – Nutrition* 6, 273–277.
- Ganou-Parfait B., Fahrasmane L., Galzy P Parfait A., 1989. Les bactéries aérobies des milieux fermentaires à base de jus de canne à sucre. *Industries alimentaires et Agricoles* 106, 763–765.
- Ganou-Parfait B., Fahrasmane L., Parfait A., Galzy P., 1991. Les bactéries en technologie rhumière aux Antilles françaises. AFCAS : 1^{re} Rencontre internationale en langue française sur la canne à sucre. p. 303–309.

- Ganou-Parfait B., Valadon M., Parfait A., 1991. Contribution à la bactériologie des eaux de fabrication de distilleries de la Guadeloupe. AFCAS : 1^{re} Rencontre internationale en langue française sur la canne à sucre, 296–302.
- INRA., 1975. Symposium International sur le rhum et alcools dérivés de la canne à sucre. Annales de Technologie Agricole 24, 239-495
- Jouret C., Pace E., Parfait A. 1990a. L'acide formique composant de l'acidité volatile des rhums. Industries alimentaires et Agricoles 107, 1239 - 1241.
- Jouret C., Pace E., Parfait A., 1990b. Différenciation analytique des rhums agricoles et industriels par les alkylypyrazines. Annales des Falsifications des Experts Chimistes. 87, 926, 85 – 90.
- Lencrerot P., Parfait A., Jouret C., 1984. Rôle des corynebacteries dans la production d'acroléine (2-propenal) dans les rhums. Industries alimentaires et Agricoles 101, 579–585.
- Leppanen D., Denslow J., Ronkainen P., 1979. A gas chromatographic method for the accurate determination of low concentration of volatile sulphur compounds in alcoholic beverages. Journal of the Institute of Brewing 85, 350–353.
- Miniac (de) M., 1988. Conduite des ateliers de fermentation alcoolique de produits sucriers (mélasses et égouts). Industries alimentaires et Agricoles 105, 675-688.
- Parfait A., Namory M., Dubois P., 1972. Les esters éthyliques des acides gras supérieurs des rhums. Annales de Technologie Agricoles 21, 2, 199–210.
- Parfait A., Sabin G., 1975. Les fermentations traditionnelles de mélasse et de jus de canne aux Antilles françaises. Industries alimentaires et Agricoles 92, 27–34.
- Parfait A., Jouret C., 1980. Le glycérol dans la fermentation alcoolique des mélasses et des jus de canne à sucre. Industries alimentaires et Agricoles 97, 721-724.
- Vidal F., Parfait A., 1994. Introduction d'une levure à aptitude rhumière en fermentation de dérivés de la canne à sucre. BIOS Boissons 249, 21–26.