



HAL
open science

Les composés d'arôme du rhum traditionnel blanc : nature, propriétés sensorielles et voies de formation

Coustel Julie, Pierre Giampaoli, M Decloux

► To cite this version:

Coustel Julie, Pierre Giampaoli, M Decloux. Les composés d'arôme du rhum traditionnel blanc : nature, propriétés sensorielles et voies de formation. Industries Alimentaires et Agricoles, 2007, 124 (7/8), pp.20-29. hal-04695212

HAL Id: hal-04695212

<https://agroparistech.hal.science/hal-04695212v1>

Submitted on 12 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les composés d'arôme du rhum traditionnel blanc : nature, propriétés sensorielles et voies de formation

Julie COUSTEL⁽¹⁾, Pierre GIAMPAOLI⁽²⁾ et Martine DECLOUX⁽¹⁾

⁽¹⁾ AgroParisTech - UMR SCALE - 1 av des Olympiades - 91744 Massy

⁽²⁾ AgroParisTech - UMR GENIAL - 1 av des Olympiades - 91744 Massy

martine.decloux@agroparistech.fr

Résumé

Le rhum traditionnel blanc est issu de la fermentation de la mélasse de canne à sucre puis de la distillation du moût fermenté. Les propriétés sensorielles du rhum sont liées à la présence des composés d'arômes et à leur concentration. La synthèse bibliographique présentée ici vise à classifier les composés présents dans le rhum traditionnel blanc puis à préciser leur impact sensoriel et leur origine. Les composés sont présentés par famille chimique : les alcools, les composés carbonylés (aldéhydes, cétones, acétals), les acides, les esters et les "composés minoritaires" regroupant des composés ayant un impact sensoriel significatif malgré leur très faible concentration (composés soufrés, dérivés des isoprénoïdes, pyrazines, lactones, composés phénoliques).

Mots clés : rhum, composés d'arôme, impact sensoriel, alcools supérieurs, acides, esters, aldéhydes, composés soufrés, lactones.

Abstract

White traditional rum is produced from cane molasses fermentation followed by distillation of the broth. Rum's organoleptic properties depend on concentration of aromatic compounds. The present bibliography synthesis aims to classify the aromatic compounds of white traditional rum then to precise their sensorial impact and their origin. Compounds are presented according to their chemical family: alcohols, carbonyl compounds (aldehydes, cetones, acetals), acids, esters and "minor compounds" including compounds at very low concentration but with a sensorial impact (sulphur compounds, derives from isoprenoids, pyrazines, lactone, phenolic compounds).

Key words: rum, aromatic compound, sensorial impact, higher alcohol, acid, ester, aldehyde, sulphur compound, lactone.

Introduction

Le rhum est une eau-de-vie obtenue par distillation d'une matière première fermentée issue de la canne à sucre. C'est une eau-de-vie produite dans pratiquement tous les pays producteurs de canne à sucre. La fabrication du rhum comprend deux étapes essentielles : la production d'un moût fermenté et la distillation de ce moût. A part quelques productions spécifiques, la distillation est réalisée de manière continue dans des colonnes multi-étagées.

Il n'existe pas de définition mondiale du rhum. Chaque pays a élaboré sa propre définition avec ses propres spécifications. Il existe en Europe une définition fixée par la communauté européenne (Journal Officiel des Communautés européennes L 160/3 32^{ème} année 12 juin 1989 ; règlement (CEE) N° 1576/89 du Conseil, du 29 mai 1989) : "Le rhum est la boisson spiritueuse obtenue exclusivement par fermentation alcoolique et distillation, soit des mélasses ou des sirops provenant de la fabrication du sucre de canne, soit du jus de canne à sucre lui-même, et distillée

à moins de 96 %vol, de telle sorte que le produit de la distillation présente d'une manière perceptible, les caractères organoleptiques spécifiques du rhum".

Au niveau de la réglementation française, les rhums se distinguent de la manière suivante :

- La dénomination "rhum traditionnel" suivie du nom de l'appellation d'origine, est réservée à l'eau-de-vie provenant exclusivement de la fermentation, fabriquées dans l'aire géographique, de mélasses ou de sirops issus de la fabrication du sucre de canne ou de jus de canne à sucre produits dans ladite aire, présentant les principes aromatiques auxquels les rhums doivent leurs caractères spécifiques et ayant une quantité totale de substances volatiles autres que les alcools éthyliques et méthyliques supérieure ou égale à 225 g par hectolitre d'alcool pur (g/hL AP) d'après le décret n° 92-285 du 27 mars 1992.
- La dénomination "rhum agricole" a la même définition que le rhum traditionnel, mais ne peut être produit qu'à partir du jus de canne.
- La mention "grand arôme" peut compléter le nom de l'appellation d'origine pour les rhums traditionnels présentant une teneur minimale en substances volatiles autres que les alcools éthyliques et méthyliques ≥ 800 g/hL AP et une teneur minimale en esters ≥ 500 g/hL AP (décret n° 92-285 du 27 mars 1992).
- La mention "rhum léger" désignait selon une circulaire du 30 mars 1971 (DGAF/RF/C.71-1173) le rhum ayant une concentration en non-alcools ≤ 60 g/hL AP, mais un décret (11 mars 1993) a annulé cette définition. Le terme "rhum léger" continue à être utilisé par les industriels pour désigner un rhum peu chargé en composés d'arômes.

Dans toutes ces définitions, deux paramètres essentiels apparaissent : la richesse en éthanol et la teneur en substances volatiles autres que les alcools éthylique et méthylique :

- Dans la filière alcool, la richesse en éthanol est quantifiée par le TAV (Titre Alcoométrique Volumique) en %vol. Le TAV représente le volume d'alcool pur mesuré à 20°C par rapport au volume de mélange mesuré à 20°C.
- La teneur en substances volatiles, autres que les alcools éthylique et méthylique, est souvent repérée sous le vocable "non-alcools" bien que des composés de la famille des alcools en fassent partie. Afin de comparer plus facilement la teneur en non-alcools entre des alcools de différents TAV, il est d'usage d'indiquer leur concentration par la masse contenue dans l'équivalent de 1 hectolitre d'alcool pur (g/hL AP)

Dans ces définitions, apparaît également le critère de "caractère organoleptique du rhum". La composante sensorielle est indispensable pour caractériser un produit. Mais la législation ne donne aucune définition précise de ce critère. Les propriétés sensorielles du rhum sont étroitement liées à la présence des composés d'arômes et à leur concentration. Certains d'entre eux, tels que les alcools supérieurs, sont en forte concentration mais ce ne sont pas forcément les plus importants au niveau organoleptique. La synthèse bibliographique présentée ici vise à classer les composés présents dans le rhum traditionnel blanc puis à préciser leur impact sensoriel et leur origine. Nous avons choisi de présenter la composition du rhum par famille chimique. Ces familles sont : les alcools, les composés carbonylés (aldéhydes, cétones, acétals), les acides, les esters, et une famille appelée "composés minoritaires" avec des composés ayant un impact sensoriel significatif malgré leur très faible concentration (composés soufrés, dérivés des isoprénoides, pyrazines, lactones, composés phénoliques).

II. Les alcools autres que l'éthanol

Si on s'appuie sur une définition chimique, le groupe des alcools correspond à des molécules comportant un groupement OH. De nombreux auteurs (Webb et Ingraham 1963; Mesley et al. 1975; Suomalainen 1975; Lehtonen et Suomalainen 1977; Lisle et al. 1978; Ter heide et al. 1981; Nykänen et Nykänen 1983; Nykänen et Suomalainen 1983; Parfait 1983; Zee et al. 1984; Nykänen 1986; Nykänen et Nykänen 1991; Pino 1996, Fährasmane et Ganou-Parfait 1997) ont étudié les alcools du rhum. Les alcools sont repérés différemment selon la nomenclature IUPAC ou les noms

d'usage (**tableau 1**). Par la suite, les composés seront repérés par leur nom d'usage. Dans cette famille, on distingue le méthanol qui est le premier composé de la famille des alcools, et les alcools supérieurs qui correspondent aux alcools composés d'une chaîne droite avec plus de deux atomes de carbone. Ce dernier groupe de composés est couramment appelé dans l'industrie, huiles de fusel. Le 2-phényléthanol est présenté en même temps que les alcools supérieurs car il fait partie intégrante des huiles de fusel.

II.1 Le méthanol

II.1.1 Concentration en méthanol

Le rhum se distingue des autres eaux-de-vie par sa faible concentration en méthanol. D'après les analyses réalisées par Mesley et al. (1975) sur plus de 600 échantillons d'eau-de-vie (whisky, vodka, eaux-de-vie de fruits), dont 75 de rhums, la concentration en méthanol oscille entre 0 à 23 g/hL AP (**tableau 2**). D'après Lisle et al. (1978) qui ont analysé 93 échantillons de rhum, la concentration moyenne du méthanol est de 7 g/hL AP, avec un maximum de 22 g/hL AP et un minimum de 0 g/hL AP. La législation européenne (règlement CEE N°1576/89 du conseil du 29 mai 1989) limite la concentration en méthanol dans le rhum à 50 g/hL AP.

II.1.2 Impact sensoriel du méthanol

Mesley et al. (1975), Nykänen (1986) et Nykänen et Nykänen (1991) précisent que le méthanol n'a pas de rôle sensoriel. D'après Cortés et al. (2002) son seuil de perception est très élevé : 1 000 g/hL AP.

II.1.3 Formation du méthanol

Le méthanol est issu de l'hydrolyse des pectines par des enzymes appelées pectine méthylestérase (PME). Cela entraîne la libération des fonctions acides des pectines et des groupements méthyl (Nykänen et Suomalainen 1983; Bindler et al. 1988; Dirninger et Schaeffer 1990; Nykänen et Nykänen 1991). La quantité de méthanol est proportionnelle aux quantités de pectines et de PME disponibles dans le milieu. Le méthanol présent dans le rhum traditionnel provient essentiellement de la mélasse. Godshall et al. (1978) ont mis en évidence la présence de méthanol dans la mélasse de canne à sucre.

II.2 Les alcools supérieurs et 2-phényléthanol

II.2.1 Concentration en alcools supérieurs et 2-phényléthanol

Les alcools supérieurs représentent quantitativement le groupe le plus important des composés du rhum. Les principaux composés sont : le butan-1-ol, le butan-2-ol, le propanol, l'isobutanol, l'alcool amylique, l'alcool isoamylique et le 2-phényléthanol. Nous avons choisi d'appeler "alcools amyliques" la somme de l'alcool amylique et de l'alcool isoamylique. La concentration totale en alcools supérieurs varie de 5 à 2 127 g/hL AP (**tableau 2**). Les composés majoritaires sont le propanol et l'alcool isoamylique. Parfait (1983) classe les rhums en 4 groupes en s'appuyant sur les différents procédés de fabrication : rhums agricole, traditionnel, grand arôme et léger (**tableau 3**). Le rhum agricole et le rhum traditionnel se distinguent des rhums grand arôme et léger par leur forte concentration en alcools supérieurs. Le rhum traditionnel est par contre moins concentré en alcools supérieurs que le rhum agricole.

II.2.2 Impact sensoriel des alcools supérieurs

Les auteurs s'accordent à dire que les alcools supérieurs jouent un rôle sensoriel (Tourlière 1977; Nykänen et Nykänen 1983; Nykänen et Suomalainen 1983; Zee et al. 1984; Soufleros et Bertrand 1987; Nykänen et Nykänen 1991; Pino 1996). Les seuils et les notes aromatiques sont présentés dans le **tableau 4**. Les auteurs ne précisent pas dans quel

type de solution les seuils ont été établis. Les notes aromatiques ont été déterminées par Cantagrel et al. (1996) dans un mélange hydroalcoolique à 10 %vol.

II.2.3 Formation des alcools supérieurs

Le mécanisme de formation des alcools supérieurs par les levures a fait l'objet de nombreuses recherches. Webb et Ingraham (1963) démontrent les réactions de biosynthèse des alcools supérieurs. Ces travaux seront complétés par Ayräpää (1967, 1971) qui mettent en évidence les mécanismes de contrôles de leur formation. Ces travaux seront ensuite repris et complétés par de nombreux auteurs (Ayräpää 1973; Parfait et Jouret 1975; Lehtonen et Suomalainen 1977; Ter heide et al. 1981; Nykänen et Nykänen 1983; Nykänen et Suomalainen 1983; Nykänen 1986; Nykänen et Nykänen 1991; Pino 1996). Les alcools supérieurs peuvent être formés par deux voies : la voie de synthèse des acides aminés et la voie des sucres. La levure a besoin de synthétiser des acides aminés pour produire des protéines. Elle utilise des acides aminés du milieu extérieur qui pénètrent dans la cellule et sont désaminés par l'action d'une transaminase. L'acide aminé qui a perdu son NH_3 devient un cétoacide qui est stocké. Suivant les besoins de la cellule, ces cétoacides sont utilisés pour former des acides aminés ou dégradés s'ils sont en excès. Les produits de dégradation sont les alcools supérieurs. La cellule effectue peu de remaniement des squelettes carbonés des acides aminés qu'elle intègre. Aussi, il existe une filiation entre les acides aminés, les cétoacides et les alcools supérieurs produits. Lorsque le milieu s'appauvrit en acides aminés, la levure peut les synthétiser à partir de sucres. L'acide pyruvique est utilisé pour former du propanol, des alcools amyliques et de l'isobutanol. Nykänen et Nykänen (1991) précisent également que la levure possède des enzymes qui permettent directement la réduction des aldéhydes formés lors de la fermentation des sucres.

La synthèse des alcools supérieurs peut être influencée par différents facteurs. Parfait et Sabin (1975); Nykänen et Nykänen (1983); Nykänen et Suomalainen (1983) ont montré que si le milieu de fermentation manque d'azote, alors la synthèse des alcools supérieurs s'accroît car il y a synthèse des alcools supérieurs par la voie des sucres. Parfait et Jouret (1975) mettent en évidence que plus la forme de l'azote est simple, plus la cellule assimile rapidement l'azote et moins il y a production d'alcools supérieurs. Ainsi le NH_4^+ est plus facilement assimilé que l'urée ou le nitroform (polymères d'urée). La souche de levure peut influencer la production d'alcools supérieurs. Parfait et Jouret (1975) mettent en évidence que *Schizosaccharomyces pombe* produit moins d'alcools supérieurs que *Saccharomyces*. Suivant la souche de *Saccharomyces*, la production d'alcools supérieurs peut également varier du simple au double. La température de fermentation influence la production des alcools supérieurs. Elle est maximale à 30°C. Au-delà, la quantité d'alcools supérieurs produite diminue (Parfait et Jouret 1975). Le temps de fermentation et le délai d'attente de la cuve avant distillation sont également des paramètres importants. Patil et al. (2002) montrent que plus les temps sont longs, plus la quantité d'alcools supérieurs augmente. On peut supposer que cette augmentation est à relier avec une chute de la concentration en azote en fin de cycle. Enfin, les bactéries produisent également des alcools supérieurs (Suomalainen 1975; Lehtonen et Suomalainen 1977; Nykänen et Suomalainen 1983). Par exemple *Lactobacillus* produit du propanol et du butan-2-ol. La production des alcools supérieurs par les bactéries est plus faible que par les levures. Cependant, la concentration en butan-2-ol est considérée comme un indicateur de contamination bactérienne. Dirninger et Schaeffer (1990) confirment ce point lors d'une étude sur la concentration des alcools supérieurs dans les eaux-de-vie de fruits.

III Les composés carbonylés

Les aldéhydes et les cétones sont des composés ayant une double liaison avec l'oxygène. Les aldéhydes sont du type RCHO et les cétones du type R-CO-R' . Les acétals sont issus de la réaction d'un alcool avec un aldéhyde ou une cétone.

III.1 Les aldéhydes

III.1.1 Concentration en aldéhydes

Les aldéhydes ont été identifiés dans le rhum par plusieurs auteurs (Liebich et al. 1970, Lehtonen et Suomalainen 1977, Ter heide et al. 1981, Nykänen et Suomalainen 1983, Parfait 1983; Nykänen et Nykänen 1991, Fährasmane et Ganou-Parfait 1997; Nascimiento et al. 1997). Les aldéhydes aromatiques et les aldéhydes hétérocycliques sont présentés dans la partie sur les composés minoritaires. Parfait (1983) mentionne des concentrations en aldéhydes variant entre 3 à 9 g/hL AP pour le rhum traditionnel (tableau 3). D'après Nykänen et Nykänen (1983), l'acétaldéhyde représente 90% des aldéhydes présents dans les eaux-de-vie. Ils mentionnent des concentrations de l'ordre de 2 à 15 g/hL AP dans les rhums sans préciser l'origine. Le **tableau 5** reporte les valeurs citées par Liebich et al. (1970) et Nascimiento et al. (1997). D'après Liebich et al. (1970), on trouve une concentration en acétaldéhyde dans le rhum Jamaïque de l'ordre de 0,06 g/hL AP et d'après Nascimento et al. (1997) de 3,3 à 20 g/hL AP dans les rhums produits au Brésil.

III.1.2 Impact sensoriel des aldéhydes

Les aldéhydes ont un rôle sensoriel important car d'après de nombreux auteurs (Nykänen et Suomalainen 1983; Nykänen 1986; Nykänen et Nykänen 1991), ce sont des composés d'arômes volatils. Une concentration de 10 mg/L d'acétaldéhyde est considérée comme apportant un défaut dans la vodka (Nykänen et Nykänen 1991) et dans les eaux-de-vie de Cognac (Cantagrel et al. 1996). Selon ces derniers, l'acétaldéhyde apporte des notes "pomme mâchée, citron vert, alcool de marc, noix, pomme verte". D'après Nykänen et Nykänen (1991), dans le cas du rhum, le seuil est plus élevé car le rhum est composé d'autres molécules qui masquent la présence de l'acétaldéhyde. Selon Cortés et al. (2002), le seuil de perception de l'acétaldéhyde est de 25 mg/L (pas de précision sur la nature de la solution). Le rhum contient également des aldéhydes insaturés comme l'acroléine qui confère aux eaux-de-vie une "odeur poivrée à piquante" selon sa concentration et l'eau-de-vie considérée (Nykänen 1986).

III.1.3 Formation des aldéhydes

La majeure partie des aldéhydes formés dérivent du métabolisme des levures (Lehtonen et Suomalainen 1977; Nykänen et Suomalainen 1983; Nykänen 1986; Nykänen et Nykänen 1991; Pino 1996). L'acétaldéhyde est un intermédiaire de la fermentation alcoolique. Les aldéhydes saturés autres que l'acétaldéhyde sont produits lors de la formation des alcools supérieurs. Ils correspondent à un intermédiaire lors de la dégradation des acides aminés en alcools supérieurs. Comme pour les alcools supérieurs, les quantités d'aldéhyde produites dépendent de la souche de levure, de son milieu de croissance et de la régulation de son métabolisme. Nous retiendrons qu'en début de fermentation, on observe une forte production d'acétaldéhyde (Nykänen et Suomalainen 1983; Nykänen 1986). La concentration en acétaldéhyde diminue par la suite, car il y a alors suffisamment d'alcool déshydrogénase dans le milieu pour réduire l'acétaldéhyde en éthanol. Les aldéhydes peuvent également être formés d'une part lors de la réaction des sucres en présence d'acides aminés (réactions de Maillard), d'autre part lors de l'auto-oxydation des acides gras insaturés.

III.2 Les cétones

Le **tableau 6** présente les cétones identifiées dans le rhum (Liebich et al. 1970; Lehtonen et Suomalainen 1977; Ter heide et al. 1981; Nykänen et Suomalainen 1983; Nykänen et Nykänen 1991). Les composés issus des isoprénoides et les hétérocycles sont présentés dans la partie sur les composés minoritaires. La butane-2,3-dione (diacétyl) et la pentane-2,3-dione sont les cétones les plus présentes dans les eaux-de-vie. Le **tableau 7** présente

leurs fourchettes de concentration dans les eaux-de-vie (Leppänen et al. 1979). Le rhum est l'eau-de-vie la plus chargée en cétones.

Ces molécules sont intéressantes sur le plan sensoriel. La butane-2,3-dione a une "odeur de beurre". Son seuil de perception est 3 µg/L dans une solution à 10 %vol en éthanol, de 50 à 400 µg/L dans la bière. Selon Leppänen et al. (1979), le seuil de perception de la pentane-2,3-dione est plus élevé, mais sa valeur n'est pas précisée.

III.3 Les acétals

III.3.1 Concentration en acétals

Les acétals font partie de la famille des éthers-oxydes, composés qui possèdent au moins un groupe RO, soit du type ROR'. L'acétal le plus fréquent est celui formé à partir de l'acétaldéhyde : le diéthoxyéthane ou diéthylacétal ou acétal. Nous utiliserons par la suite le terme "acétal" pour désigner le diéthoxyéthane, et le terme "acétals" pour désigner la famille de composés. Le **tableau 8** présente les principaux acétals identifiés dans le rhum (Liebich et al. 1970; Lehtonen et Suomalainen 1977; Nykänen et Suomalainen 1983; Fährasmane et Ganou-Parfait 1997). De nombreux acétals ont été isolés dans le rhum Jamaïque par Liebich et al. (1970). Nykänen et Suomalainen (1983) avancent des concentrations en acétal de 5,2 g/hL AP pour un rhum blanc des Caraïbes, 75 g/hL AP pour un rhum Jamaïque. Misselhorn (1975) avance comme concentration 4,3 g/hL AP d'acétal pour un rhum Martinique et 41,6 g/hL AP pour le rhum Jamaïque.

III.3.2 Impact sensoriel des acétals

Le rôle sensoriel de cette famille de composés est discuté. Misselhorn (1975) met en évidence, qu'à l'exception de l'acétal, la concentration des composés n'excède pas la concentration seuil. Aussi, il en conclut que ces composés ont un rôle sensoriel limité. Pourtant, le seuil de perception de l'acétal est de 2 g/hL AP (déterminé dans une solution à 40 %vol) et les concentrations citées ci-dessus sont supérieures au seuil. Cortés et al. (2002) précisent que ce composé a une "odeur qui rappelle la pomme".

III.3.3 Formation des acétals

Les acétals sont formés par réactions entre les alcools et les aldéhydes. Les aldéhydes saturés et insaturés sont des composés très réactifs et qui interagissent avec les alcools pour former des hémiacétals, puis des acétals (Misselhorn 1975; Lehtonen et Suomalainen 1977; Nykänen 1986; Nykänen et Nykänen 1991). Par exemple le propanal réagit avec l'éthanol pour former du 1,2,3 triéthoxypropane. La réaction de formation des acétals dépend de la concentration en éthanol, aldéhyde, de la présence d'ions H⁺ et d'autres composés.

IV Les acides

L'acidité d'une eau-de-vie correspond à la somme des hydrogènes libres, des hydrogènes liés à une fonction acide et des acides minéraux. L'OIV définit l'acidité des boissons spiritueuses par leur protocole d'analyse (OIV 1994). Elle est exprimée en gramme d'acide acétique par hectolitre d'alcool pur. On distingue différentes acidités.

L'acidité totale ou acidité de titration est mesurée par dosage avec de la soude après dégazage de la solution afin de s'affranchir de l'acidité due au CO₂. Cette mesure permet de prendre en compte les H⁺ libres et les H⁺ pris dans les fonctions acides qui sont libérés par l'ajout de base.

L'acidité volatile correspond aux acides dits "volatils" qui sont entraînés par la vapeur d'eau par distillation. Le terme "volatil" traduit ici la facilité d'un acide à être entraîné par la vapeur d'eau et non pas ses propriétés de volatilité dans l'absolu. Les acides lactique, succinique et carbonique, et l'anhydride sulfureux sont exclus. Des précautions sont prises

pour éviter la présence de CO₂ dans le distillat et la vapeur d'eau. Il est fréquent de lire dans les articles que l'acidité volatile est constituée d'acides gras. Ce terme est abusif car en biochimie, les acides gras sont les acides possédant au minimum 4 atomes de carbone. Or l'acidité volatile englobe les composés qui ont au minimum une fonction RCOOH y compris ceux qui ont entre 1 et 3 atomes de carbone. Le groupe des "acides volatils" est très large puisqu'il correspond aux acides de 1 carbone à 18 atomes de carbone. On distingue même le groupe des acides à courtes chaînes (C1 à C7) du groupe des acides à longues chaînes (C8 à C18).

L'acidité fixe correspond à l'acidité du résidu laissé par l'évaporation à sec de l'échantillon. L'acidité volatile peut également être calculée par la différence entre l'acidité totale et l'acidité fixe.

IV.1 Concentration en acides

Les principaux acides identifiés dans le rhum par Liebich et al. (1970), Lehtonen et Suomalainen (1977), Lehtonen et al. (1977), Nykänen et Suomalainen (1983), Ganou-Parfait et al. (1986), Jouret et al. (1990) et Fahrasmane et Ganou-Parfait (1997) sont reportés dans le **tableau 9** Nykänen et Suomalainen (1983) indiquent des valeurs de l'acidité volatile et de l'acidité totale de quelques rhums (**tableau 10**). L'état de vieillissement n'est pas précisé. L'acidité volatile représente 85 à 95 % de l'acidité totale. Ceci peut s'expliquer par le fait que le rhum est issu d'une opération de distillation. Les valeurs varient entre 3 et 275 g/hL AP. Nykänen et al. (1968) mentionnent des valeurs d'acidité volatile qui varient entre 25 et 120 g/hL AP. Ces résultats seront repris par la suite dans les autres publications de Nykanen et par Lehtonen et al. (1977) ainsi que Lehtonen et Suomalainen (1977). Selon Parfait (1983) l'acidité volatile des rhums varie entre 6 à 12 g/hL AP dans le rhum agricole, 13 à 50 g/hL AP dans le rhum traditionnel, 300 g/hL AP dans le rhum grand arôme et 9 g/hL AP dans le rhum léger (tableau 3).

Parmi le groupe des acides volatils à courtes chaînes (C1-C7), l'acide acétique est le plus abondant. Il représente 75 à 85 % pour Suomalainen (1975), 40 à 95 % de l'acidité volatile totale selon Nykänen et Suomalainen (1983), de l'ordre de 90% pour Fahrasmane et al. (1983) et 35 mg/L pour Liebich et al. (1970). Le **tableau 11** présente des concentrations en acide acétique de l'ordre de 0,9 à 4 mg/L. L'acide propionique est très présent dans le rhum. La proportion d'acide propionique (acide acétique exclu) varie de 14 % pour un rhum de la Martinique à 70 % pour un rhum grand arôme. L'acide butyrique est également concentré dans le rhum, il représente 25 % des acides pour un rhum léger à 70 % pour un rhum contaminé (Fahrasmane et al. 1983). Sa concentration est de 0,05 à 0,15 mg/L dans les échantillons de rhum de Nykänen et Nykänen (1983). Les autres acides sont en plus faibles concentrations. D'après Fahrasmane et al. (1983), l'acide propénoïque est surtout présent dans les rhums de mélasse. L'acide 2-éthyl-3-méthylbutyrique a été mis en évidence par Lehtonen et al. (1977). Dans un premier temps cet acide est apparu comme spécifique du rhum, puis sa présence a été mise en évidence dans d'autres eaux-de-vie. L'acide formique est identifié dans le rhum. Jouret et al. (1990) trouvent des concentrations moyennes de 1,3 mg/L pour le rhum agricole (19 échantillons), 3,5 mg/L pour le rhum de mélasse (17 échantillons), 34,3 mg/L pour le rhum grand arôme (4 échantillons).

Les acides volatils à longues chaînes (C8-C18) sont en très faibles proportions dans le rhum (tableau 11). L'acide caprylique est présent dans les rhums du Brésil, de Cuba, des Caraïbes à des concentrations respectives de 1,23 mg/L, 0,48 mg/L et 0,64 mg/L. Les concentrations des autres acides sont faibles pour les échantillons présentés, sauf pour le rhum Caraïbes qui contient des concentrations plus élevées d'acides caprylique, caprique, laurique, myristique et palmitique. Des acides insaturés ont été identifiés dans le rhum comme les acides palmitoléique, oléique, linoléique (Nykänen et al. 1968), hepténoïque (Liebich et al. 1970). Ter heide et al. (1981) mettent en évidence l'acide linoléique dans le rhum Jamaïque. Ils représentent de faibles concentrations.

IV.2 Impact sensoriel des acides

Les acides à courtes chaînes apportent des notes négatives au produit, du type beurre rance, fromage. Les acides acétique, butyrique et isovalérique ont de bas seuils de perception, respectivement : 2, 1,09.10⁻³ µg/L et 1,4.10⁻² µg/L. Les auteurs ne précisent pas la nature de la solution. D'après Cortés et al. (2002), les concentrations des acides acétique et butyrique dans le rhum sont supérieures au seuil de perception et jouent un rôle négatif. L'acide acétique confère des notes "vinaigre" (Cantagrel et al. 1996), l'acide propionique des notes "âcre, lait acide", l'acide butyrique des notes "beurre rance", l'acide valérique des notes "transpiration", l'acide caproïque des notes "âcre", acide caprylique des notes "sueur, rance" et l'acide caprique des notes "odeur de bouc" (Arctander 1960).

IV.3 Formation des acides

Les acides volatils sont, selon Fahrasmane et al. (1983) et Nykänen et Suomalainen (1983), produits par la levure au cours de la fermentation. Fahrasmane et al. (1985) soulignent que la formation des acides courts a été moins étudiée que celle des acides gras plus longs. La synthèse des acides gras à longues chaînes a été décrite par Lynen (1967, 1972), puis reprise par Nykänen (1986), Nykänen et Nykänen (1991), Pino (1996) et Barre et al. (1998). Certains auteurs (Jouret et al. 1990; Kervegant 1946; Fahrasmane et al. 1983; Nykänen et Suomalainen 1983; Barre et al. 1998) proposent des mécanismes complémentaires de formation des acides gras courts. Nous retiendrons que les bactéries peuvent être responsables de la formation des acides formique, acétique, propanoïque, butyrique, 2-éthyl-3-méthylbutyrique, propénoïque et lactique.

Les acides gras insaturés proviennent des acides palmityl-CoA, stéaryl-CoA qui sont déhydrogénés en présence d'oxygène au niveau de la liaison 9-10 pour former des acides hexadec-9-énoïque et acide octadec-9-énoïque. Les acides gras insaturés peuvent également être formés par des bactéries *Clostridium butyricum* et *Clostridium kluyveri* en anaérobiose (Lehtonen et al. 1977; Lehtonen et Suomalainen 1977).

V Les esters

V.1 Concentration en esters

Les principaux travaux sur l'identification des esters des rhums ont été menés par Liebich et al. (1970) et Ter heide et al. (1981) sur des rhums type Jamaïque. Ces travaux ont été repris par la suite par de nombreux auteurs : Lehtonen et Suomalainen (1977), Nykänen et Suomalainen (1983), Nykänen (1986) et Nykänen et Nykänen (1991). Les principaux esters identifiés sont présentés dans le **tableau 12** (Liebich et al. 1970; Lehtonen et Suomalainen 1977; Fahrasmane et Ganou-Parfait 1997). Pour présenter leur concentration dans le rhum nous nous sommes appuyés principalement sur les résultats de Nykänen et Suomalainen (1983) (**tableau 13**) et de Smedt et Liddle (1975) (**tableau 14**). Les esters sont présentés en 4 groupes selon leur nombre de carbones ou la présence d'oxygène.

Le premier groupe d'esters correspond aux esters avec 1 à 7 atomes de carbone. Le formiate d'éthyle a une concentration de 1,25 g/hL AP dans le rhum Jamaïque selon Liebich et al. (1970) et de 1 à 7 g/hL AP selon Nykänen et Suomalainen (1983). L'acétate d'éthyle est l'ester quantitativement le plus important. Il représente plus de 50% du total des esters dosés dans un rhum. Les concentrations sont variables selon les origines des rhums, elles peuvent atteindre plus de 1 000 g/hL AP. Liebich et al. (1970) présentent un rhum Jamaïque dont la concentration en acétate d'éthyle est de 25 g/hL AP alors que pour Lisle et al. (1978), elle varie de 4 à 1 220 g/hL AP. L'acétate de propyle est d'après Nykänen et Suomalainen (1983), le deuxième ester le plus concentré dans le rhum. Les auteurs avancent une concentration de 0,3 g/hL AP alors que Liebich et al. (1970) mentionnent 6,25 g/hL AP dans le rhum Jamaïque. Le butyrate d'éthyle a une concentration de 27,5 g/hL AP dans le rhum Jamaïque d'après Liebich et al. (1970). La concentration de l'acétate d'isoamyle d'après de Smedt et Liddle (1975) varie entre 0 à 1,5 g/hL AP pour le rhum

Réunion. D'autres esters à chaîne courte ont été identifiés et dosés dans le rhum Jamaïque par Liebich et al. (1970) : l'isovalérate d'éthyle 0,31 g/hL AP et le valérate d'éthyle 5 g/hL AP. Pino et al. (2002) ont également mesuré les concentrations des esters de ce groupe dans des rhums de différentes provenances.

Le second groupe correspond aux esters possédant de 8 à 14 atomes de carbone. Le caproate d'éthyle a une concentration moyenne de 1,25 g/hL AP pour le rhum de la Réunion (tableau 14), de l'ordre de 0,1 g/hL AP pour le rhum de la Guadeloupe. La concentration augmente pour les rhums de la Jamaïque et peut atteindre 37,4 g/hL AP pour le plus concentré. Liebich et al. (1970) ont dosé une concentration de 5 g/hL AP pour le rhum Jamaïque. Les concentrations du caprylate d'éthyle sont similaires pour l'ensemble des auteurs, soit de l'ordre de 1 g/hL AP. Les concentrations du caprate d'éthyle et du laurate d'éthyle sont plus élevées pour les échantillons du tableau 14 que pour les échantillons du tableau 13.

Le troisième groupe comprend les esters dont le nombre d'atomes de carbone est supérieur à 14 comme le myristate d'éthyle, le palmitoléate d'éthyle et le palmitate d'éthyle. De Smedt et Liddle (1975) mentionnent des concentrations très faibles, inférieures à 1 g/hL AP (tableau 14) alors que Liebich et al. (1970) ont dosé des concentrations de 0,75 g/hL AP en myristate d'éthyle, 0,18 g/hL AP de palmitoléate d'éthyle et 6,25 g/hL AP de palmitate d'éthyle.

Enfin, des esters oxygénés ont été identifiés comme le lactate d'éthyle et le succinate d'éthyle dans le rhum. De Smedt et Liddle (1975) mentionnent des concentrations entre 0 à 13,7 g/hL AP selon les rhums.

V.2 Impact sensoriel des esters

Les esters représentent un groupe de composés importants au niveau de l'impact sensoriel. Nykänen et al. (1968) précisent même que plus la concentration en esters est importante, plus l'arôme du rhum est puissant. Le **tableau 15** rassemble les notes principales de ces composés citées (Liebich et al. 1970, Nykänen et Suomalainen 1983, Soufleros et Bertrand 1987, Nykänen et Nykänen 1991; Cantagrel et al. 1996; Cortés et al. 2002; de Souza et al. 2006). D'après Nykänen et Suomalainen (1983), les esters du second groupe ont un seuil de perception très bas. Ils jouent donc un grand rôle au niveau sensoriel. Ils sont d'après Cortés et al. (2002) caractérisés par des "notes florales, fruitées". Enfin, les esters du troisième groupe et les esters oxygénés ont un impact sensoriel moins important (Nykänen et Suomalainen 1983).

V.3 Formation des esters

Le mécanisme de formation des esters est similaire à celui des acides. Il est présenté par Lehtonen et al. (1977), Lehtonen et Suomalainen (1977), Nykänen et Suomalainen (1983), Nykänen (1986), Nykänen et Nykänen (1991), Pino (1996) et Barre et al. (1998). Une partie des esters peut être formée par réaction entre alcools et acides, mais la réaction est moins rapide. Plusieurs paramètres peuvent influencer la formation des esters.

Le premier est le type de levure. La production d'esters par 5 types de levure a été comparée par Lehtonen et Suomalainen (1977) : *Pichia membranacea faciens*, *Hansenula anomala*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Candida krusei* et *Saccharomyces cerevisiae*. *Schizosaccharomyces pombe* produit la plus grande concentration d'esters, et *Hansenula anomala* et *Candida krusei* la plus basse.

La présence d'oxygène au cours de la fermentation influence la production d'esters. Par exemple *Saccharomyces cerevisiae* produit davantage d'acétate d'isoamyle, deux fois plus de caproate d'éthyle et de caprylate d'éthyle et d'acétate de phényléthyle en semiaérobie qu'en aérobie. Par contre, la levure produit moins de laurate d'éthyle, de palmitate d'éthyle, et d'esters insaturés, en anaérobie qu'en semiaérobie (Nykänen et Nykänen 1991).

Distiller en présence de levures permet d'augmenter la quantité d'esters dans le distillat (Lehtonen et Suomalainen 1977).

Des esters sont également formés à partir des alcools supérieurs. Des études ont montré qu'il existe une corrélation entre la quantité d'alcools supérieurs et d'esters formés. La réaction avec les alcools supérieurs serait catalysée par une enzyme (Nykänen et Nykänen 1991). Selon Méjane et Piquois (1975), des esters se forment au cours de la distillation par réaction entre les acides et les alcools. Des réactions d'estérification se produisent dans le chauffe-vin. Le vin contient des acides et alcools supérieurs, une augmentation de la température du vin accroît des réactions d'estérification.

VI Les composés minoritaires

Nous avons choisi de rassembler dans cette partie les composés qui sont en faible concentration dans le rhum, mais qui ont un rôle sensoriel important.

VI.1 Les composés soufrés

Le **tableau 16** présente les composés soufrés recensés dans le rhum (Lehtonen et Suomalainen 1977; Ter heide et al. 1981; Nykänen et Suomalainen 1983; Farhasmane et al. 1989; Maujean et al. 1993) et les concentrations citées par Farhasmane et al. (1989). Les composés le plus souvent identifiés dans le rhum sont l'hydrogène sulfuré, l'éthanthiol, le DMS, le DMDS, le disulfure de diéthyle et le trisulfure de diméthyle. Le rhum est l'eau-de-vie la plus concentrée en composés soufrés. Ces fortes concentrations sont en partie dues au procédé de fabrication au cours duquel les ajouts en soufre sont nombreux sous forme d'acide sulfurique ou de sulfate d'ammonium.

Les composés soufrés ont surtout été étudiés dans le cas du vin et de la bière. Ils sont responsables de mauvaises odeurs. Les composés soufrés sont généralement considérés comme apportant des notes négatives de type "choux, asperge" (Lehtonen et al. 1977; Lehtonen et Suomalainen 1977; Nykänen et Suomalainen 1983; Goniak et Noble 1987; Farhasmane et al. 1989; Rauhut 1989; Fowles 1994; Cantagrel et al. 1996; Mestres et al. 2000). Les composés soufrés sont en très faible concentration mais ont un seuil de perception très bas.

VI.2 Les isoprénoïdes et leurs dérivés

La famille des isoprénoïdes est constituée d'un élément de base : l'isoprène (2-méthylbuta-1,3-diène). Les éléments isoprènes s'associent. On distingue des isoprénoïdes linéaires ou cyclisés suivant le nombre d'éléments isoprènes associés et selon leur ramification. Une association de deux isoprènes forme une famille de composé en C10 appelée terpènes (Koolman et Rao 1994). Certains ont été identifiés dans le rhum (**tableau 17**) par plusieurs auteurs (Liebich et al. 1970; Lehtonen et Suomalainen 1977; Ter heide et al. 1981; Nykänen et Nykänen 1983; Nykänen et Suomalainen 1983; Nykänen et Nykänen 1991; Pino 1996). Liebich et al. (1970) citent des concentrations en menthol de 0,06 g/hL AP dans le rhum Jamaïque. Ter heide et al. (1981) et Ter heide (1983, 1985) ont identifié, entre autres, dans du rhum Jamaïque, du citronellol, du géraniol et du linalol.

Ces composés ont un rôle important au niveau sensoriel. Une association de 8 unités isoprènes forme la famille des caroténoïdes. Les caroténoïdes sont les précurseurs de composés ayant un rôle sensoriel important : la β -damascénone, le triméthylidihydronaphtalène (TDN) et le tétraméthylidihydronaphtalène (TTN). La β -damascénone a un seuil de perception de $0,9 \cdot 10^{-2}$ $\mu\text{g/L}$ dans de l'eau, elle présente des notes de "fruits et de fleurs" (Strauss et al. 1987). Cette molécule a été identifiée dans le rhum, le cognac, l'huile essentielle de fleur (rose de Bulgarie) et l'huile essentielle de tabac (Dubois et Rigaud 1975). Le rhum Jamaïque ne contient la damascénone qu'à l'état de traces. Les rhums Martinique grand arôme contiennent 0,14 g/hL AP de damascénone, les rhums agricoles Martinique contiennent 0,025 g/hL AP. La damascénone est présente dans les rhums traditionnels, par exemple dans un rhum traditionnel de Madagascar la concentration est de 0,15 g/hL AP (de Smedt et Liddle 1975). Le TDN a un seuil de perception de

0,02 mg/L (pas de précision sur la nature de la solution) (Strauss et al. 1987). Vidal et al. (1991) montrent que le seuil de perception du TDN dans une eau-de-vie nouvelle de Cognac à 35 %vol est de 6 mg/L. Le seuil de perception est plus élevé que pour Strauss, mais il reste très faible. Les auteurs s'accordent à dire que ce composé apporte des notes du type "kérozène, hydrocarbure, plastique". Ce composé est suivi comme marqueur de défaut par le BNIC (Bureau National Interprofessionnel du Cognac). Le TDN et TTN ont été identifiés par le BNIC (Vidal et al. 1991) et de Smedt et Liddle (1975). Le TDN et le TTN sont présents dans le rhum Jamaïque (8 échantillons analysés), dans le rhum de la Réunion (3 échantillons analysés) et à l'état de traces dans le rhum agricole (6 échantillons analysés).

Le mécanisme de formation de ces composés est mal connu. Strauss et al. (1987) montrent qu'un chauffage de jus de raisin entraîne la formation de TDN et damascénone. Ces composés ne sont pas présents à l'état libre dans le raisin, mais sont le résultat d'une dégradation. Le chauffage et la maturité du raisin accroissent la formation de ce composé. Puglisi et al. (2001) ont identifié un précurseur de la β -damascénone dans le vin comme pouvant être la néoxanthine. Masuda et Nishimura (1980) indiquent également que la mélasse contient de la β -damascénone à 0,44 mg/L et peut constituer la source principale de β -damascénone du rhum.

La Roe et Shipley (1970) montrent que α -ionone, β -ionone sont formés lors du chauffage du β -carotène.

VI.3 Les hétérocycles possédant un atome d'azote

Peu de données ont été trouvées sur les amines et amides non cyclisées. Les pyrazines sont des composés cycliques possédant deux atomes d'azote pris dans le cycle ($C_4H_4N_2$). Il existe différents sous groupes de pyrazines selon leurs ramifications. Des alkyropyrazines ont été identifiées dans le rhum par Liebich et al. (1970), repris par Lehtonen et al. (1977), Lehtonen et Suomalainen (1977) et Ter heide et al. (1981) (**tableau 18**). Ces composés ont été identifiés dans le rhum Jamaïque. Ces composés apportent des notes négatives au produit "notes de brûlé" et ont un seuil sensoriel faible (Nykänen et Suomalainen 1983). Jouret et al. (1994) ont comparé la composition en alkyropyrazines des rhums agricole et de mélasse. Ils ont montré que les alkyropyrazines sont absentes du rhum agricole et très présentes dans le rhum de mélasse. Ces composés peuvent servir à déterminer l'origine des rhums. Cette différence au niveau de la composition serait imputable à la matière première.

VI.4 Les hétérocycles possédant un atome d'oxygène

Ces composés sont issus le plus souvent de la dégradation d'hexoses : réactions de Maillard. Parmi les composés hétérocycliques possédant un atome d'oxygène, le furfural est le composé le plus abondant (entre 0 à 2,6 g/hL AP) d'après Nascimento et al. (1997). Pour de Smedt et Liddle (1975) qui ont dosé le furfural dans 25 échantillons de rhum, celui-ci est à l'état de trace pour 21 échantillons, sa concentration la plus forte étant dans le rhum Jamaïque (entre 30 à 72 g/hL AP). D'après Liebich et al. (1970), elle n'est dans ces mêmes rhums que de 3,1 g/hL AP, chiffre plus proche des résultats de Nascimento et al. (1997). Il est difficile de généraliser. Le furfural apporte des notes caramel.

Les lactones (**tableau 19**) identifiées par plusieurs auteurs dans le rhum (Liebich et al. 1970; Lehtonen et Suomalainen 1977; Ter heide et al. 1981; Nykänen et Suomalainen 1983), représentent une famille de composés comprenant deux atomes d'oxygène dans leur cycle. Les composés sont obtenus par déshydratation entre un groupe hydroxyle de la fonction acide d'un acide carboxylique et celui d'une fonction alcool. Cette famille de composés a un rôle sensoriel important (Liebich et al. 1970; Lehtonen et al. 1977; Lehtonen et Suomalainen 1977; Nykänen et Suomalainen 1983). Les composés de C8 à C10 ont une odeur de "noix de coco" (Webb et Muller 1972). Liebich et al. (1970) donnent la concentration de quelques lactones identifiées dans le rhum Jamaïque. Les concentrations de la δ -octalactone, γ -nonalactone, γ -décylactone, δ -décylactone, γ -dodécylactone, δ -dodécylactone sont inférieures à 0,003 g/hL AP.

D'autres composés possédant un noyau furane ont été identifiés par Ter heide et al. (1981). Ils possèdent des propriétés sensorielles. Le 5-méthyl-2-propionyl furane est un composé du café, de l'oignon, du soja. Le 4-(2-furyl)-but-3-én-2-one

est un composé du café. Le 5-furyl-pent-4-én-3-one et le 1-furyl-2-but-2-én-1-one sont des composés du Cognac. Le 2-hexenyl-5-méthyltetrahydrofurane et le 2-hexadiényl-5-méthyltetrahydrofurane ont été identifiés dans le café, le malt et le blé.

VI.5 Les composés comportant un noyau aromatique

Cette partie rassemble les composés ayant un noyau aromatique. Liebich et al. (1970), Lehtonen et Suomalainen (1977) et Nykänen et Suomalainen (1983) en ont identifiés dans le rhum (**tableau 20**). Ces composés sont principalement présents dans le rhum vieux, mais ils ont également été identifiés dans le rhum blanc par Jouret et Puech (1975). Liebich et al. (1970) trouvent des concentrations de 0,03 g/hL AP de 4-éthylphénol, guaiacol, et des concentrations inférieures à 0,01 g/hL AP de phénol, 4-méthylguaiacol, 4-éthylguaiacol, eugénol, isoeugénol. Ces composés, volatils à température ambiante, ont un rôle sensoriel significatif (Liebich et al. 1970; Dubois et Rigaud 1975). Par exemple, la vanilline confère au produit des notes de "vanille" (Puech et al. 1977). Le rhum contient du benzaldéhyde, aldéhyde aromatique qui peut conférer une note "amande amère" au produit.

Conclusion

Le rhum est donc constitué d'une très grande variété de composés d'arômes. Tous les composés n'ont pas le même poids sur le rhum tant au niveau de la concentration que de l'impact sensoriel. Le **tableau 21** présente les composés les plus importants dans le rhum en précisant leur concentration dans le rhum traditionnel, leur seuil de perception et leurs notes aromatiques.

La famille de composés quantitativement la plus importante est la famille des alcools supérieurs. Les esters et les cétones représentent les composés qui sont les plus intéressants d'un point de vue sensoriel. Les composés soufrés, le TDN et le TTN sont en très faibles concentrations dans le rhum mais leur seuil de perception est bas et ils peuvent être responsables de défauts.

Références bibliographiques

- Arctander S. (1960). *Perfume and flavor materials of natural origine*. Ed Elizabeth, 736 p.
- Ayräpää T. (1967). Formation of higher alcohols by various yeasts. *Journal of the Institute of Brewing*, 74 (2): 169-178.
- Ayräpää T. (1971). Biosynthetic formation of higher alcohols by yeast. Dependence on the nitrogenous nutrient level of the medium. *Journal of the Institute of Brewing*, 77 (3): 266-276.
- Ayräpää T. (1973). Studies on the formation of higher alcohols and esters by brewers' yeast, Third international specialized symposium on yeasts; Otaniemi/Helsinki, Part II, 31-45.
- Barre P., Blondin P., Dequin S., Feuillat M., Sablayrolles J.-M., Salmon J.-M. (1998). La levure de fermentation alcoolique. in: Flanzy C., *Oenologie*, Lavoisier, 414-495.
- Bindler F., Voges E., Laugel P. (1988). The problem of methanol concentration admissible in distilled fruit spirits. *Food Additives and Contaminants*, 5 (3): 343-351.
- Cantagrel R., Desache F., Dumont V., Ferrari G., Galy B., Maignial L., Roulland C., Snackers G., Girardeau J.M. (1996). Maîtrise de la qualité du Cognac à chaque étape de son élaboration. in: 2^{ème} colloque international sur les Rhums. Technologie et environnement, DDRT, 62-105.
- Cortés S., Gil M.L., Fernandez E. (2002). The influence of redistillation in the distribution of volatile components of marc spirit (Aguardiente) and its repercussion on the aromatic quality. *Sciences des Aliments*, 22: 265-275.

- de Smedt P., Liddle P.A.P. (1975). Place des rhums au sein des eaux-de-vie. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (34): 269-286.
- de Souza M.D.C.A., Vasquez P., Del Mastro N.L., Acree T.E., Lavin E.H. (2006). Characterization of Cachaça and rum aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (2): 485-488.
- Dirninger N., Schaeffer A. (1990). Evolution des alcools supérieurs et du méthanol dans les eaux-de-vie de fruits produites dans le nord-est de la France. *Revue Française d'Oenologie*, 126 (10): 7-15.
- Dubois P., Rigaud J. (1975). Etude qualitative et quantitative des constituants volatils du rhum. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (34): 307-315.
- Fahrasmane L., Parfait A., Jouret C., Galzy P., Pace E. (1983). Etude de l'acidité volatile des rhums des Antilles Françaises. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 100 (5): 297-301.
- Fahrasmane L., Parfait A., Jouret C., Galzy P. (1985). Production of higher alcohols and short chain acids by different yeasts used in rum fermentation. *Journal of Food Science*, 50 (5): 1427-1430, 1436.
- Fahrasmane L., Ganou-Parfait B., Bazile F. (1989). Le métabolisme du soufre dans la rhumerie. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 5 (5): 239-245.
- Fahrasmane L., Ganou-Parfait B. (1997). De la canne au rhum, INRA, Paris, 104 p.
- Fowles G.W.A. (1994). Sulphur compounds in fermented liquors: a review. *Journal of Wine Research*, 5 (2): 103-112.
- Ganou-Parfait B., Parfait A., Fahrasmane L., Jouret C. (1986). Origine de l'acide éthyl 2 méthyl 3 butyrique composant l'acidité volatile des rhums. *Belgium Journal of Food Chemistry and Biotechnology*, 41 (1): 21-24.
- Godshall M.A., Legendre G., Roberts E.J. (1978). The identification of volatile constituents in sugarcane and sugar products, Technical Session on Cane Sugar Refining Research; Washington, USA, 46-67.
- Godshall M.A. (1980). DMS in molasses, Sugar Processing Research Conference.
- Goniak O.J., Noble A.C. (1987). Sensory study of selected volatile sulfur compounds in white wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 38 (3): 223-227.
- Jouret C., Puech J.-L. (1975). Importance de la lignine dans le vieillissement de rhums. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (3-4): 325-333.
- Jouret C., Pace E., Parfait A. (1990). L'acide formique composant de l'acidité volatile des rhums. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 101 (12): 1239-1241.
- Jouret C., Pace E., Parfait A. (1994). Différenciation analytique des rhums agricoles et industriels par les alkylpyrazines. *Annales de la falsification et de l'expertise chimique et toxicologique*, 87 (926): 85-90.
- Journal officiel (1989). Règlement (CEE) N°1576/89 du Conseil, du 29 mai 1989, établissant les règles générales relatives à la définition, à la désignation et à la présentation des boissons spiritueuses, Analyse alcools. Paris, Journal officiel des communautés européennes,.
- Kervégant D. (1946). Rhums et eaux-de-vie de canne, Ed. du Golfe, 510 p.
- Koolman J., Rao R.M. (1994). Atlas de poche de biochimie- Médecine-Sciences, Flammarion.
- La Roe E.G., Shipley P.A. (1970). Whiskey composition: formation of alpha-and beta-Ionone by thermal decomposition of beta-carotene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 18 (1): 174-175.
- Lehtonen M.J., Gref B.K., Puputti E.V., Suomalainen H. (1977). 2-ethyl-3-methylbutyric acid, a new volatile fatty acid found in rum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25 (4): 953-955.
- Lehtonen M.J., Suomalainen H. (1977). Rum. in: Rose A.H., Alcoholic beverages, Master Brewers Association of the Americas, Academic press, London, 595-631.
- Leppänen O.A., Denslow J., Ronkainen P.P. (1979). A gas chromatographic method for the accurate determination of low concentrations of volatile sulphur compounds in alcoholic beverages. *Journal of the Institute of Brewing*, 85 (6): 350-353.

- Leppänen O.A., Ronkainen P., Koivisto T., Denslow J. (1979). A semi-automatic method for the gas chromatographic determination of vicinal diketones in alcoholic beverages. *Journal of the Institute of Brewing*, 85 (5): 278-281.
- Liebich H.M., Koenig W.A., Bayer E. (1970). Analysis of the flavor of rum by gas-liquid chromatography and mass spectrometry. *Journal of Chromatographic Science*, 8: 527-533.
- Lisle D.B., Richards C.P., Wardleworth D.F. (1978). The identification of distilled alcoholic beverages. *Journal of the Institute of Brewing*, 84 (2): 93-96.
- Lynen F. (1967). The role of biotin-dependent carboxylations in biosynthesis reactions. *Biochemistry Journal*, 102: 381-400.
- Lynen F. (1972). Enzymes systems for fatty acid synthesis, Proceedings of the Biochemical Society, International symposium on lipids; Bangalore, India.
- Masuda M., Nishimura K.I. (1980). A research note : occurrence and formation of damascenone, trans-2,6,6-trimethyl-1-crotonyl-cyclohexa-1,3-diene, in alcoholic beverages. *Journal of Food Science*, 45 (2): 396-397.
- Maujean A., Nedjma N., Vidal J.-P., Cantagrel R., Lurton L. (1993). Etude du comportement chimique et thermique des produits soufrés dans les vins et les eaux-de-vie. in: Cantagrel R., Elaboration et connaissance des spiritueux, Lavoisier, Paris, 110-122.
- Méjane J., Piquois J. (1975). Production d'eaux-de-vie de qualité en continu. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (3-4): 343-359.
- Mesley R.J., Lisle D.B., Richard H., Wardleworth D.F. (1975). The analytical identification of rum. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (34): 361-370.
- Mestres M., Busto O., Guasch J. (2000). Analysis of organic sulfur compounds in wine aroma. *Journal of Chromatography*, (881): 569-581.
- Misselhorn K. (1975). Formation of acetals in rum kinetic study. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (34): 371-381.
- Nascimento R.F., Marques D.S., Lima Neto B.S., De Keukeleire D., Franco D.W. (1997). Qualitative and quantitative high-performance liquid chromatographic and analysis of aldehydes in Brazilian sugar cane spirits and other distilled beverages. *Journal of Chromatography*, 782 (1): 13-23.
- Nykänen L., Puputti E., Suomalainen H. (1968). Volatile fatty acids in some brands of whisky, cognac and rum. *Journal of Food Science*. 33 (1) 88-92.
- Nykänen I., Nykänen L. (1983). Rum flavour. in: Piggott J.R., Flavour of distilled beverages : origin and development, Ellis Horwood Ltd, Chichester, 49-63.
- Nykänen L., Suomalainen H. (1983). Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverages, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 413 p.
- Nykänen I. (1986). Formation and occurrence of flavor compounds in wine and distilled alcoholic beverages. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37 (1): 84-96.
- Nykänen I., Nykänen L. (1991). Distilled beverages. in: Maarse H., Volatile compounds in food and beverages, Marcel Dekker, New York, 547-580.
- OIV (1994). Recueil des méthodes internationales d'analyse des boissons spiritueuses, des alcools et de la fraction aromatique des boissons. Paris, OIV.
- Parfait A., Jouret C. (1975). Formation des alcools supérieurs dans les rhums. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (34): 421-436.
- 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. (1983). French rums. *Kemia-Kemi*, (11): 982-983.

- Patil A.G., Koolwal S.M., Butala H.D. (2002). Fusel oil : composition, removal and potential utilization. *International Sugar Journal*, 104 (1238): 51-63.
- Pino J.A. (1996). Los componentes volatiles del aroma del ron. *Alimentaria*, (2): 79-85.
- Pino J., Marti M.P., Mestres M., Pérez J., Busto O., Guasch J. (2002). Headspace solid-phase microextraction of higher fatty acid ethyl esters in white rum aroma. *Journal of Chromatography A*, 954:51-57.
- Puech J.-L., Jouret C., Beibner L., Alibert G. (1977). Substances phénoliques des eaux-de-vie d'armagnac et de rhum. II : produits de la dégradation de la lignine (les aldéhydes et les acides aromatiques). *Industries Alimentaires et Agricoles*, 94: 483-493.
- Puglisi C.J., Elsey G.M., Prager R.H., Skouroumounis G.K., Sefton M.A. (2001). Identification of a precursor to naturally occurring b-damascenone. *Tetrahedron Letters*, 42 (39): 6937-6939.
- Rauhut D. (1989). Trace analysis of sulphurous off-flavors in wine caused by extremely volatile-containing metabolites of pesticides E.G. Orthene, 4^{ème} symposium international d'oenologie; Bordeaux, 482-487.
- Soufleros E., Bertrand A. (1987). Etude sur le "Tsipouro", eau-de-vie de marc traditionnelle de Grèce, précurseur de l'Ouzo. *Connaissance de la vigne et du vin*, 21 (2): 93-111.
- Strigler F. (1990). Evaluation sensorielle : manuel méthodologique, SSHA.
- Suomalainen H. (1975). Quelques aspects généraux de la composition de l'arôme des boissons alcooliques. *Annales de Technologie Agricole*, 24 (34): 453-467.
- Strauss C.R., Wilson B., Anderson R., Williams, P.J. (1987). Development of precursors of C13 nor-isoprenoid flavorants in Reisling grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 38 (1): 23-27.
- Ter heide R., Schaap H., Wobben H.J., De Valois P.J., Timmer R. (1981). Flavor constituents in rum. in: The quality of foods and beverages symposium of the 2nd International flavor conference, 183-200.
- Ter heide R. (1983). Recent advances in the knowledge of alcoholic beverages. in: Adda J., Richard H., International symposium on food flavors, Lavoisier, Paris, 27-45.
- Ter heide R. (1984). Concentration of odorous headspace volatiles. 15th international on essentials oils, Noordwijkerhout, Netherlands, 43-60.
- Tourlière S. (1977). Commentaires sur la présence d'un certain nombre de composés accompagnant l'alcool dans les distillats spiritueux rectifiés et eaux-de-vie. *Industries Alimentaires et Agricoles*: 565-574.
- Vidal J.-P., Cantagrel R., Mazerolles G., Lurton L., Gaschet J. (1991). Mise en évidence de l'influence du triméthyl-1,1,6 dihydro-1,2 naphthalène sur la qualité organoleptique des eaux-de-vie nouvelles de cognac. in: Bertrand A., Les eaux-de-vie traditionnelles d'origine viticoles, Lavoisier, Paris, 165-173.
- Webb A.D., Ingraham J.L. (1963). Fusel oil. *Advances in Applied Microbiology*, 5: 317-353.
- Webb A.D., Muller C.J. (1972). Volatile aroma components of wines and other fermented beverages. *Advances in Applied Microbiology*, 15: 75-146.
- Zee J.A., Simard R.E., Carbillet L., Lebel C., Liber E. (1984). Comparative composition of fusel oils in brandies made from six grapes varieties and their relationship with sensory analysis. *Lebensmittel Wissenschaft und -Technologie*, 17 :54-59.

Tableau 1 : Alcools autres que l'éthanol identifiés dans le rhum

Table 1: Alcohols else than ethyl alcohol identified in rum

	Composés	Formule	Nom d'usage
	méthanol	CH ₄ O	méthanol
alcools supérieurs	propan-1-ol	C ₃ H ₈ O	propanol
	prop-2-én-1-ol	C ₃ H ₆ O	alcool allylique
	butan-1-ol	C ₄ H ₁₀ O	butan-1-ol
	2-méthylpropan-1-ol	C ₄ H ₁₀ O	isobutanol
	butan-2-ol	C ₄ H ₁₀ O	butan-2-ol
	2-méthylbutan-1-ol	C ₅ H ₁₂ O	alcool amylique
	3-méthylbutan-1-ol	C ₅ H ₁₂ O	alcool isoamylique
	hexan-1-ol	C ₆ H ₁₄ O	hexanol
	cis-hex-3-en-1-ol	C ₆ H ₁₂ O	cis-3-hexenol
		2-phényléthanol	C ₈ H ₁₀ O

Tableau 2 : Composition du rhum en méthanol, alcools supérieurs et acétate d'éthyle (en gramme par hectolitre d'alcool pur : g/hL AP)

Table 2: Methanol, higher alcohols and ethyl acetate concentrations in rum (in gram per one hectolitre of pure alcohol)

	Mesley et al. (1975) 75 échantillons	Lisle et al. (1978) 93 échantillons
méthanol	0 - 23	0-22
butan-2-ol	0 - 350	-
propanol	5 - 1 300	5 - 1 240
isobutanol	0 - 103	0 - 109
alcool amylique	0 - 61	0 - 70
alcool isoamylique	0 - 290	0 - 329
acétate d'éthyle	4 - 1 200	4 - 1 220

Tableau 3. : Composition de différents types de rhum (Parfait 1983)

Table 3: Composition of different kinds of rum (Parfait 1983)

	g/hL AP	rum agricole	rum traditionnel	rum grand arôme	rum léger
propanol		25 – 35	20 – 35	32	62
isobutanol		85 – 115	30 – 50	5	7
alcools amyliques		240 – 280	160 – 190	3	6
aldéhydes		5 – 15	3 – 9	15	-
acides volatils		6 – 12	13 – 50	300	9
esters		18 – 26	12 – 40	350	25

Tableau 4 : Seuils et notes apportées par les alcools supérieurs et le 2-phényléthanol
 Table 4: Thresholds and aromatic notes due to higher alcohols and 2-phenylethanol

Composé	Seuil (sources)	Notes aromatiques (sources)
propanol	100 g/hL AP ⁽¹⁾	neutre ^(1, 2)
isobutanol	75 mg/L ⁽³⁾ et 25 g/hL AP ⁽¹⁾	
alcools isoamyliques	7 mg/L ⁽³⁾ et 6 g/hL AP ^(1, 2)	odeur lourde, alcool de grain, grasse, plastique, transpiration, amande, queue de chauffe, vieux gâteaux secs ⁽⁴⁾
hexanol	0,5 g/hL AP ⁽¹⁾	rôle sensoriel positif pour des concentrations de 0,5 à 10 g/hL AP, au-delà, il apporte des "notes herbacées, punaise, herbe, savon" ^(1, 2)
2-phényléthanol	125 mg/L ⁽²⁾	odeur de rose ^(1, 2, 5) , brûlé ⁽⁵⁾ , abricot, œillet, pivoine, fleur de cerisier, de prunier, abricot, œillet, pivoine ⁽⁴⁾

1 : Toulière (1977); 2: Soufleros et Bertrand (1987); 3: Cortés et al. (2002), 4 Cantagrel et al. (1996); 5: Nykänen et Suomalainen (1983)

Tableau 5 : Aldéhydes identifiés dans le rhum
 Table 5: Aldehydes identified in rum

Composé	Formule	Nom d'usage	Liebich et al. (1970) g/hL AP	Nascimento et al. (1997) g/hL AP
méthanal	CH ₂ O	formaldéhyde		0,01 à 1,2
éthanal	C ₂ H ₄ O	acétaldéhyde	0,06	3,3 à 20
propanal	C ₃ H ₆ O	propionaldéhyde	> 0,01	- à 0,06
prop-2-éanal	C ₃ H ₄ O	acroléine		- à 0,7
butanal	C ₄ H ₈ O			- à 2
2-méthylpropanal	C ₄ H ₈ O	isobutyraldéhyde	0,03	
pentanal	C ₅ H ₁₀ O	valéraldéhyde		- à 0,2
2-méthylbutanal	C ₅ H ₁₀ O	2-méthylbutyraldéhyde	0,19	
3-méthylbutanal	C ₅ H ₁₀ O	isovaléraldéhyde	0,23	- à 0,2
hexanal	C ₆ H ₁₂ O			

Tableau 6 : Cétones identifiées dans le rhum

Table 6: Cetones identified in rum

Composé	Nom d'usage	Formule
propanone	acétone	C ₃ H ₆ O
hydroxypropanone	hydroxyacétone	C ₃ H ₆ O ₂
butan-2-one		C ₄ H ₈ O
butane-2,3-dione	diacétyle	C ₄ H ₆ O ₂
pentan-2-one		C ₅ H ₁₀ O
pentan-3-one		C ₅ H ₁₀ O
cyclopentanone		C ₅ H ₈ O
pent-3-en-2-one		C ₅ H ₈ O
pentane-2,3-dione		C ₅ H ₈ O ₂
hexan-2-one		C ₆ H ₁₂ O
hexan-3-one		C ₆ H ₁₂ O
2-méthylcyclopentanone		C ₆ H ₁₀ O
4-éthoxybutan-2-one		C ₆ H ₁₂ O ₂
4-méthylpent-3-en-2-one		C ₆ H ₁₀ O
heptan-2-one		C ₇ H ₁₄ O
heptane-2,3-dione		C ₇ H ₁₂ O ₂
4-éthoxypentane-2-one		C ₇ H ₁₄ O ₂
1,1-diéthoxy-2-propanone		C ₇ H ₁₄ O ₃
octan-2-one		C ₈ H ₁₆ O
nonan-2-one		C ₉ H ₁₈ O
(E) non-6-en-2-one		C ₉ H ₁₆ O
4,4-diéthoxypentan-3-one		C ₉ H ₁₈ O ₃
décan-2-one		C ₁₀ H ₂₀ O
4-(2-méthylbutoxy)-pentan-2-one		C ₁₀ H ₂₀ O ₂
4-(3-méthylbutoxy)-pentan-2-one		C ₁₀ H ₂₀ O ₂
4-éthoxy-6-méthylheptan-2-one		C ₁₀ H ₂₀ O ₂
undécan-2-one		C ₁₁ H ₂₂ O
dodécan-2-one		C ₁₂ H ₂₄ O
tridéca-2-one		C ₁₃ H ₂₆ O

Tableau 7 : Concentration en butane-2,3-dione et pentane-2,3-dione (Leppänen et al. 1979)

Table 7: Concentrations of butane-2,3-dione and pentane-2,3-dione (Leppänen et al. 1979)

µg/L	butane-2,3-dione	pentane-2,3-dione
rhum blanc	460	50
rhum Jamaïque	950	570
rhum Martinique	4400	260

Tableau 8 : Acétals identifiés dans le rhum

Table 8: Acetals identified in rum

Composé	Nom d'usage	Formule
1,1-diéthoxyéthane	acétal	C ₆ H ₁₄ O ₂
1-éthoxy-1-(2-méthylbutoxy)-éthane		C ₉ H ₂₀ O ₂
1-éthoxy-1-(3-méthylbutoxy)-éthane		C ₉ H ₂₀ O ₂
1,1-diéthoxy-3-méthylbutane		C ₉ H ₂₀ O ₂
1-(2-méthylpropoxy)-1-(3-méthylbutoxy)-éthane		C ₁₁ H ₂₄ O ₂

Tableau 9 : Acides identifiés dans le rhum

Table 9: Acids identified in rum

	Composé	Formule	Nom d'usage
C1-C7	acide méthanoïque	CH ₂ O ₂	acide formique
	acide éthanoïque	C ₂ H ₄ O ₂	acide acétique
	acide propanoïque	C ₃ H ₆ O ₂	acide propionique
	acide propénoïque	C ₃ H ₄ O ₂	
	acide 2-méthylpropanoïque	C ₄ H ₈ O ₂	acide isobutyrique
	acide butanoïque	C ₄ H ₈ O ₂	acide butyrique
	acide 3-méthylbutanoïque	C ₅ H ₁₀ O ₂	acide isovalérique
	acide pentanoïque	C ₅ H ₁₀ O ₂	acide valérique
	acide 4-méthylpentanoïque	C ₆ H ₁₂ O ₂	acide 4-méthylvalérique
	acide hexanoïque	C ₆ H ₁₂ O ₂	acide caproïque
	acide heptanoïque	C ₇ H ₁₄ O ₂	
	acide 2-éthyl-3-méthylbutanoïque	C ₇ H ₁₄ O ₂	acide 2-éthyl-3-méthylbutyrique
C8-C18	acide octanoïque	C ₈ H ₁₆ O ₂	acide caprylique
	acide décanoïque	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	acide caprique
	acide dodécanoïque	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	acide laurique
	acide tétradécanoïque	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	acide myristique
	acide hexadécanoïque	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	acide palmitique
	acide octadécanoïque	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	acide stéarique
	acide 2-hydroxypropanoïque	C ₃ H ₆ O ₃	acide lactique

Tableau 10 : Concentrations en acidité volatile et acidité totale d'échantillons de rhum (Nykänen et Suomalainen 1983)

Table 10: volatile and total acidities in rum samples (Nykänen et Suomalainen 1983)

	g/hL AP	Acidité volatile	Acidité totale
rhum agricole Martinique		3 – 75	10 – 110
rhum industriel Martinique		14 – 61	16 – 71
rhum grand arôme Martinique		185 – 275	213 – 280
rhum Réunion		24 – 68	29 – 72
rhum Guadeloupe		22 – 80	28 – 87
rhum Guyane		104	106
rhum Madagascar		81	85
rhum Jamaïque		105	114
rhum de Trinidad		42	57
rhum Barbades		60	70

Tableau 11: Composition en acides volatils

Table 11: Concentration of volatile acids in rums

		Rhum Caraïbes	Rhum Brésil	Rhum de Cuba	Rhum des Caraïbes
		Nykänen et Nykänen (1983)			
		mg/L			
C1-C7	acétique	0,91	1,6	4	1,63
	propionique	0,03	0,04	0,07	0,07
	isobutyrique	0,02	0,09	0,12	0,05
	butyrique	0,05	0,11	0,15	0,14
	isovalérique	0,02	0,11	0,1	0,07
	valérique	0,005	0,01	0,02	0,01
	2-éthyl-3-méthylbutyrique	0,02	0,12	0,24	0,01
	caproïque	0,02	0,17	0,1	0,13
	heptanoïque	0,005	0,02	0,01	0,01
		Nykänen et Suomalainen (1983)			
		mg/L			
C8-C18	caprylique	0,03	1,23	0,48	0,64
	caprique	0,03	0,3	0,28	0,99
	laurique	0,01	Tr	0,02	0,49
	myristique	0,02	0,03	0,02	0,13
	hexadec-9-énoïque	Tr	Tr	Tr	0,1
	palmitique	0,06	0,07	0,05	0,17
	octa-9,12-diénoïque	0,005	0,007	0,008	0,03
	octadec-9-énoïque	0,01	0,03	0,01	0,04
	stéarique	0,03	0,04	0,03	0,05

Tableau 12 : Esters identifiés dans le rhum

Table 12: Esters identified in rum

	Composé	Formule	Nom d'usage
C1-C7	méthanoate d'éthyle	C ₃ H ₆ O ₂	formate ou formiate d'éthyle
	éthanoate d'éthyle	C ₄ H ₈ O ₂	acétate d'éthyle
	éthanoate de propyle	C ₅ H ₁₀ O ₂	acétate de propyle
	butyrate de propyle	C ₇ H ₁₄ O ₂	
	2-méthylbutyrate d'éthyle	C ₇ H ₁₄ O ₂	
	3-méthylbutyrate d'éthyle	C ₇ H ₁₄ O ₂	isovalérate d'éthyle, acétate d'isoamyle
C8-C14	pentanoate d'éthyle	C ₇ H ₁₄ O ₂	valérate d'éthyle
	hexanoate d'éthyle	C ₈ H ₁₆ O ₂	caproate d'éthyle
	octanoate d'éthyle	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	caprylate d'éthyle
	décanoate d'éthyle	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	caprate d'éthyle
	nonénoate d'éthyle	C ₁₁ H ₁₂ O ₂	cinnamate d'éthyle
	dodécanoate d'éthyle	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	laurate d'éthyle
> C14	tétradécanoate d'éthyle	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	myristate d'éthyle
	hexadécanoate d'éthyle	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	palmitate d'éthyle
	9-hexadécenoate d'éthyle	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	palmitoléate d'éthyle
	octadécanoate d'éthyle	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	stéarate d'éthyle
+ O ₂	2-hydroxypropanoate d'éthyle	C ₅ H ₁₀ O ₃	lactate d'éthyle
	4-hydroxy-4-oxobutyrate d'éthyle	C ₆ H ₁₀ O ₄	succinate d'éthyle

Tableau 13 : Concentration en esters du rhum d'après Nykänen et Suomalainen (1983)

Table 13: Ester concentrations in rum according to Nykänen and Suomalainen (1983)

	g/hL AP	Rhum des Bahamas	Rhum de Guadeloupe 60>TNA>280	Rhum de Jamaïque 60>TNA>280	Rhum de Puerto Rico
	Taux Non Alcool				
C2	acétate d'éthyle	-18	15-80	30-70	13-26
C8-C14	caproate d'éthyle	0,02-0,4	0,07-0,8	0,02-0,4	0,02-0,05
	caprylate d'éthyle	0,2-0,9	0,03-0,4	0,2-0,5	0,1-0,3
	caprate d'éthyle	Tr-0,2	0,05-0,3	0,04-0,8	0,02-0,2
	laurate d'éthyle	Tr-0,005	0,05-0,2	0,02-0,5	Tr-0,001

Tr : traces

Tableau 14 : Concentration en esters (groupe >C6) du rhum d'après de Smedt et Liddle (1975)
 Table 14: Ester (group >C6) concentrations in rum according to de Smedt and Liddle (1975)

	g/hL AP	Rhum Martinique	Rhum de Guadeloupe	Rhum de Madagascar	Rhum de la Réunion	Rhum léger
C7	acétate d'isoamyle	0-0,5	0,5-0,7	0-0,4	0-1,5	traces
C8-C14	caproate d'éthyle	0-0,25	0-0,25	traces	0,25-2,5	traces
	caprylate d'éthyle	1-1,5		1-1,7	0,5-1,25	0,25-0,45
	caprate d'éthyle	1,7-4,2	2-2,25	2,5-3,7	0,7-3,5	0,22-0,27
	laurate d'éthyle	1,1-2,2	1,5-3	1-1,5	0,5-1	traces
> C14	myristate d'éthyle	0,25-1,5	0-0,05	0-1,2	0-0,05	traces
	palmitate d'éthyle	0,25-2	0,75-1	0,2-1	0-1	traces
	palmitoléate d'éthyle	0-2	0,3-0,5	0-1	0-0,5	traces
	lactate d'éthyle	3,20-11,5	0-2,3	traces	3,7-13,7	traces

Tableau 15 : Seuil et notes aromatiques des esters
 Table 15: Thresholds and aromatic notes of esters

	Composé	Notes
C1-C7	acétate d'éthyle	vinaigre, colle scotch, dissolvant, plastique. notes négatives >50 g/hL AP
	butyrate d'éthyle	beurre
	acétate d'isoamyle	banane, bonbon anglais, fruits à baies rouge, vernis, ananas
	isovalérate d'éthyle	fruité
	valérate d'éthyle	fruité
C8-C14	isobutyrate d'éthyle	melon
	caproate d'éthyle	banane, ananas trop mûr, pomme, herbacé, herbe écrasée, rance, légèrement anisé, fromage de chèvre, pomme, odeur de la violette ou de l'ananas
	caprylate d'éthyle	muguet, valériane, savonneux, odeur lactique, végétal
	caprate d'éthyle	amande amère, caramel, épice, ananas trop mûr
	laurate d'éthyle	fumée, cannelle, rose, vineux, abricot, savonneux
	cinnamate d'éthyle	odeur de poire
	lactate d'éthyle	vineux, toile cirée, petit lait, olive, caoutchouc, melon passé

Tableau 16 : Composés soufrés identifiés dans le rhum

Table 16: Sulphur compounds identified in rum

Composé	Nom d'usage	Formule	Fahrasmane et al. (1989) µg/L
hydrogène sulfuré		H ₂ S	
disulfure de carbone		CS ₂	
éthanethiol	ethyl mercaptan	C ₂ H ₅ SH	
sulfure de diméthyle	DMS	C ₂ H ₆ S	820 – 1000
sulfure de diéthyle		C ₄ H ₁₀ S	0 – 250
sulfure de d'éthylméthyle		C ₃ H ₈ S	120
disulfure de diméthyle	DMDS	C ₂ H ₆ S ₂	27 – 170
disulfure de diéthyle		C ₄ H ₁₀ S ₂	
trisulfure de diméthyle		C ₂ H ₆ S ₃	2,2 – 2,5

Tableau 17 : Dérivés des isoprénoïdes identifiés dans le rhum

Table 17: Derives from isoprenoides identified in rum

Composé	Nom d'usage	Formule
2-méthylbuta-1,3-diène	isoprène	C ₅ H ₈
5-méthyl-2-(1-méthyléthyl)-cyclohexanol	menthol	C ₁₀ H ₂₀ O
3,7-diméthyl-6-én-1-ol	citronellol	C ₁₀ H ₂₀ O
3,7-diméthyl-2,6-diène-1-ol	geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O
3,8,8-triméthyl-1,2,3,4-tetrahydronaphtalène	TTN	C ₁₃ H ₁₆
1,1,6-triméthyl-1,2,3,4-dihydronaphtalène	TDN	C ₁₃ H ₁₆
1-(2,6,6-triméthylcyclohexa-2,3-diène)-but-2-ène-1-one	(E) β damascénone	C ₁₃ H ₁₈ O
megastigma-5,8(E)-diène-4-one		
megastigma-5,8(Z)-diène-4-one		

Tableau 18 : Composés hétérocycliques possédant un atome d'azote

Table 18: Heterocyclic compounds with a nitrogen atom

Composé	Formule	Liebich et al. (1970) g/hL AP
2-méthylpyrazine	C ₅ H ₆ N ₂	0,06
2,6-diméthylpyrazine	C ₆ H ₈ N ₂	0,19
2,5-diméthylpyrazine	C ₆ H ₈ N ₂	0,10
2-méthyl-6-éthylpyrazine	C ₇ H ₁₀ N ₂	0,01
2-méthyl-3-éthylpyrazine	C ₇ H ₁₀ N ₂	0,03
3,5-diméthyl-2-éthylpyrazine	C ₈ H ₁₂ N ₂	0,01
2,5-diméthyl-3-éthylpyrazine	C ₈ H ₁₂ N ₂	0,03

Tableau 19 : Lactones identifiées dans le rhum

Table 19: Lactones identified in rum

Composé	Formule	Nom alternatif
dihydro-2-méthyl-3(2H)-furanone	C ₅ H ₈ O ₂	δ-pentalactone
tétrahydro-6-propyl-2H-pyran-2-one	C ₈ H ₁₄ O ₂	δ-octalactone
cis-5-butyl-4-méthyl-dihydro-3H-furan-2-one	C ₉ H ₁₆ O ₂	β-méthyl-γ-octalactone
dihydro-5-pentyl-3H-furan-2-one	C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-nonactone
5-hexyldihydro-3H-furan-2-one	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	γ-décalactone
dihydro-5-octyl-3H-furan-2-one	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-dodécalactone
tétrahydro-6-pentyl-2H-pyran-2-one	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	δ-décalactone
6-heptyltétrahydro-2H-pyran-2-one	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	δ-dodécalactone

Tableau 20 : Composés phénoliques identifiés dans le rhum

Table 20: Phenolic compounds identified in rum

Composés	Formules	Nom alternatif
phénol	C ₆ H ₆ O	
2-méthoxyphénol	C ₇ H ₈ O ₂	guaiacol
benzaldéhyde, formylphényle	C ₇ H ₆ O	phénylméthanal
4-éthylphénol	C ₈ H ₁₀ O	
4-méthyl-2-méthoxyphénol	C ₈ H ₁₀ O ₂	4-méthylguaiacol
acide 3-hydroxy-4-méthoxybenzoïque	C ₈ H ₁₀ O ₄	acide vanillique
4-éthyl-2-méthoxyphénol	C ₉ H ₁₂ O ₂	4-éthylguaiacol
3-hydroxy-4-méthoxy-benzaldéhyde	C ₈ H ₁₀ O ₃	vanilline
2-méthoxy-4-prop-1-énylphénol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	isoeugénol
4-allyl-2-méthoxyphénol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	rugénol
3-méthoxy-4-hydroxybenzoate d'éthyle	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	3-vanillate d'éthyle, vanillate d'éthyle

Tableau 21 : Composés les plus importants en termes quantitatif et qualitatif dans le rhum.
 Table 21: Most important compounds in term of quantity and sensorial impact of rum

Composés	rhum traditionnel g/hL AP	seuil sensoriel g/hL AP	notes aromatiques
méthanol	0-22	1000	neutre
butan-1-ol	0		
butan-2-ol	0- 2,6		
propanol	91- 178	100	neutre
isobutanol	28 -35	25	
alcools isoamyliques	126 -166	6	savonneux, odeur de distillerie, butyrique, lourde, grasse, transpiration, queue de chauffe, vieux gâteaux secs
acétaldéhyde	2 -15	25 mg/L	pomme mâchée, citron vert, alcool de marc, noix, pomme verte
butane-2,3-dione	0,4-4,4 mg/L	3 µg/L	beurre
pentane-2,3-dione	0,05 -0,6 mg/L		
acétal	5,2	2	
ac.acétique	≈2	2 µg/L	vinaigre
ac.propionique			âcre, lait acide
ac.butyrique			beurre rance
acétate d'éthyle	2 -35		vinaigre, colle scotch, dissolvant, plastique
caproate d'éthyle	≈ 2	élevé	banane, ananas trop mûr, pomme, herbacé, (herbe écrasée), rance, légèrement anisé, fromage de chèvre
caprylate d'éthyle			muguet, valériane, savonneux, odeur lactique, végétal
caprate d'éthyle			amande amère, caramel, épice, ananas trop mûr
laurate d'éthyle			fumée, cannelle, rose, vineux, savonneux
DMS	800 -1 000 µg/L	6 µg/L	choux, asperge
DMDS	27 -170 µg/L	2,5 µg/L	choux cuit
furfural			caramel
alkylpyrazines	<1		brulé
TDN, TTN		6 mg/L	kérozène, hydrocarbure, plastique
β-damascénone	0,15	0,9.10 ⁻² µg/L	fruits et de fleurs