CONTROLE ET OPTIMISATION DE LA DISTILLATION CHARENTAISE A L'ECHELLE PILOTE

Alain SOMMIER*, Christophe CHIPEAUX, Martine DECLOUX,**

Gérald FERRARI *, Bernard GALY ***, L. LURTON*****

** TREFLE UMR 8508*
Site ENSAM
Esplanade des arts et métiers
33405 Talence cedex
05 56 84 54 15
alain.sommier@bordeaux.ensam.fr

***AGROPARISTECH*
1 Avenue des Olympiades
91744 – MASSY Cedex

**** BNIC – Station Viticole*
69, rue de Bellefonds, BP 18
16101 Cognac Cedex

Résumé : La production de Cognac est une activité importante avec un chiffre d'affaires d'environ 1,6 milliards d'euros pour des expéditions s'élevant à plus de 152 millions d'équivalent bouteilles en 2007. Le Cognac est exporté à 96 % dans 158 pays… Pourtant, elle reste dans l'esprit, plus un art qu'une technique. Produit de luxe dont l'image est à préserver et valoriser, le Cognac doit maintenir le créneau du haut de gamme par une qualité irréprochable [CR98]. Le Bureau National Interprofessionnel du Cognac (B.N.I.C.) s'est dotée d'un atelier pilote pour les étapes de transformation du raisin à l'eau-de-vie, dont l'étape de distillation. Les durées et les allures de chauffe, les opérations de recyclage, les températures constituent autant d'éléments influant sur la qualité des eaux-de-vie. Afin d'améliorer la maîtrise de la distillerie et la traçabilité des produits traités, une supervision complète réalisée grâce à LabVIEW à été implantée afin de maîtriser et d'optimiser le procédé de distillation charentaise.

Mots clefs : alambics, distillation, automatisation, supervision, traçabilité

1 INTRODUCTION

Le Cognac est obtenu par une double distillation issu de la tradition mais il se doit d'évoluer avec les contraintes du monde moderne, tout en respectant le savoir faire ancestral. Ainsi, sécurité alimentaire, traçabilité, maîtrise et optimisation du procédé sont de rigueur. Un enjeu majeur consiste à optenir une eau-de-vie ayant un Titre Alcoométrique Volumique (TAV) de 70% vol. quelque soit le TAV du vin, puis celui du brouilli obtenu lors de la première distillation.

Afin d'étudier finement la distillation charentaise et de disposer d'un outil de production à petite échelle pour ses projets de recherche, la Station Viticole du BNIC a développé un atelier de distillation pilote (au 1/30). La mise en place d'un système spécifique d'acquisition des paramètres de fonctionnement en ligne a été développé pour enregistrer la traçabilité du process et exploiter les données. Ensuite, le pilotage de cette installation a eu pour objectif de produire des eaux de vie similaires à celles obtenues à l'échelle de la production (d'un point de vue physicochimique et organoleptique). Des alambics pilotes ont été fortement instrumentés. LabVIEW a été choisi pour superviser entièrement l'application grâce à son interface utilisateur conviviale et du fait que le système est ouvert (il est toujours possible de rajouter un appareil de mesure ou une sortie pour piloter un périphérique).

2 DISTILLATION DU VIN

La distillation charentaise s'effectue en deux chauffes [PT97], au moyen d'un alambic, dit « charentais » en cuivre. Le terme alambic vient du grec « ambix » qui correspond au récipient des vapeurs condensées. Le cuivre a été choisi car c'est un métal très malléable et bon conducteur de la chaleur. Il a également un rôle catalytique de certaines réactions chimiques et complexations de molécules peu agréables sur le plan organoleptique.

2.1 Description de l'alambic Charentais

L'alambic charentais **(**cf. ***Figure 1*****)** n'a pratiquement pas changé depuis le XVI^{e}siècle [DJ55]. Cet appareil entièrement en cuivre, se compose de 6 éléments principaux : la chaudière ou cucurbite, le chapiteau, le col de cygne, le chauffe-vin (qui n'est pas implanté sur toutes les installations), le serpentin, la pipe ou le réfrigérant, le porte alcoomètre.

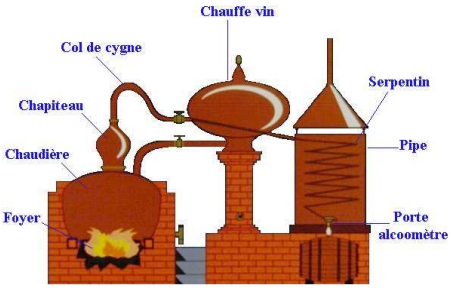

Figure 1 : l'alambic charentais traditionnel à gauche, pilote 14 l à droite

2.2 Conduite de la distillation

Lors de la "première chauffe", le vin est introduit dans la chaudière. La chaleur du foyer porte le liquide à ébullition. Les vapeurs alcooliques se dégagent, s'accumulent dans le chapiteau, s'engagent dans le col de cygne puis dans le serpentin. Au contact du réfrigérant, elles se condensent pour s'écouler sous forme de brouillis. Le liquide qui coule entre 2 %vol et 0 %vol est appelé « queue ». Le brouillis titre environ 24 à 32 % vol selon le TAV initial du vin. Il représente à peu près 1/3 du volume primitif.
Lors de la deuxième chauffe, encore appelée "bonne chauffe", les brouillis sont mis dans la chaudière et redistillés. Les premières portions du distillat sont appelées « têtes ». On recueille ensuite l'eau-de-vie limpide ou « cœur » qui s'écoule jusqu'à la coupe vers 60 % vol. Ce qui passe ensuite jusqu'à 0 %vol est mis à part. Ce sont les « secondes ». Le moment qui sépare le cœur des secondes est appelé « la coupe ».

Enfin, une eau-de-vie ne peut devenir Cognac qu'après une lente maturation dans les fûts de chêne, lui donnant ainsi sa couleur et son bouquet

3 OPTIMISATION DE LA DISTILLERIE PILOTE

Réaliser des essais en distillerie traditionnelle demande une organisation et une mise en œuvre fastidieuses, ainsi que la mise en œuvre de volumes de vin très importants. En vue de diminuer les quantités nécessaires et d'éviter les mélanges, l'idée de construire un atelier de distillation pilote qui reproduirait fidèlement le procédé, est née. Ainsi l'atelier de distillation pilote dispose actuellement de 2 alambics de 70 L de charge pour la chauffe des vins, et de 4 alambics de 14 L (cf. *Figure 1*) de charge pour les bonnes chauffes de brouillis. L'automatisation de l'ensemble afin d'améliorer la qualité des tests semblait importante [LJP93], de même que l'acquisition des données pour contrôler, tracer et exploiter toutes les informations relatives au procédé.

3.1 Matériel et logiciel de supervision

Il a d'abord fallu choisir le matériel d'acquisition [CM97] en fonction du cahier des charges initialement prévu : 114 mesures de température réparties sur 6 alambics (2 alambics de 70 litres pour la première distillation et 4 alambics de 14 litres pour la deuxième distillation), une vingtaine d'entrées tension (capteur de pression, débit de gaz…), pilotage de 4 balances pour calculer le débit massique du distillat et effectuer les différentes opérations nécessaires à la distillation au moment opportun, piloter divers composants (vannes, régulateurs…). Le nombre et la variété des entrées sorties nous a amené à choisir un boîtier déporté SCXI-1001 12 Slots équipé de cartes SCXI 1100 et 1102 ainsi que d'un terminal block pour faciliter la connexion des capteurs ou des actionneurs. Ce boîtier est connecté au PC qui comporte une carte entrée sortie 12 bits PCI 6023.Ce type de matériel ne nous limite pas non plus en vitesse d'acquisition.

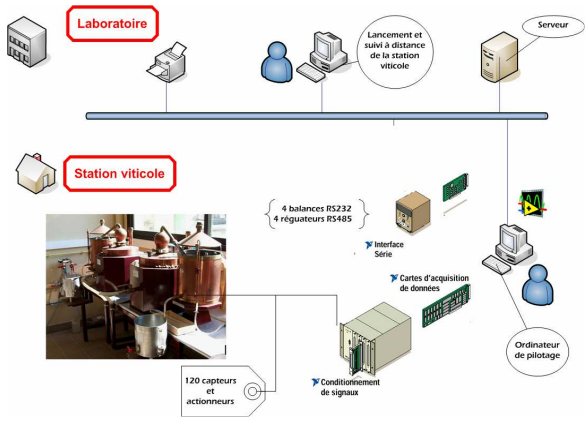

Figure 2 : liaison des systèmes mis en place pour le contrôle-commande

Une balance située en sortie de chaque alambic mesure la masse de produit distillé en continue. Les 4 balances communiquent avec le PC via une liaison RS232. Une carte PCI-232/4 a ainsi été ajoutée pour étendre le nombre de ports RS-232 à 6. Pour des intervalles réglables d'une secondes à 2 minutes cette masse est stockée en mémoire ainsi que les températures mesurées sur les différents alambics, les puissances de chauffage... Une simple fonction nous permet de calculer le débit massique du distillat. Lorsque la masse de produit à obtenir est atteinte, le programme signale à l'utilisateur par un bip sonore et une alarme visuelle qu'il faut arrêter la récupération du produit. Ceci a pour but de respecter le taux d'alcool volumique optimal et la qualité recherchée du distillat.

3.2 Programmation du pilotage des alambics de 14 L

En fonction du protocole, il a fallu définir les étapes et les paramètres pertinents pour la conduite de la bonne chauffe. Grâce aux campagnes de distillation réalisées en manuel, une base de données assez conséquente a permis d'établir des calculs prévisionnels. Ces calculs déterminent à partir du TAV du brouillis et de la charge de la chaudière, la masse et le TAV de l'eau-de-vie à récupérer sachant que l'on désire récupérer dans le cœur 70% de l'alcool présent au départ. Une relation entre le TAV de l'eau-de-vie et celui du brouillis a été établie : $TAV_{EDV} = 0{,}19*TAV_{br} + 65{,}6$. Connaissant la quantité d'alcool pur et le TAV de l'eau-de-vie à récupérer, son volume et sa masse prévisionnels sont estimés. Ainsi au début de chaque distallation nous ouvrons une interface afin que le distallateur rentre la charge de chaque alambic et le TAV du brouilli correspondant. Ces valeurs sont les entrées du programme de pilotage principal.

Piloter la bonne chauffe revient à programmer la puissance des résistances car la bonne conduite de la chauffe consiste à éviter le passage de substances désagréables en réglant convenablement la vitesse et la régularité du chauffage et en effectuant la coupe au bon moment.

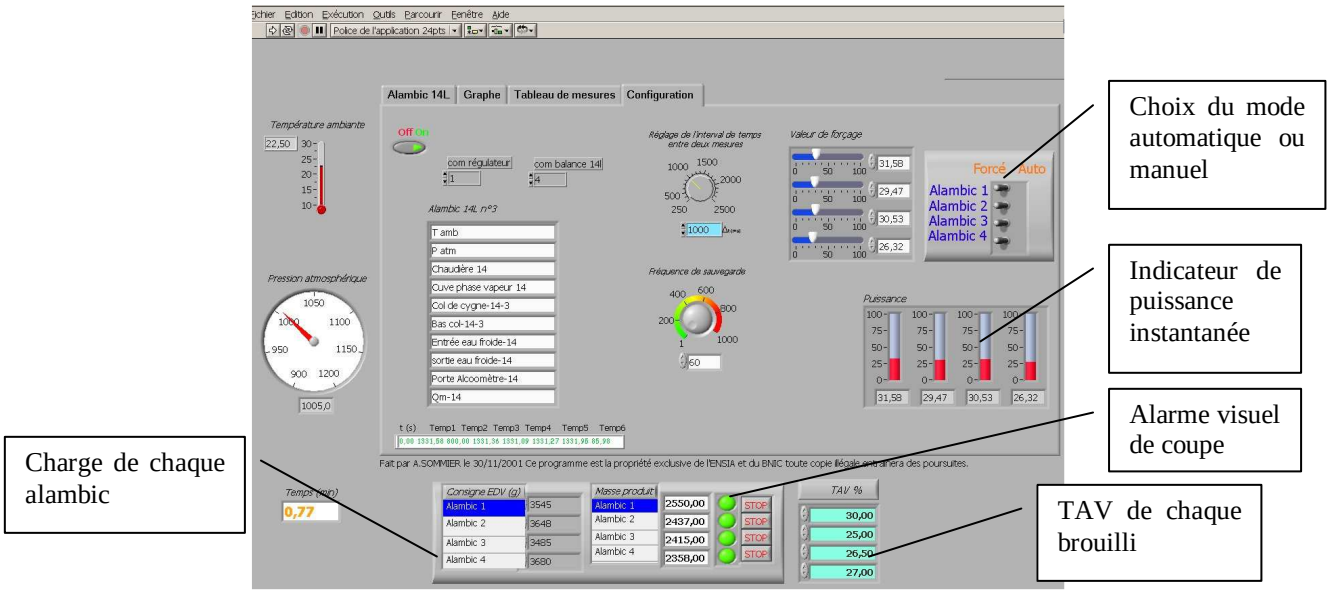

Figure 3 : Onglet de configuration du programme principal

La bonne chauffe regroupe trois étapes principales : la mise au courant, le coulage du cœur et sa coupe, le coulage des secondes et leur coupe.
Il est important de bien conduire la séparation des têtes car ces imparfaits contiennent des produits désagréables et nuisibles à la qualité du Cognac [LO02]. Lors de la mise au courant, le passage des vapeurs au haut col et au bas col est contrôlé afin de régler la puissance de chauffe et l'ouverture du registre. Les températures à ces deux niveaux permettront de gérer la chauffe. Les étapes de la mise au courant sont résumées sur la *Figure 4*.
Avant l'instrumentation de l'atelier, la programmation de la puissance n'évoluait pas au cours du coulage du cœur. Elle était fixée à une valeur moyenne de 25% (cf. *Figure 4*). Or, il est important de débuter doucement la chauffe afin de favoriser le tri. Puis, il est nécessaire d'augmenter régulièrement la puissance pour activer certaines réactions propices à la qualité des eaux-de-vie et limiter la durée de la chauffe. En effet, au fur et à mesure de la chauffe, la chaudière contient de moins en moins d'alcool, il est donc nécessaire de chauffer plus pour obtenir un débit de coulage constant étant donné que l'eau a une température d'ébullition supérieure à celle de l'alcool. En prenant en compte ces considérations, nous avons établi une évolution de la puissance en fonction du TAV de brouillis et du temps $P=f(Tav_{br}, t)$. La puissance est régulée par cette équation jusqu'à l'approche de la zone de coupe.

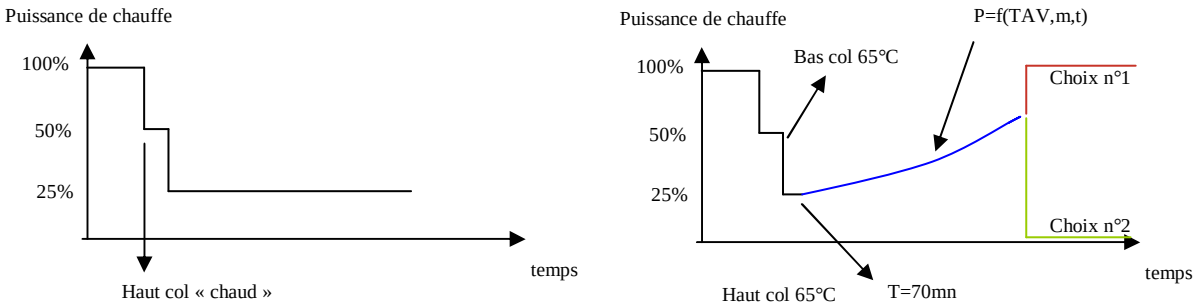

Figure 4 : Chauffage manuel et programme de chauffage optimisé

Les boites de calcul disponibles dans labVIEW nous permettent facilement de réaliser des tests et de calculer en temps réel la puissance de chauffage optimale pour chaque alambic. Lorsque la masse d'eau de vie est atteinte, le programme signale par un bip sonore et une

alarme visuelle qu'il faut commencer à contrôler le TAV de l'eau-de-vie. Une fois la coupe réalisée, il y a passage au coulage des secondes ou arrêt de la chauffe. Pour le coulage des secondes, le chauffage se fait au maximum de puissance soit 100%. Un onglet « configuration » permet à l'opérateur de passer en pilotage manuel et de choisir alors la puissance de chauffage adaptée.
Toutes les données, ainsi qu'une fiche de suivi, sont stockées au format ascii, et peuvent être ainsi exploitées et visualisées sous d'autres logiciels pour assurer la traçabilité du process.
De plus l'opérateur peut lancer le programme à distance ou bien contrôler le bon déroulement de la distillation.

4 RESULTATS

Des essais réalisés à la Station Viticole avaient montré que les eaux-de-vie produites à l'échelle pilote en mode manuel étaient comparables à celles produites à l'échelle industrielle. Il était alors crucial de vérifier que le système de contrôle-commande n'introduisait pas de biais et au contraire améliorait cette répétabilité. Pour cela, à partir d'un même vin, nous avons comparé l'eau-de-vie issue de la distillation réalisée dans une distillerie traditionnelle (alambic de 25 hl de charge) et le produit obtenu en mode automatique à l'échelle pilote.

4.1 Analyse chimique des eaux-de-vie

Les composés volatils majoritaires ont été analysés par injection directe en chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme. Les éléments dosés sont entre autres le méthanol, les alcools supérieurs, les aldéhydes et les principaux esters. Les composés en concentration moindre ont été analysé en chromatographie gazeuse mais après une extraction au triméthylpentane ou isooctane. Les méthodes de chromatographie sont celles recommandées par l'Office International de la Vigne et du Vin (O.I.V., 1994) pour l'analyse des boissons spiritueuses.
Pour la majorité des composés chimiques la variation oscille entre –20 et +20% en général. Nous ne pouvons pas noter de différence significative. Quand les familles de composés sont regroupées, l'écart n'excède pas 15%. Pour les alcools supérieurs, la différence moyenne de concentration est de 3,75%, pour les esters éthyliques de 6%, pour les acétates de 4,95% et pour les terpènes de 13,4%. Quelques résultats sont à relativiser. La volatilité très importante de certains composés comme celle du diéthoxyisobutane ou de l'acétal peut entraîner des pertes lors de la préparation de l'échantillon et fausser le résultat d'analyse

4.2 Analyse sensorielle des eaux-de-vie

Le jury de dégustation choisi est constitué de membres du personnel de la Station Viticole choisis pour leur connaissance approfondie de l'eau-de-vie et ayant fait l'objet d'un entraînement spécifique. Les essais ont été réalisés en duo-trio (Norme NF ISO 10399). Ils permettent de déceler s'il existe une différence entre deux échantillons de produits, perçue par un jury. Le principe repose sur la présentation simultanée, à un sujet, de trois échantillons dont deux sont identiques. Le sujet doit identifier l'échantillon qu'il perçoit identique à l'échantillon de référence et indiquer l'intensité de la différence entre les deux autres. Il attribue une note à chacun des échantillons ainsi que des descripteurs sensoriels.
Concernant l'évaluation des échantillons, les notes oscillent entre 5,4 et 6,8 avec un maximum pour l'eau-de-vie traditionnelle mais la plage de notation observée est restreinte. Les échantillons ont été appréciés de façon identique. les deux eaux-de-vie pilote ne présentent pas de différence significative. En effet, la majorité du jury a perçu la différence comme peu sensible. Nous pouvons donc considérer que les eaux de vie produites en mode automatique sont perçues comme une eau de vie produite de manière artisanale.

4.3 Régularité de production

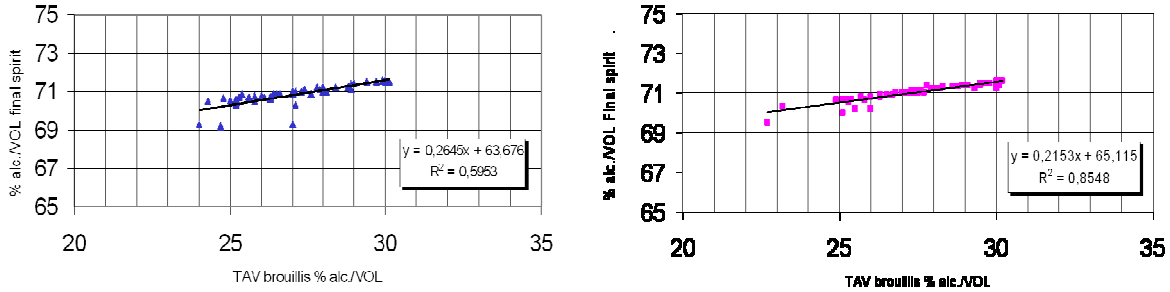

Figure 5 : TAV final des eaux de vie obtenues en mode manuel (gauche) et automatique (droite)

Les distillations menées grâce au programme de pilotage présentent toutes un TAV final compris entre 70 et 72 % pour des TAV de brouillis compris entre 23 et 30%. Ces résultats sont à comparer aux résultats des distillations manuelles, non seulement la cible est obtenue de manière plus constante en automatique (R^2=0.85 contre 0.59 en manuel) mais avec un gain de temps de 15 à 20%.

5 CONCLUSION

Après une première phase, le programme réalisé sous LabVIEW a permis d'assurer une meilleure maîtrise du procédé. Il s'est vite imposé comme un outil convivial, évolutif, adaptable et robuste qui facilite le travail du distillateur. Une stratégie de chauffage originale permet de conserver un débit d'alcool constant en sortie d'alambic. Cela permet également un gain de temps non négligeable (15 à 20%) sur la durée totale de distillation. Cette amélioration est d'autant plus importante qu'elle n'est pas au détriment de la qualité du produit. Les analyses chimiques et sensorielles réalisées sur un produit traditionnel et sur celui obtenu par ce nouveau procédé ne montrent pas d'écarts significatifs. D'autre part, le superviseur permet un grand confort de travail pour le distillateur qui doit suivre 6 alambics à la fois. L'exploitation des données recueillies permet de vérifier de bon déroulement des distillations, ou au contraire de déceler la dérive éventuelle de certains paramètres.

6 BIBLIOGRAPHIE

[CR98] CANTAGREL R., MAIGNIAL L., FERRARI G., SNAKKERS G. 1998 : Elaboration du Cognac ; la qualité se protège, gage de sécurité pour le consommateur. Bull. O.I.V., 813-814, 1031-1057.

[CM97] Cerr M. 1997 : Analyse industrielle 2, Instrumentation industrielle vol.3, TEC & DOC, Lavoisier, PARIS. ISBN 2 85206 999 7.

[DJ55] Dujardin J. 1855 : L'Art de la distillation, DUJARDIN SALLERON, PARIS.

[LO02] Lablanquie O., Snakkers G., Cantagrel R., Ferrari G., 2002 : Characterization of young Cognac spirit aromatic quality. Analytica Chimica Acta, 458, 191-196

[LJP93] Laveau J.P., 1993 : Automatisme de distilleries : l'évolution du matériel et de la technologie des process d'automatisation des alambics charentais au cours des dix dernières années. In : Elaboration et connaissance des spiritueux, BNIC ed., TEC & DOC, Lavoisier, Paris. ISBN 2 87777 3574.

[PT97] Poiron T., 1997 – La Distillation Charentaise dans l'élaboration d'une eau-de-vie de Cognac. Faculté de Médecine et de Pharmacie, Poitiers 126p. Doctorat de pharmacie, Poitiers, 20 mars 1997.