



# La maîtrise de la chauffe traditionnelle en tonnellerie

Nicolas VIVAS\* et Guy BOURGEOIS<sup>1</sup>

Tonnellerie Demptos détaché à la Faculté d'œnologie,  
 Université Victor Segalen Bordeaux 2, 351, cours de la Libération, 33405 Talence (France)  
 1 : Centre d'Etudes Structurales et d'Analyse des Molécules Organiques, CNRS UMR 5802

**Résumé :** La chauffe représente une étape importante dans la fabrication des barriques. Outre son rôle indispensable pour l'opération de cintrage, la chauffe augmente très sensiblement le potentiel aromatique des bois. Mais laissée à la seule appréciation du tonnelier, elle reste bien souvent moyennement reproductible et variable d'une marque à l'autre. Pour résoudre ce problème, on a, par le passé, tenté de reproduire des modèles de chauffe traditionnelle par l'emploi de diverses sources de chaleur telles que le gaz, l'électricité ou les infrarouges. Cependant, la chauffe traditionnelle reste la référence incontournable. Alors, nous avons mis au point et développé des patchs thermosensibles dont les seuils de sensibilité sont sélectionnés pour des températures repères identifiées au préalable.

**Mots clés :** chauffe traditionnelle, contrôle, patch thermosensible, composés aromatiques

## INTRODUCTION

La chauffe en tonnellerie est une étape essentielle. Elle se divise en deux opérations distinctes. La première est une chauffe de cintrage obligatoire pour donner à la barrique sa forme caractéristique et assurer son maintien grâce à la réchauffe ou recuisson. Plus récemment, la deuxième chauffe, dite de brûlage, permet de développer le potentiel aromatique du chêne et l'accumulation des arômes de chauffe (VIVAS *et al.*, 1997b). En fonction du temps, on distingue la chauffe faible, moyenne et forte. Traditionnellement, la chauffe se pratique avec des chutes de chêne provenant des étapes successives d'écourtage et de travail des douelles séchées naturellement.

Depuis fort longtemps, d'autres techniques ont eu pour objet, après modélisation plus ou moins réussie de la chauffe traditionnelle, de la reproduire en employant comme source de chaleur, le gaz, l'électricité et même récemment des sondes infrarouges. On fait également appel à l'eau chaude et la vapeur pour l'opération de cintrage.

Mais force est de constater que jamais une démarche expérimentale rigoureuse ne s'est attachée au contrôle de la chauffe traditionnelle qui conduit toujours à des résultats supérieurs à la chauffe dite régulée, quels que soient les procédés.

Dans cet article, nous présentons les résultats d'un programme de recherches étalé sur 5 années, avec l'appui de l'ANVAR, du Conseil Régional d'Aquitaine et du Programme Européen Feder.

\*POUR TOUTE CORRESPONDANCE

## MOLÉCULES ODORANTES PRODUITES LORS DE LA CHAUFFE DES COQUES

Les très nombreux travaux réalisés par le passé permettent une meilleure connaissance des différents composants formés au cours de l'opération de chauffe et repris dans une revue bibliographique très complète de MAGA (1989), puis dans les travaux de CHATONNET (1991). Tous ces produits sont issus de précurseurs non aromatiques, généralement des polymères. Il s'agit des polysaccharides et des lignines.

Différentes molécules dérivant des polysaccharides ont été identifiées (VIVAS *et al.*, 1997a) : du 2-, 3- et du 2,5-furaldéhyde, du 4-hydroxy-5,6-dihydro-(2H)-pyrane-2-one, du 5-hydroxyméthyle-2-furaldéhyde ou de l'hydroxy-méthyle-pyranone. Les 2-, 3- et le 2,5-furaldéhyde sont dues à la pyrolyse des pentoses des hémicelluloses alors que le 5-hydroxyméthyle-2-furaldéhyde provient du glucose de la cellulose. Bien que beaucoup plus abondante que les hémicelluloses, la cellulose est moins dégradée, quelle que soit la température. La structure cristalline d'une partie de la cellulose explique sa résistance (BARNOUD, 1980). Au cours de la pyrolyse, les produits issus de la thermodégradation de l'arabinose et du xylose sont prédominants ; il s'agit des formes du furaldéhyde.

Les principaux produits provenant de la pyrolyse des lignines sont classés en motifs guaiacyles "G" (monométhoxylés) et en motifs syringyles "S" (diméthoxylés). Parmi les motifs G, nous avons identifié le 2-méthoxyphénol, le 4-formyl-2-méthoxyphénol, le 4-formyl-2-méthoxyphénol. Parmi les motifs S, nous avons identifié le 4-vinyl-2,6-diméthoxyphénol et le 4-formyl-2,6-diméthoxyphénol. Au cours de la chauffe, le rapport S/G évolue : 1,25 pour 149 °C, 1,8 pour 196 °C, 2,2 pour 218 °C et 0,77 pour 250 °C. Ce résultat suggère que, pour des températures inférieures à 220 °C, la pyrolyse altère plus les motifs S des lignines, ou bien des lignines dans lesquelles les motifs S sont plus abondants. Pour des températures plus élevées, le phénomène s'inverse et concerne des lignines plus riches en motifs G. La dépolymérisation de la lignine est intense à 149 °C, au-delà, on note une diminution importante de ces produits de thermodégradation. En accord avec les travaux de LAPIERRE *et al.* (1986), l'augmentation de la température provoque, dans un premier temps, une dépolymérisation suivie de la réticulation de la lignine à haute température. Le nouveau polymère produit a une masse moléculaire et un point de fusion plus élevés. L'examen attentif du rapport S/G montre que différents types de lignines sont atteints au cours de la pyrolyse. De 149 à 220 °C, le rapport S/G est supérieur à 1, et à 250 °C, le rapport devient inférieur à 1. Lors de la première phase, les lignines situées dans les parois secondaires, riches en motifs S, sont dégradées. Pour des températures plus élevées, la thermodégradation concerne les parois primaires contenant des lignines riches en motifs G (MONTIES, 1992). Il est donc important de noter que pour des chauffés trop fortes, la lignine ne produit que peu de produits volatils ; mais alors ces produits de dépolymérisation sont pyrolysés pour conduire à d'autres molécules odorantes rattachant le fumé et la cendre (VIVAS *et al.*, 1997a).

L'évolution des principales notes aromatiques, au cours de la chauffe, est reportée figure 1. La variation très importante dans la nature des notes aromatiques, en fonction de l'intensité du brûlage, nécessite la mise au point de méthodes fiables et reproductibles de la chauffe.

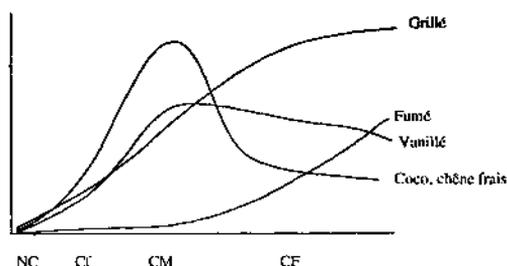


Figure 1 - Évolution relative au cours de la chauffe des principales nuances aromatiques

### COMPARAISON DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE CHAUFFE EN TONNELLERIE

Si l'on compare, sur un même lot de bois, des modes de chauffe différents, on note des variations dans la quantité et le type de composés thermoformés (figure 2). Sur le plan aromatique, les chauffes électrique et infrarouge, utilisant comme références des modèles thermiques de chauffe traditionnelle, conduisent à des résultats satisfaisants, sans pour autant reproduire parfaitement ce mode de chauffe. L'infrarouge, grâce à un choix précis de la longueur d'onde d'émission, de l'intensité et du temps d'exposition, permet d'obtenir des résultats très proches d'une chauffe classique. En revanche, la chauffe au gaz parfois utilisée donne systématiquement plus de méthylphénols et d'acroléines. Dans ce cas, la chauffe est trop intense et superficielle ; les réactions de thermodégradation des composés volatils formés deviennent prépondérantes. D'autre part, les intensités de chauffe classiquement admises, et regroupées sous le vocable chauffes faible, moyenne ou forte restent aléatoires. Elles dépendent, pour une large part, du tonnelier qui réalise l'opération. Les diagrammes thermiques obtenus par divers auteurs montrent, à cet égard, des divergences relativement importantes.

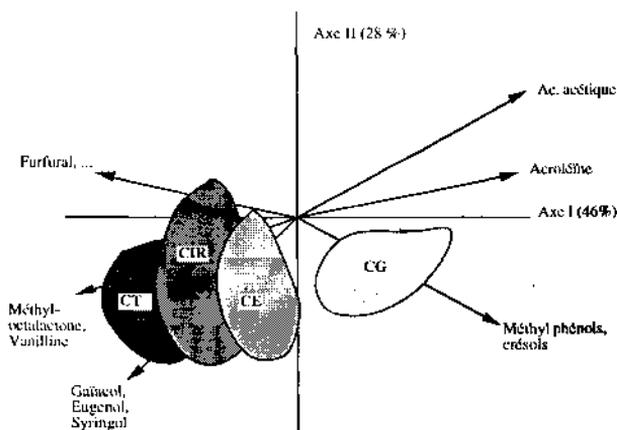


Figure 2 - Influence de la nature de la source de chaleur sur le profil aromatique des bois en chauffe moyenne

CT : chauffe traditionnelle ; CIR : chauffe par infrarouge ; CE : chauffe électrique ; CG : chauffe au gaz.

## CONTROLE DE LA CHAUFFE PAR MESURE CHROMATIQUE

Des systèmes portables de mesure de la couleur sont aujourd'hui employés dans de très nombreux domaines industriels et agro-alimentaires. Il s'agit d'appareils légers et peu encombrants, tenant dans une main, et capables de donner des équations colorimétriques selon la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Il s'agit de traduire une couleur sur trois axes :

- L, la luminosité de la couleur (0 pour noir et 100 pour blanc). Elle traduit l'aspect sombre ou clair d'une couleur ;
- $a^*$ , pour ce qui nous concerne, il représente, dans le positif, la part du rouge dans la couleur (0 à +30) ;
- $b^*$ , dans notre domaine d'activité, il représente, dans le positif, la part du jaune dans la couleur (0 à +30).

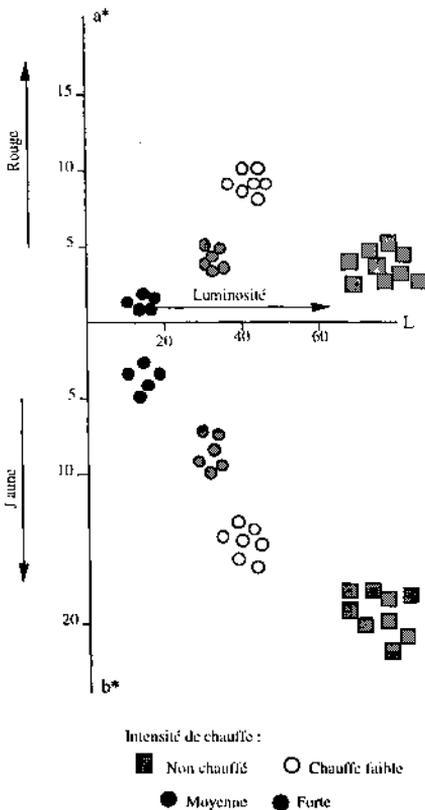
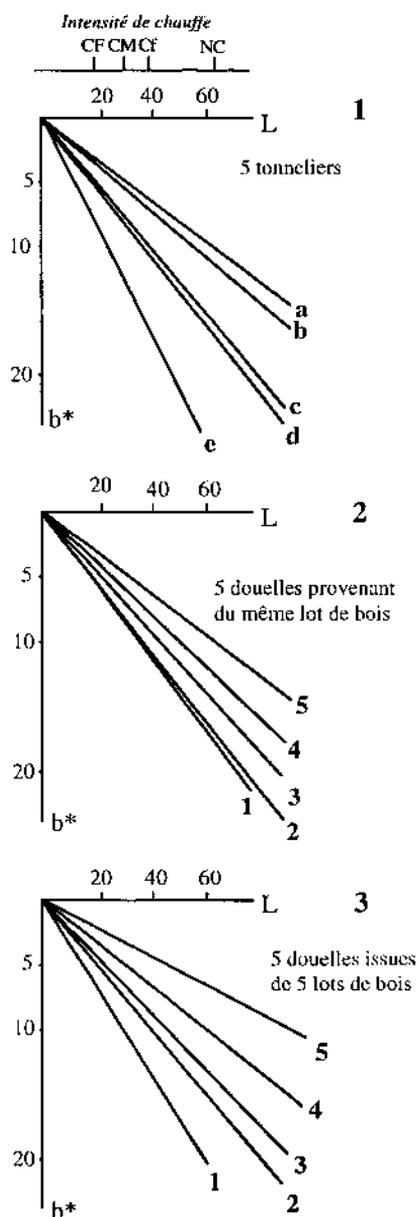


Figure 3 - Évolution de la couleur externe du bois en cours de chauffe. Caractérisation par méthode CIE Lab.

La méthode est séduisante dans son principe et les mesures sont rapides (3 secondes). Si on l'applique à divers échantillons de coque, non brûlée et brûlée à diverses intensités, on montre qu'il n'existe pas de relation directe entre  $a^*$  et L. En revanche, entre  $b^*$  et L, on note une relation linéaire (figure 3). A mesure que la coque est chauffée,  $b^*$  et L diminuent. Les phénomènes de carbonisation lente de la surface conduisent à un assombrissement de la couleur et une diminution de la coloration jaune. On peut donc, par cette méthode, tracer des droites de référence permettant d'estimer l'intensité de chauffe pratiquée (figure 4). Or, quelques problèmes majeurs existent et empêchent l'emploi de cette méthode.

- a) La mesure ne peut se faire qu'*a posteriori* une fois la chauffe terminée et ne permet aucun ajustement au cours de l'opération ;
- b) Les tonnelliers ont des chauffes différentes obligeant à avoir recours à autant de courbes de référence qu'il y a de tonnellerie (figure 4.1) ;
- c) Au sein d'un même lot de bois, la couleur évoluera différemment et conduira à des variations plus faibles qu'entre tonnelliers, mais encore trop importantes (figure 4.2) ;
- d) Entre plusieurs lots de bois, les différences sont parfois aussi grandes qu'entre tonnelliers (figure 4.3).



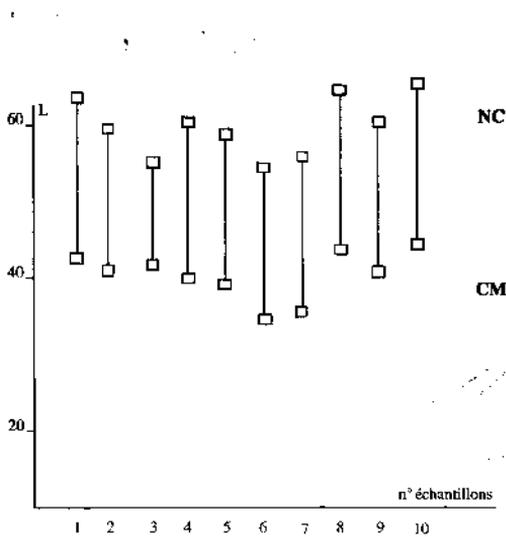
**Figure 4 - Couleur du bois en fonction de l'intensité de la chauffe. Influence du tonnelier (1) et de l'origine du bois (2, 3) sur la variabilité des résultats**

Pour ces diverses raisons, cette méthode ne peut pas être prise en compte pour mesurer l'intensité de la chauffe. Il est d'ailleurs très délicat d'estimer par colorimétrie la chauffe de l'intérieur d'une barrique et son homogénéité. Il est en effet aisé de réaliser un « fumage » de l'intérieur de la coque, donnant un aspect régulier à la couleur, mais n'ayant aucun rapport avec les réactions de thermodégradation des précurseurs d'arôme du bois. Il est, à cet égard, intéressant de constater que la coloration prise par le bois en cours de chauffe est souvent imprévisible (figure 5).

### CONTROLE DE LA CHAUFFE PAR UTILISATION DE PATCHS THERMOSENSIBLES CALIBRÉS

Une autre démarche originale s'inspire d'une des habitudes singulières des tonneleiers. Généralement, lorsqu'ils chauffent une barrique, ils se basent sur deux critères : la couleur interne de la coque, pour laquelle nous avons constaté qu'il est difficile de l'utiliser comme base objectif de maîtrise de la chauffe et la température de surface de la partie externe de la coque évaluée avec la paume de la main ou la partie intérieure de l'avant-bras. Ce dernier geste nous paraît intéressant, dans la mesure où la chauffe agit par la somme de chaleur apportée à la masse du bois. L'accumulation de chaleur aux différents stades de l'opération conduit à des températures repères en surface. C'est le point de départ de cette nouvelle tentative.

Le moyen le plus adéquat de saisir ces températures repères est de disposer de patchs thermosensibles (PTS) étalonnés pour le cintrage, les chauffes faible, moyenne plus et forte, respectivement C, Cf, CM, CM+, CF. Ces systèmes ont plusieurs avantages. Ils sont peu chers et utilisables une fois. Le



**Figure 5 - Évolution de la luminosité (L) du bois au cours de la chauffe. Variabilité du phénomène d'assombrissement**

NC : non chauffé ; CM : chauffe moyenne

passage aux températures repères se traduit par un changement définitif de couleurs du patch. Les contrôles sont praticables en continu lors de la chauffe et non *a posteriori* comme pour la couleur. Ils permettent d'éliminer l'aspect subjectif lié au tonnelier pratiquant la chauffe. Enfin, ils assurent potentiellement une bonne homogénéité dans les diverses classes de chauffe, en prenant en considération l'effet thermique, et non la coloration interne de la coque.

Nous avons réalisé des mesures de température à différents niveaux dans les douelles au cours de cycles de chauffe traditionnelle. Les sondes ont été disposées à mi-hauteur sur une douelle, à 0, 2, 4, 8 mm par rapport à l'intérieur de la coque. Les différentes sondes ont été calibrées puis connectées à une imprimante multivoies (photo 1). Les courbes moyennes obtenues pour des chauffes ouverte et fermée, 22 et 27 mm, ont été analysées. Les résultats moyens pour la chauffe ouverte sont résumés tableau 1. À partir de ces mesures répétées sur plusieurs cycles de chauffe à des dates différentes, nous avons composé un PTS prototype faisant l'objet d'un dépôt de brevet (20 février 1998) et présenté figure 7. Il se colle sur une douelle à mi-hauteur et permet un contrôle rigoureux des intensités de chauffe. Sa généralisation sur le site de Demptos à Saint-Caprais-de-Bordeaux est en cours et son adaptation, pour les sites de Bourgogne, Californie et les autres filiales, est en prévision. Les premières expérimentations sont prévues pour le millésime 1998.

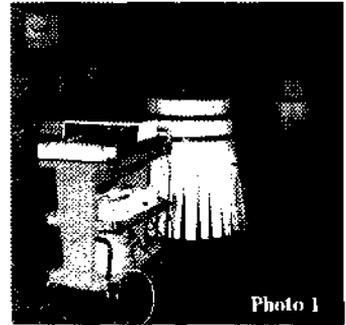


Photo 1

Tableau 1

Températures (°C) repères à différentes profondeurs dans le bois pour des chauffes ouvertes

	Profondeur				
	Surface interne*	2 mm*	4 mm*	8 mm*	Surface externe ■
Cintrage	295	240	220	180	40
Chauffe faible	300	235	225	175	60
Chauffe moyenne	330	270	255	180	75
Chauffe moyenne plus	350	280	265	185	80
Chauffe forte	360	300	280	190	90

\* mesures par capteurs thermiques ; ■ mesures par patch thermosensible (gamme de 37 °C à 154 °C)

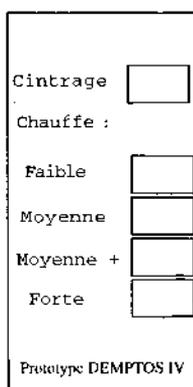


Figure 7 - Prototype breveté du patch thermosensible de contrôle du cintrage et de l'intensité de la chauffe traditionnelle en tonnellerie.

Le passage au niveau du cintrage et des chauffes est visualisé par un noircissement définitif des zones concernées

## BIBLIOGRAPHIE

BARNOUD F., 1980. La cellulose. In : *Les polymères végétaux : Polymères pariétaux et alimentaires non azotés*. Monties B., Bordas ed., Paris, pp. 66-86.

CHIATONNET P., 1991. Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins. Applications technologiques. *Diplôme d'Etudes et de Recherches*, Université Bordeaux II.

LAPIERRE C., MONTIES B. et ROLANDO C., 1986. Thioacidolysis of poplar lignins : Identification of monomeric syringyl products and characterization of guaiacyl-syringyl lignin fraction. *Holzforschung*, **40**, 113-118.

MAGA J.A., 1989. The contribution of wood to the flavor of alcoholic beverages. *Food Rev. Int.*, **5**, 39-99.

MONTIES B., 1992. Composition chimique des bois de chêne : composés phénoliques, relations avec quelques propriétés physiques et chimiques susceptibles d'influencer la qualité des vins et des eaux-de-vie. In : *Le bois et la qualité des vins et des eaux-de-vie*. G. Guimberteau, Vigne et Vin Publications Internationales ed., Bordeaux, pp 59-72.

VIVAS N., BOURGEOIS G., GLORIES Y., VEIRY C. et BENOIST E., 1997a. Sur l'analyse *in situ* des macromolécules du bois de cœur de chêne *Q. robur* L. par pyrolyse-spectrométrie de masse. *Matériaux et Techniques*, **85**, 36-38.

VIVAS N., BOURGEOIS G., SAINT-CRIGQ DE GAULEJAC et GLORIES Y., 1997b. Arômes et précurseurs d'arômes du bois de chêne de tonnellerie. *Analysis*, **6**, 25, 19-23. ■