Connaissance de la Vigne et du Vin,
Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1989, **23,** N° 2, 77-87.

INCIDENCE DU TRAITEMENT THERMIQUE DU BOIS DE CHÊNE SUR SA COMPOSITION CHIMIQUE

1ere Partie : DÉFINITION DES PARAMÈTRES THERMIQUES DE LA CHAUFFE DES FÛTS EN TONNELLERIE

CHATONNET P.* et BOIDRON J.N.

Institut d'Oenologie de Bordeaux, Université de Bordeaux II,
351, cours de la Libération, 33405 Talence Cedex (France)

Résumé : *La chauffe des fûts est une opération fondamentale de la fabrication d'une barrique. En effet, poursuivi au-delà des simples nécessités du cintrage, le brûlage (ou bousinage) entraîne l'apparition de nouveaux composés par thermolyse et hydrothermolyse du bois. Ces derniers sont susceptibles d'influencer ultérieurement les propriétés organoleptiques des vins élevés en barriques.*

La chauffe des bois est encore réalisée totalement empiriquement, les écarts entre tonneliers peuvent être importants. De plus, il n'existe pas de classification objective des niveaux de brûlage. L'optimalisation de cette opération passe préalablement par la connaissance de ses caractéristiques thermiques. A cette fin, on a mesuré les températures du bois au cours des processus de cintrage et de brûlage, en fonction de différents modes de chauffe et rythmes d'humidification.

Les données recueillies permettront d'établir un modèle thermique de la chauffe traditionnelle en tonnellerie qui aidera à mieux comprendre les mécanismes de thermodégradation du bois de chêne. Une prochaine étude précisera l'évolution de la nature et de la quantité des produits de thermolyse en fonction du niveau de brûlage et du gradient thermique du bois. La modélisation de ces réactions devrait permettre l'optimisation de la régularisation de la chauffe du bois en tonnellerie.

INTRODUCTION

La chauffe des fûts n'est techniquement nécessaire que pour faciliter le cintrage des douelles. En effet, la lignine, principal polymère pariétal responsable des propriétés plastiques du bois, est très facilement thermoformable. L'action unique de la température n'est cependant pas suffisante car elle a peu d'action sur les polymères glucidiques cristallins (cellulose, hémicelluloses). On doit alors combiner chaleur et humidité. Le cintrage le plus performant est obtenu à la vapeur surchauffée (GIORDANO, 1971).

La pratique traditionnelle en tonnellerie est le cintrage des bois au feu avec humidification superficielle (préchauffe de cintrage). Le cintrage à la vapeur est très peu

* Stagiaire de recherche SEGUIN-MOREAU détaché à l'Institut d'Oenologie de Bordeaux.

répandu. Une deuxième chauffe (chauffe de brûlage ou bousinage) est ensuite effectuée. Elle est destinée à favoriser une dégradation thermique afin de favoriser la formation de produits aromatiques nouveaux par pyrolyse et hydrothermolyse du bois (NOMDEDEU, 1987; BOIDRON et *al.*, 1988). Ce brûlage est actuellement réalisé empiriquement, avec une reproductibilité très moyenne dans son accomplissement.

Le rôle du bois dans la maturation des vins et des eaux-de-vie est reconnu depuis longtemps (SINGLETON, 1974; MARCHE et *al.*, 1975; RIBÉREAU-GAYON et *al.*, 1976). Son niveau de dégradation thermique est susceptible d'influencer la composition chimique et les caractéristiques organoleptiques des vins (BOIDRON et *al.*, 1988). La chauffe des bois apparaît donc comme une opération capitale de la fabrication d'une barrique.

L'optimisation et la rationalisation de cette opération nécessitent la connaissance préalable des paramètres thermiques mis en jeux lors de la chauffe traditionnelle. Leur acquisition terminée, on peut espérer alors mieux comprendre les mécanismes réactionnels mis en jeu. Dès lors, on pourra envisager de futurs systèmes, répondant aux même contraintes thermiques, mais optimisés afin de maximaliser la qualité de la fusion du vin avec le bois.

Nous présentons ici les premiers résultats d'une série de mesures destinées à la définition des paramètres thermiques caractérisant la chauffe des fûts en tonnellerie traditionnelle.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I — MESURE ET ENREGISTREMENT DES TEMPÉRATURES DU BOIS PENDANT LA CHAUFFE

La mesure des températures atteintes par le bois durant les opérations de préchauffe et de chauffe de brûlage a été pratiquée, selon différentes modalités de chauffage :

- à différentes hauteurs sur la coque du fût,
- à différentes profondeurs dans la douelle.

Nous avons utilisé un enregistreur multivoie continu VERSAPRINT 131 (Honeywell) à microprocesseur, équipé de 6 sondes à thermocouple type J (gamme — 18 à + 871°C, précision +/— 0,55°C, variation 0,6°C / 10°C), blindées (soudure isolée, gaine 150 mm en acier inoxydable). Les signaux analogiques d'entrée sont convertis en données numériques, scrutées toutes les 350 ms (la séquence de scrutation des voies étant programmable en fonction du débit d'information prévu). Ces données sont stockées en mémoire tampon, traitées par le microprocesseur, et imprimées si la donnée acquise est visiblement différente sur le tracé de celle qui la précède (écart > 0,4 mm entre points).

On perce à une profondeur déterminée (0,3 et 6 mm par rapport à la face interne exposée au rayonnement) à différentes hauteurs (30, 50 et 70 cm par rapport à la base

au sol), des forages de 1,5 mm de diamètre où se glissent les sondes. On évite au maximum les espaces entre sonde et bois en rajoutant une graisse silicone au bout du thermocouple.

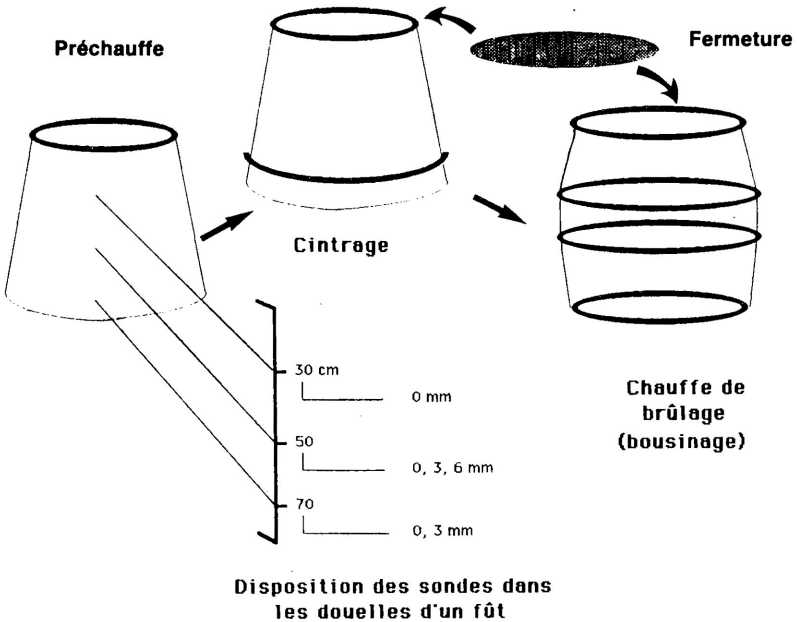


Fig. 1. — Mesure des températures au cours de la chauffe.

Cet équipement est parfaitement adapté aux mesures de gradient de températures dans une masse à bonne conductibilité thermique. Dans le cas de mesure d'une température de surface, ce type de sonde, allié au matériau particulier qu'est le bois, entraîne une certaine sous-estimation des températures atteintes. L'émissivité du bois est voisine de 0,9 alors que les métaux à surface polie peuvent avoir des émissivités très inférieures à 1 (acier de la gaine : 0,07 à 0,16). On obtient de ce fait une perte d'énergie par rayonnement autour de l'extrémité dépassante du thermocouple. En conséquence, on doit avoir recours à un deuxième système de mesure afin d'apprécier les températures de surface d'une douelle. On utilise à cette fin un thermomètre infra-rouge portatif du type THERMOPOINT 80 (Agema), fonctionnant par mesure du rayonnement émis par la source dans une gamme de 8 à 14 microns de longueur d'onde (—30 à + 1370°C, précision +/— 1,4 % au dessus de 38°C).

II — DISPOSITIFS DE CHAUFFE ET D'HUMIDIFICATION DES BOIS

Les mesures ont été réalisées sur le terrain, lors du processus classique de fabrication d'une barrique du type Bordelaise (225 l, épaisseur 27 mm, origine centre France) à la tonnellerie. Le tonnelier est responsable de sa fabrication, les mesures n'interfèrent pas dans la réalisation de la chauffe.

Les différentes opérations sont chronométrées et notées sur les diagrammes d'enregistrement des températures. Les intensités de chauffage sont identiques. Le niveau de brûlage atteint par le bois est jugé par le tonnelier pratiquant la chauffe. On note alors le temps écoulé, les températures de surfaces atteintes, l'aspect interne de la coque.

On comparera des cycles de chauffes pratiqués coque obturée par un couvercle métallique (chauffe fermée) ou non (chauffe ouverte).

RÉSULTATS

I — NIVEAUX THERMIQUES ATTEINTS LORS D'UN CYCLE DE PRÉCHAUFFE

Le cycle de préchauffe, destiné à la mise en température du bois et au cintrage du fût (figure 1), est assez long (20-30 minutes). Il débute coque ouverte, le taux de croissance de la température oscille alors entre 4 et 5° C par minute en surface (figures 1, 2 et 3).

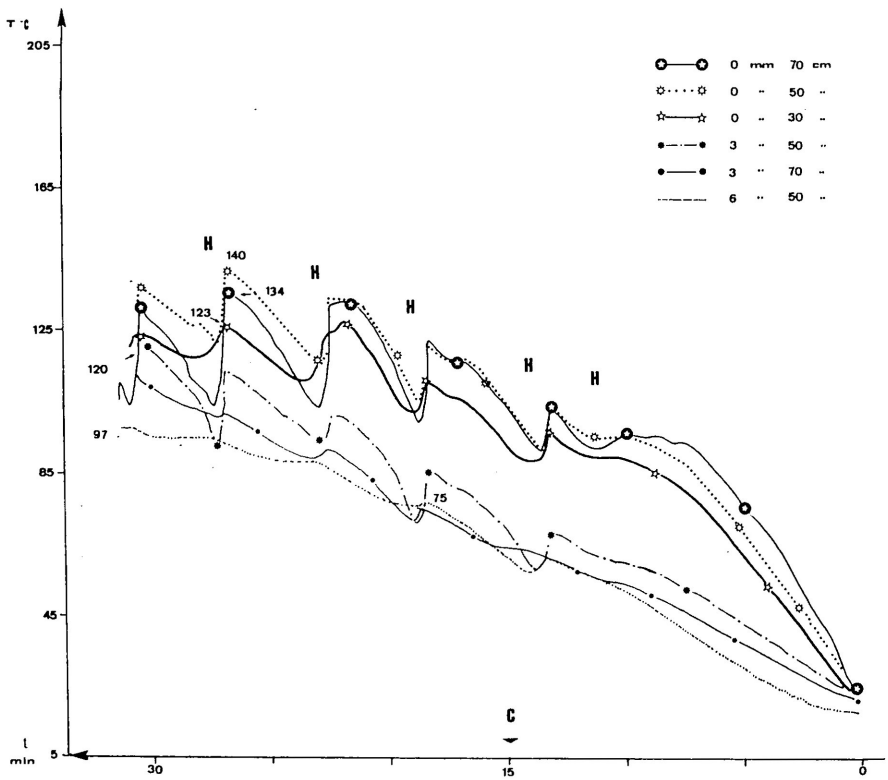


Fig. 2. — Diagramme thermique en préchauffe ouverte.
Mesure aux thermocouples (H : humidification; C : cintrage)

Des humidifications superficielles sont pratiquées en surface, à l'aide d'un chiffon imprégné d'eau, à l'intérieur et à l'extérieur de la coque à partir de 6-7 minutes de chauffage. Elles ont pour effet de diminuer la température du bois de l'ordre de 10 p. cent à chaque fois.

La mise en température des douelles nécessite environ 15 minutes (pénétration sur 6 mm, température de l'ordre de 75 à 80° C). Le cintrage doit s'effectuer en plusieurs serrages successifs, il est terminé vers 15 à 17 minutes. La chauffe s'accélère alors et les humidications sont plus fréquentes (toutes les 5 minutes) afin de limiter le taux de croissance à 7° C par minute en surface lorsque la coque est fermée (à partir de 20 minutes).

A profondeur égale, on observe un gradient de température sur la hauteur du fût. La partie face au brasero (30 cm) pendant la préchauffe n'est pas la plus chaude. C'est à 70 cm de hauteur que la température est la plus élevée. Elle est dépassée par celle du centre (50 cm de hauteur) au-delà de 15 minutes de chauffage.

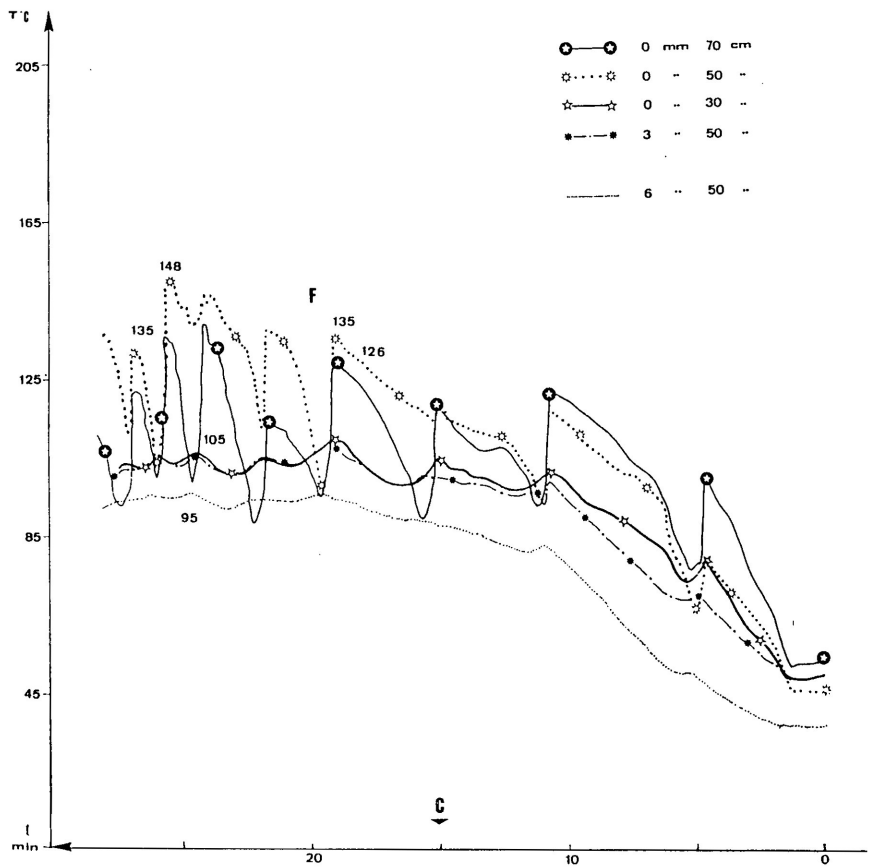


Fig. 3. — Diagramme thermique en préchauffe fermée.
Mesure aux thermocouples (F : fermeture ; C : cintrage).

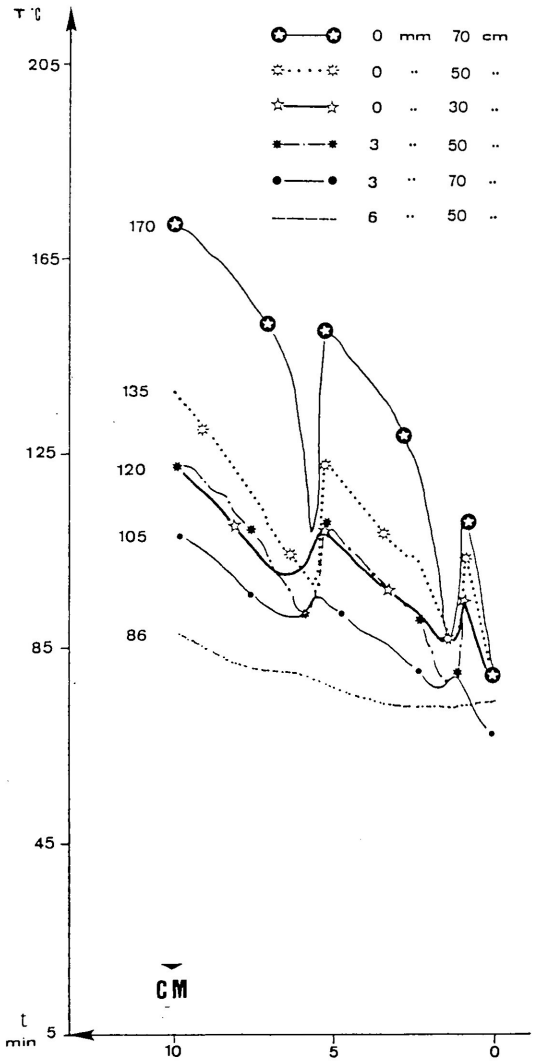


Fig. 4. — Diagramme thermique en chauffe de brûlage ouverte.
Mesure aux thermocouples (CM : chauffe moyenne).

A l'issue de la préchauffe, les températures atteintes en surface sont de l'ordre de 200° C mesurées aux infra-rouges (IR) (201 à 213° C). Dans la masse, au-delà de 6 mm, elles restent souvent inférieures à 100° C. Sur la face extérieure, on dépasse rarement 38 à 40° C, soit une absorption très importante de la chaleur par les couches superficielles (7° C par mm).

II — NIVEAUX THERMIQUES ATTEINTS LORS DU CYCLE DE BRÛLAGE

La chauffe de brûlage suit le cintrage après la pose des cercles. Elle se déroule sur un brasero laissant 5 cm par rapport au sol pour appel d'air. Le bousinage est fortement influencé par la fermeture de la coque (figures 4 et 5).

— On atteint la même température à 70 cm et 0 mm que la chauffe soit ouverte ou fermée. Mais, à 30 et 50 cm les températures atteintes en chauffe ouverte sont plus faibles avec une différence importante sur la hauteur du fût. En chauffe fermée, les écarts de températures sont plus faibles (température identique entre 30 et 70 cm) et la surface plus chaude. Dans la masse, les températures restent voisines.

— Pour le même temps de brûlage, l'aspect du bois est moins carbonisé en chauffe ouverte, il n'y a pas de risque de décollement des fibres sous poussée des gaz (cloquage). Mesurées au IR, les températures de surface sont peu différentes (203 à 223° C dans les deux cas).

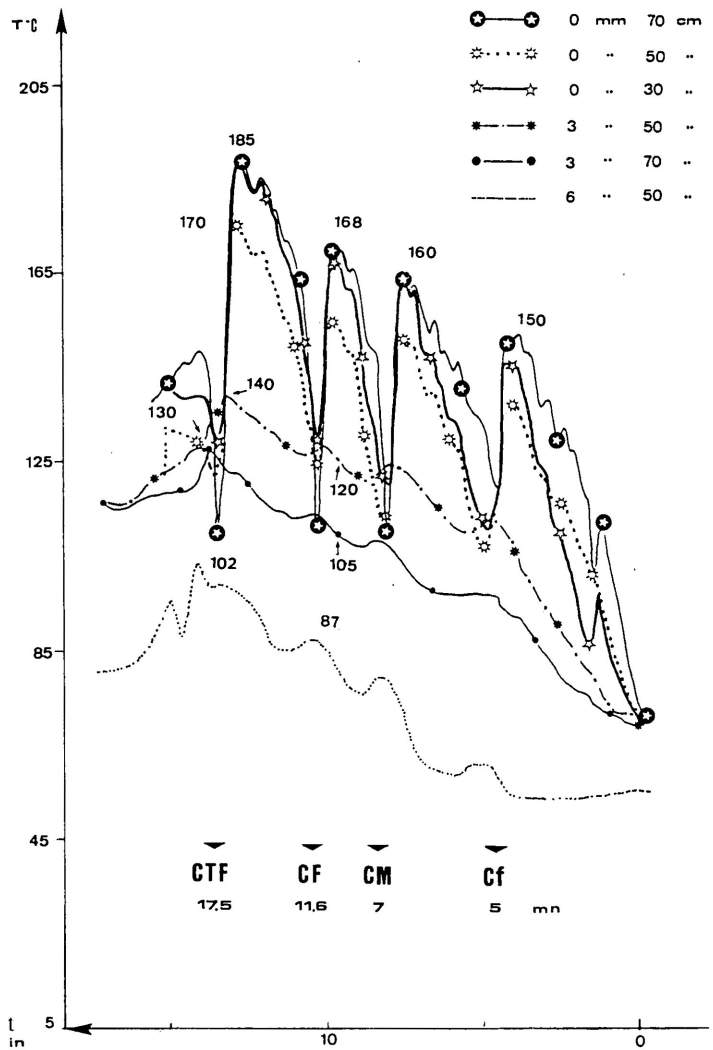


Fig. 5. — Diagramme thermique en chauffe de brûlage fermée.
Mesure aux thermocouples (Cf : chauffe faible ; CM : chauffe moyenne ; CF : chauffe forte ; CTF : chauffe très forte).

En chauffe fermée, l'humidification doit être fréquente (environ toutes les 5 minutes) afin de limiter à 7° C par minute la vitesse d'échauffement. Cette opération entraîne une baisse importante des températures de surface interne (20 à 45 p. 100).

III — TEMPÉRATURE DE LA SOURCE DE CHAUFFAGE

La chauffe est traditionnellement réalisée au feu de bois dans un brasero alimenté par des chutes. La mesure des températures est assez difficile en raison des fluctuations dues à l'alimentation en combustible et en comburant. Un feu de bois peut théoriquement atteindre 1200° C. Mesurée aux infra-rouges, la température au foyer du brasero atteint 850 à 1000° C, celle de sa face extérieure, aux alentours de 650° C.

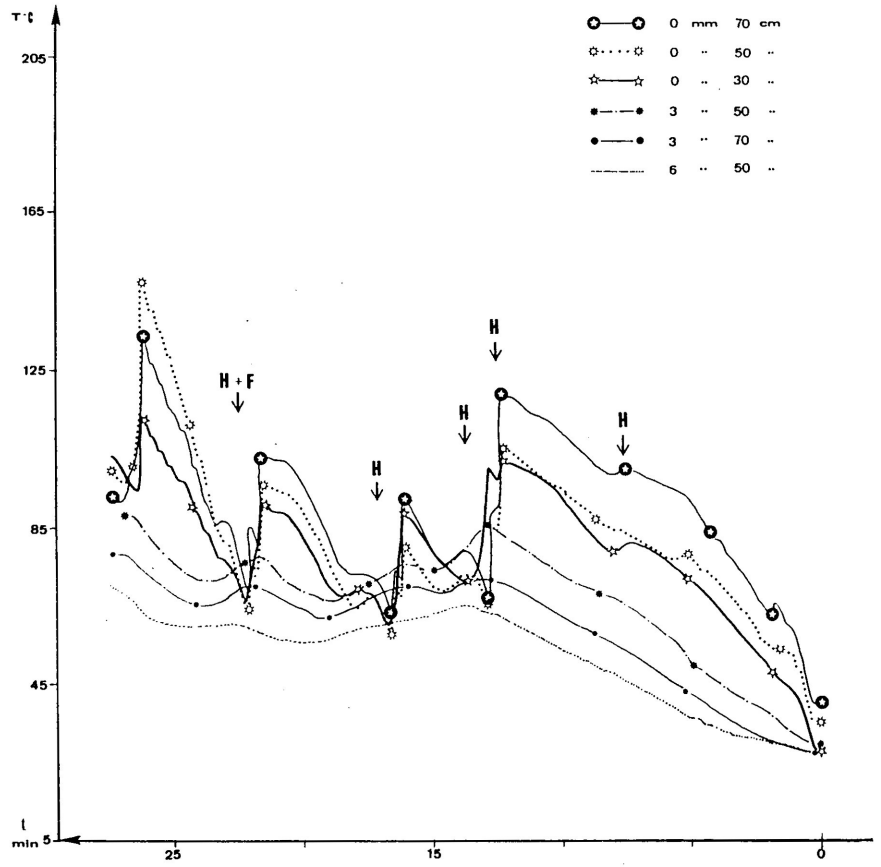


Fig. 6. — Diagramme thermique en préchauffe ouverte puis fermée. Exemple d'irrégularités. Mesure aux thermocouples (H : humidification; F : fermeture).

DISCUSSION

La forme courbe de la coque d'un fût peut être comparée à une parabole ayant pour foyer de convergence la partie centrale de la face opposée. Lors de la préchauffe et de la chauffe ouverte, un courant d'air important peut entraîner la chaleur vers le

haut et refroidit en retour la partie basse du fût. Ceci peut expliquer le gradient important de températures et l'irrégularité du brûlage sur la hauteur du fût. En chauffe fermée, ces phénomènes sont atténués, les écarts thermiques plus faibles et donc le brûlage plus homogène.

Le temps d'ouverture et la fréquence d'humidification doivent être ajustés afin de limiter les déséquilibres thermiques (figure 6) :

— une humidification trop importante freinera considérablement la montée en température des couches profondes;

— une humidification trop tardive lors de la préchauffe risque de compliquer le cintrage (risque de casse au serrage);

— la chauffe fermée, sans contrôle de la température par ouvertures et humidifications périodiques, risque d'aboutir à une carbonisation rapide de la surface, sans chauffe en profondeur, et avec risques de cloquage;

— une préchauffe trop lente, avec excès d'humidification, ne pourra être compensée par une finition fermée car l'inertie de la masse profonde s'y opposera.

Si les températures de surface mesurées à la fin du cycle de brûlage sont peu différentes selon le mode de chauffe, la chauffe fermée accuse cependant une montée en température plus rapide (7° C par minute contre 4 à 6 en chauffe ouverte). Elle doit être régulée par de plus fréquentes humidifications. L'action combinée de l'humidification et de l'ouverture de la coque abaisse fortement les températures de surface (37 à 45 p. 100) et entretient un cycle chauffage-refroidissement régulier (5 minutes). Ces opérations sont indispensables si on veut éviter la carbonisation du sommet de la coque (température > 250° C), ainsi que les phénomènes de cloquage qui apparaissent lorsque la vitesse de formation des gaz dans le bois devient supérieure à celle de leur échappement (échauffement > par minute), ainsi que la carbonisation du sommet de la coque (température > 250°). De plus, l'eau ainsi apportée agit également en tant que réactif. Elle peut modifier, d'une part la structure macromoléculaire de la lignine (LAPIERRE et *al.*, 1986) et d'autre part, intervenir dans le processus d'hydrothermolyse des polymères pariétaux du bois (ALLAN et MATTILA, 1971).

Le gradient de température observé dans la masse et sur la hauteur d'une douelle laisse supposer une évolution de la nature et de la quantité des produits de thermodégradation formés. Ils devraient en effet être particulièrement abondants dans l'horizon 0-3 mm (température 200 à 120° C). D'après BIERMANN et *al.*, (1987), la séparation des fibres se produit à partir de 135° C, au niveau de la lamelle moyenne, par ramollissement de la lignine, spécialement en présence d'eau. A haute température, 220-230° C, la fusion de ces fibres peut expliquer l'aspect glacé de la surface des douelles après brûlage. Cette adhésion thermoplastique pourrait également être favorisée par la condensation des unités phénylpropanes de la lignine avec le furfural dérivés des hémicelluloses.

La température de la source thermique de chauffage peut raisonnablement être considérée comme proche de 600° C. Cette température est importante car elle condi-

tionne «l'effet de saisie» permettant une certaine carbonisation de la surface (température de 160 à 220° C) avec simultanément pénétration de la chaleur dans la masse du bois (85 à 105° C à 6 mm de profondeur). Une température de source trop chaude risquerait de carboniser la surface sans chauffer en profondeur. Inversement, une source insuffisamment chaude empêcherait d'atteindre les niveaux thermiques nécessaires à la pyrolyse sur l'épaisseur 0-3 mm.

L'appréciation du niveau de chauffe est actuellement réalisée visuellement d'après l'intensité de brunissement du bois et le temps de chauffe. Or, on constate que la variation de couleur des douelles brûlées n'est pas seulement dépendante de la quantité d'énergie reçue. D'autres paramètres peuvent intervenir tels que le degré d'humidification, la compacité et la texture du chêne. En fonction des différents niveaux d'intensité de brûlage empiriquement reconnus par le tonnelier, on relève néanmoins des températures assez reproductibles (Tableau I) permettant une classification thermique.

TABLEAU I

Températures mesurables en fonction de l'intensité de brûlage.

(Chauffe de brûlage fermée, épaisseur de bois 27 mm, mesure au centre de la coque 50 cm).

Intensité de brûlage	Temps de brûlage (minutes)	Température (° C)	
		Infra-rouge 0 mm	Thermocouple 3 mm
Faible	5	180	110
Moyenne	7,5	200	120
Forte	11,6	220	125
Très forte	17,5	230	140

CONCLUSION

Nous avons présentés les résultats d'une série de mesures destinées à caractériser d'une façon plus précise les opérations de chauffage des bois tels qu'ils sont traditionnellement réalisés en tonnellerie. Grâce à ces résultats, il est désormais possible de relier à la classification empirique de l'intensité de brûlage des données thermiques plus précises.

Si en fonction des modes et des intensités de chauffage les températures varient assez peu (voisines de 200-220° C), les écarts sont creusés en profondeur. La chauffe pratiquée manuellement peut être régulière si la méthodologie est correctement précisée et le minutage des opérations respecté. Des variations dans le protocole de

chauffe peuvent avoir des conséquences thermiques importantes. Une adaptation du brûlage au type de bois est souhaitable afin de respecter les différences naturelles de composition et de constitution.

A partir de ces données, il sera également possible de mieux comprendre les phénomènes de dégradation pyrolytique du bois de chêne donnant naissance à de nombreux produits susceptibles d'influencer la qualité des vins. La modélisation de ces réactions devrait permettre l'optimisation, et la régularisation, de la chauffe du bois en tonnellerie. Il serait en effet souhaitable d'obtenir une chauffe identique sur toute la surface du fût, reproductible d'un fût à un autre, grâce à des repères objectifs.

En fonction du niveau de brûlage, on a observé d'assez fortes différences de températures dans les couches de bois humectables. Des répercussions sur les composés de thermolyse extractibles, et donc sur les propriétés organoleptiques des vins, sont envisageables.

Manuscrit reçu le 5 juin 1989; accepté pour publication le 29 juin 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLAN G. et MATTILA T., 1971. High energy degradation in Lignins, SARKANEN K. et LUDWIG L., 575-596, Wiley Intern. *Science Ed., New-York.*

BIERMANN C.S., Mc GINNIS G. et SCHULTZ T.P., 1987. Scanning electron microscopy of mixed hardwoods subjected to various pretreatment process. *J. Agric. Food Chem.,* **35,** 713-716.

BOIDRON J.N., CHATONNET P., et PONS Monique, 1988. Incidence du bois de chêne sur certains composés volatils des vins. *Connaissance Vigne Vin,* **22,** n° 4, 275-294.

GIORDANO G., 1971. Caractteristiche fisiche et meccaniche del legno in Technologica del legno, vol. 1, 966-977, *Utet Éd.*

LAPIERRE C., MONTIES B., VASSAL-GONTHIER A., et DWORKIN A., 1986. Differential calorimetric study of pine and poplar lignins between 300 and 525 K. *Journal of Applied Polymer science,* **32,** 4561-4572.

MARCHE M., JOSEPH E., GOIZET A. et AUDEBERT J., 1975. Étude théorique sur le cognac et son vieillissement en fût de chêne. *Rev. Franç. Oenologie,* **57,** 1-7.

NOMDEDEU L., 1987. Transformations chimiques du bois de chêne et conséquences. *La journée vinicole,* **17538,** 6-8.

RIBÉREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBÉREAU-GAYON P. et SUDRAUD P., 1976. Vieillissement des vins, *in Traité d'Oenologie,* vol. 3, 710-724.