

# Le Projet «Fûts de chêne suisses» de l'Ecole d'ingénieurs de Changins

## Maîtrise de la chauffe artisanale des fûts de chêne en tonnellerie

A. RAWYLER, Judith AUER et Nicole DUMONT-BEBOUX, Ecole d'ingénieurs de Changins, 1260 Nyon 1

@ E-mail: andre.rawyler@eic.vd.ch  
Tél. (+41) 22 36 34 050.

### Résumé

La chauffe des fûts de chêne a été étudiée dans une tonnellerie artisanale suisse qui utilise des merrains de chêne suisse dont l'espèce botanique, l'origine et la durée de séchage sont connues. Les conditions permettant une bonne reproductibilité de la chauffe ont été définies. Un outil simple, livrant une description quantitative de la chauffe, a été créé. Les effets destructeurs de la chauffe sur les ellagitanins, mais aussi sur certains composés indésirables des douelles, ont été observés. La sélection soigneuse des merrains destinés à la fabrication des fonds permet d'éviter de chauffer ceux-ci par sécurité. Le début de la chauffe se caractérise par une accumulation des composés xylovolatils, suivie d'une modification du profil aromatique global. L'analyse en composantes principales des données expérimentales montre que les diverses origines de bois peuvent être discriminées, indépendamment de la durée de chauffe, tant pour les fûts que pour les vins. L'analyse sensorielle aboutit aux mêmes conclusions, moyennant l'emploi de critères adéquats.

- Définition des modalités de construction et de chauffe permettant de bousiner des fûts de manière reproductible.
- Développement d'un outil de contrôle permettant de décrire la chauffe des fûts de manière quantitative.

Nous présentons ici quelques résultats choisis concernant la reproductibilité et la description quantitative de la chauffe, les effets de la chauffe sur les constituants du bois ainsi que quelques exemples tirés des essais de chauffe conduits en 2004.

## Matériel et méthodes

### Merrains

Les merrains de chênes suisses, sessiles et pédonculés, d'origine connue et séchés pendant 24 ou 36 mois, ont été fournis par la tonnellerie Kennel & Suppiger (Küssnacht am Rigi, SZ).

### Chauffe en tonnellerie

Les fûts, cintrés la veille du jour de bousinage, sont rééquilibrés jusqu'au lendemain à température ambiante. Les conditions expérimentales sont les suivantes:

- Les fûts sont construits avec des merrains d'espèce, d'origine, et de durée de séchage identiques (fig. 1A)
- Les fûts sont bousinés par groupes de trois (fig. 1A).
- La chauffe est conduite en mode «coque ouverte» (fig. 1A).
- Les braseros ont des formats identiques (fig. 1A).

## Introduction

Le bousinage – ou seconde chauffe – des fûts est, par nature et par tradition, une opération qualitative qui dépend de l'œil et de la main du tonnelier. C'est en effet par l'appréciation de la couleur de la surface interne du fût et par la sensation thermique perçue à la surface externe des douelles que le tonnelier évalue, en fonction de la durée de la chauffe, le degré de transformation thermique qu'il entend donner au fût. Traditionnellement, la chauffe de bousinage se décline en trois intensités, faible, moyenne et forte, et selon deux modes, coque ouverte ou coque fermée (Chatonnet, 1991; Garcia-Berro, 2003). Ces modalités de chauffe n'offrent cependant guère d'informations utiles à l'acheteur. L'origine et l'espèce de bois de chêne utilisés sont en général mal définies. La reproductibilité de la chauffe, tant entre les fûts d'un même

tonnelier qu'entre ceux de tonneliers différents, n'est guère assurée, chaque fabricant ayant ses propres standards. Enfin, une description quantitative de la chauffe n'existe pas en activité de routine.

L'un des objectifs du projet «Grands crus suisses: élevage des vins du terroir en fûts de chêne indigène» mené par l'Ecole d'Ingénieurs de Changins entre 2001 et 2005 était de parvenir à une maîtrise raisonnée de la chauffe de bousinage dans le cadre d'une tonnellerie artisanale suisse. Pour atteindre cet objectif, les recherches ont été menées selon trois axes:

- Mise sur pied de la filière suisse «bois de chêne de tonnellerie», dotée de procédures assurant la traçabilité du bois, de l'arbre sur pied jusqu'au fût, en définissant l'espèce et l'origine du chêne, l'année de sa coupe ainsi que la durée de séchage des merrains (Auer *et al.*, 2004).

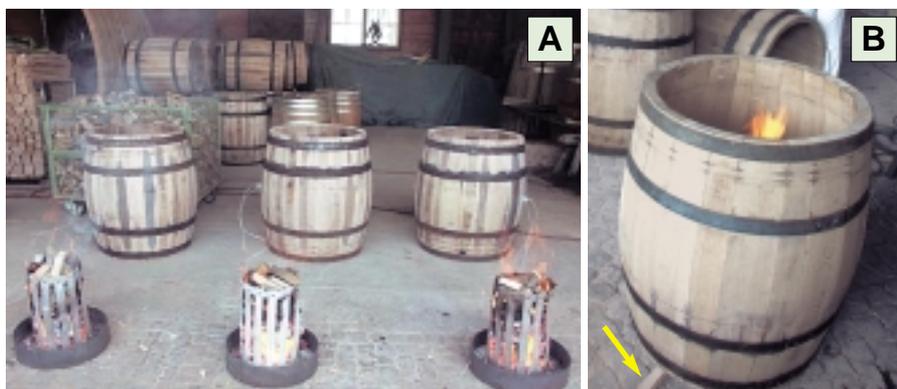


Fig. 1. (A) Chauffe parallèle de trois fûts dans des conditions reproductibles. (B) Fût en cours de bousinage reposant sur des plots (flèche jaune) assurant le tirage d'air.

- L'alimentation en air des foyers est assurée par surélévation des fûts, leur base reposant sur trois plots de bois de 3-4 cm de hauteur (fig. 1B).



Fig. 2. Alternance de phases de combustion lente (A) et rapide (B). Ces alternances sont à éviter si l'on veut maintenir un taux de chauffe contrôlable.

- Les foyers sont entretenus de manière à éviter autant que possible les alternances de combustion lente (fig. 2A) et rapide (fig. 2B).
- L'accumulation de cendres dans les foyers est évitée en secouant régulièrement les braseros.
- Selon la durée de chauffe, les fûts sont retournés de pied en cap une, deux ou trois fois, afin d'assurer un traitement thermique aussi homogène que possible.

## Analyse des xylovolatils dans le bois et le vin

Les bois séchés et bousinés, réduits en copeaux, sont extraits à l'acétone. L'extrait filtré et séché est réparti entre le diéthyléther et une solution saline. La phase éthérique est concentrée puis analysée par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (GC-MS).

Les xylovolatils du vin sont extraits de 30 ml de vin à l'aide de dichlorométhane. La phase organique est lavée, séchée sur  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydre, concentrée puis analysée par GC-MS.

## Résultats et discussion

### Reproductibilité de la chauffe

Les nombreux essais de chauffe réalisés entre 2002 et 2004 ont permis de définir les modalités d'une chauffe reproductible en tonnellerie artisanale. La reproductibilité thermique de ces chauffes parallèles (tabl. 1) est très

### Définitions préliminaires

Les fûts de chêne contribuent à l'élevage des vins par le double apport des **douelles** et des **fonds**. Les douelles, qui représentent 75% de la surface interne du fût, ont toutes subi la chauffe de bousinage. Les fonds, qui représentent les 25% restants, ne sont en général pas chauffés; ils sont donc constitués uniquement de bois séché. Les nombreux composés organiques que renferment ces deux types de bois peuvent être répartis en deux groupes.

Le premier est celui des **polyphénols**, qui peuvent contribuer à la structure de bouche des vins. Ce sont des molécules de grosseur variable ( $170 < M_r < 950$ ), polyhydroxylées, hydrophiles et donc préférentiellement solubles dans les milieux aqueux. Dans le bois de chêne séché, ces composés sont principalement représentés par les **ellagitanins**, dont l'apport dans le vin est essentiellement assuré par les fonds. La chauffe élimine en effet la majeure partie de ces composés de la zone bousinée des douelles.

Le second groupe est celui des **xylovolatils**, responsables du bouquet boisé des vins. Ce sont des composés de faible masse moléculaire ( $60 < M_r < 200$ ), préférentiellement solubles dans des solvants organiques. Les bois séchés renferment les **xylovolatils endogènes**, peu abondants, mais très odorants (p. ex. les méthylactolactones). La chauffe des fûts élimine une grande partie des xylovolatils endogènes des douelles, mais y engendre des quantités importantes de nouveaux composés dits **xylovolatils empyreumatiques**, car issus de la dégradation thermique des celluloses, des hémicelluloses et des lignines.

Enfin, il est important de distinguer, parmi les xylovolatils, trois catégories fonctionnelles de composés. D'abord, les **marqueurs des fonds** (p. ex. méthylactolactones), qui appartiennent tous au groupe des xylovolatils endogènes. Puis les **marqueurs de la chauffe** (composés strictement empyreumatiques, tels que furfural et dérivés, cyclotène, gaïacol, maltol, syringol, syringaldéhyde, etc). Enfin, les **marqueurs mixtes**, surtout empyreumatiques, mais également endogènes (par exemple eugénol, *iso*-eugénol, vanilline). Ce sont ces marqueurs qu'il faut questionner lorsqu'il s'agit de comprendre l'incidence du séchage, de la chauffe ou de l'origine sur le caractère boisé transmis au vin élevé en fût. Un marqueur sera d'autant plus fiable qu'il sera stable – donc non métabolisable – dans le vin.

bonne, puisque les coefficients de variation sont de l'ordre de 3%, tant pour la température maximale atteinte à la surface interne ( $T_{int}$ ) que pour le gradient transpariétal et l'énergie totale transmise au fût. En termes de composition en xylovolatils, la reproductibilité de ces chauffes est également satisfaisante, avec une variabilité globale de 3% (fig. 3). Le classement selon l'ordre décroissant des coefficients de variation montre que les xylovolatils endogènes et les empyreumatiques secondaires (dérivant eux-mêmes de composés empyreumatiques primaires) sont les plus sujets à variation (38 à 118%). Cette grande variabilité des teneurs en xylovolatils endogènes illustre bien ce qu'il est convenu d'appeler «effet arbre» (Polge et Keller, 1973; Masson *et al.*, 1996; Snackers *et al.*, 2000). Au contraire, la majorité des xylovolatils empyreumatiques primaires présentent une variabilité réduite (7 à 32%). Pour les composés empyreumatiques, deux réactions (thermohydrolyse des polymères en xylovolatils primaires, puis transformation de ceux-ci en produits secondaires) entrent en jeu successivement. Par exemple, le syringaldéhyde (fig. 4A) et la vanilline (fig. 4B) se transforment par oxydation et décarboxylation en 2,6-diméthoxyphénol et en 2-méthoxyphénol.

## Description quantitative de la chauffe

Dans une tonnellerie artisanale, la productivité est étroitement liée à l'efficacité des gestes, des actions et des procédures. Lors du bousinage des fûts, le tonnelier a déjà fort à faire pour procéder à la chauffe simultanée de plusieurs fûts. S'il doit encore caractériser ces chauffes de manière quantitative, les mesures à effectuer doivent impérativement s'adapter à ses activités principales. Les éléments à mesurer doivent donc être:

- aussi peu nombreux que possible;
- sélectionnés de manière à fournir le maximum d'informations pertinentes sur le processus de chauffe;
- évalués de manière non invasive par des instruments simples, robustes et fiables.

Fig. 4. Transformations post-hydrolytiques du syringaldéhyde (A) et de la vanilline (B) au cours de la chauffe. La première réaction est une oxydation, la seconde une décarboxylation. ▷

Tableau 1. Reproductibilité thermique de trois chauffes parallèles.

	Durée totale (min)	$T_{int}$ max (°C)	Gradient (°C/mm)	Energie totale (kJ)
Fût 1	65	248	5,9	12 215
Fût 2	65	237	5,8	11 630
Fût 3	65	250	6,0	12 334
Moyenne	–	245	5,9	12 060
Ecart-type	–	7	0,1	377
Coefficient de variation	–	3%	2%	3%

Les chauffes ont été évaluées par leur durée totale, la température maximale atteinte sur la surface interne du fût ( $T_{int}$  max), le gradient thermique à travers les douelles et l'énergie totale transmise au fût.

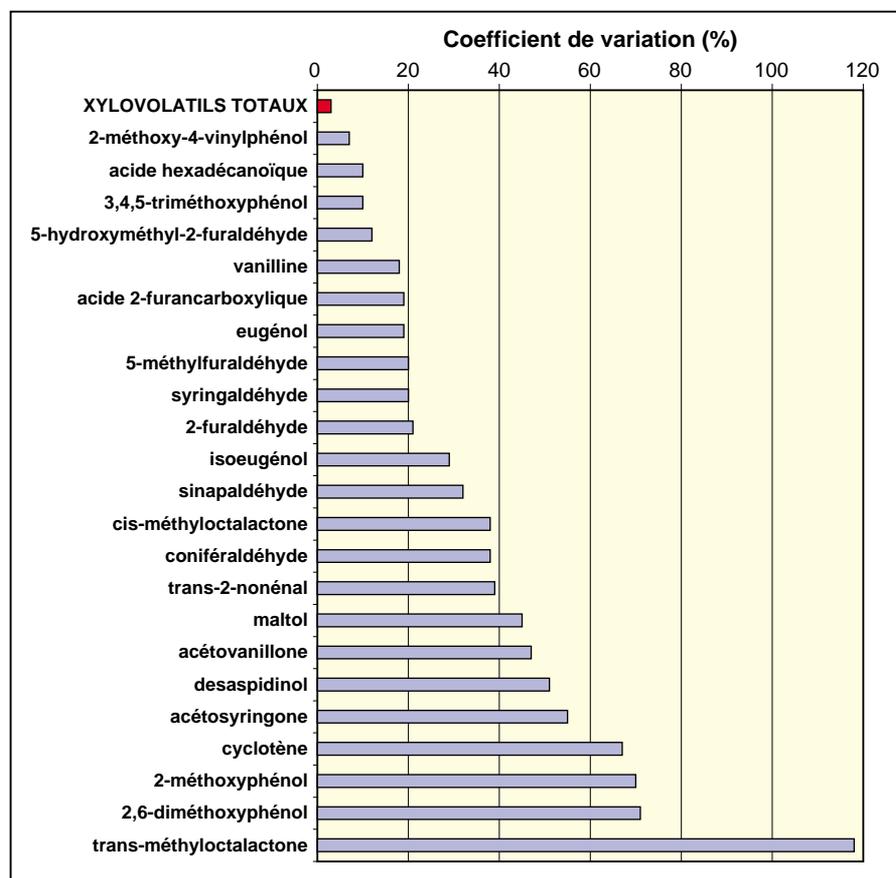
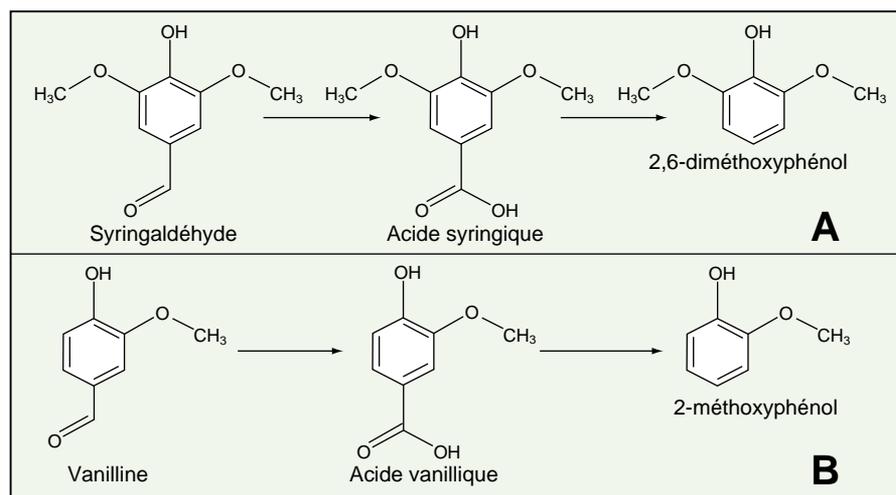


Fig. 3. Reproductibilité de la composition en xylovolatils (donnée par le coefficient de variation) de trois fûts bousinés selon les conditions données dans le tableau 1.



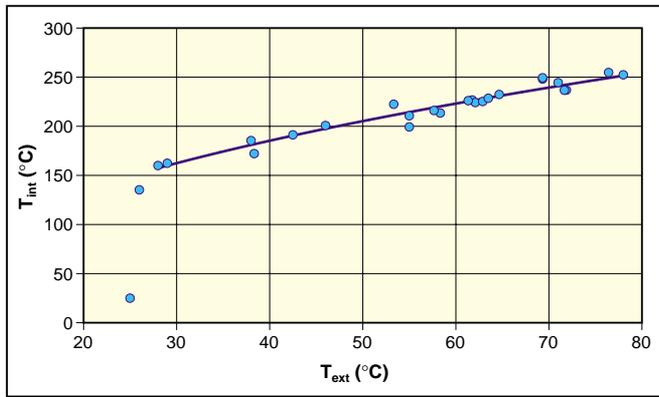


Fig. 5. Relation expérimentale établie entre les températures externe et interne des fûts soumis à la chauffe, obtenue à l'aide d'un thermomètre infrarouge.

L'outil BFC (pour Bousinage Fût de Chêne) que nous avons mis au point satisfait à ces exigences: la durée de chauffe  $t_{tot}$  est mesurée par une horloge et les températures externes initiale ( $T_{ini}$ ) et maximale ( $T_{ext\ max}$ ) par un thermomètre infrarouge. Nous avons également établi une relation expérimentale entre  $T_{ext}$  et la température interne ( $T_{int}$ ), en assemblant les données thermiques de 54 fûts construits à partir d'espèces et d'origines diverses et chauffés de manière reproductible (fig. 5). Cette relation est nécessaire, car les flammes et la fumée rendent difficile la mesure de  $T_{int}$  à la surface interne du fût. Le tonnelier n'a plus qu'à saisir les valeurs  $t_{tot}$ ,  $T_{ini}$  et  $T_{ext\ max}$  dans l'outil BFC pour obtenir une description quantitative de la chauffe (fig. 6).

## Effets de la chauffe sur les constituants du bois

### Rôle de la chauffe contre les arômes indésirables

Un effet peu connu de la chauffe, quoique très important pour l'élevage des vins, est que la zone bousinée sert

de barrière vis-à-vis de substances endogènes indésirables, éventuellement présentes dans les couches non thermiquement transformées du bois. En voici deux exemples relatifs aux xylovolatils: des merrains frais issus du même arbre, dotés d'excellentes propriétés mécaniques et structurales, exhalaient une odeur repoussante (rance, sueur caprique) lors du rabotage, due à la quantité élevée d'acides gras à courte chaîne (fig. 7A) présente dans le bois. Ces acides ont été totalement éliminés après une chauffe de 45 minutes (fig. 7B) et les copeaux rabotés sur ces douelles bousinées étaient organoleptiquement satisfaisants. Cependant, les fûts construits avec ce bois particulier auraient malgré tout eu un effet délétère sur le vin, à cause des fonds non chauffés, Il convient donc d'accorder autant d'attention à la qualité des merrains qui serviront à fabriquer les fonds qu'à ceux qui deviendront des douelles.

Le second exemple concerne la présence de *trans*-2-nonénal dans les bois séchés. Cette molécule, associée au descripteur «planche, sciure», est jugée indésirable par son seuil de perception très faible (0,2 µg/litre de vin artificiel). La quan-

tité de *trans*-2-nonénal présente après la chauffe dépend non seulement de l'intensité et de la durée de celle-ci (Chatonnet et Dubourdiou, 1997; 1998), mais également de sa teneur initiale dans le bois séché (effet arbre). La comparaison de trois groupes de fûts d'origine diverse et de teneur variable en *trans*-2-nonénal montre que plus la chauffe est longue, plus la quantité de *trans*-2-nonénal diminue dans les bois bousinés (fig. 8). Dans la plupart des cas, seules des traces de ce composé ont été détectées dans les copeaux de douelles bousinées. Ces données sont confirmées par l'absence du caractère «planche-sciure» dans les vins.

### Faut-il chauffer les fonds?

Une solution radicale à ces problèmes serait de chauffer systématiquement les fonds. Cependant, les xylovolatils endogènes issus des fonds équilibrent l'aromatization purement empyreumatique conférée par les douelles. La mise sur pied de la filière suisse «bois de chêne de tonnellerie» (Auer *et al.*, 2004) permet d'éviter de sacrifier cet équilibre aromatique et les riches possibilités d'assemblage qui en découlent.

Description de la chauffe	Symbole	Valeur	Unité
Durée de la phase de montée en température:	$t_1 =$	40	min
Durée de la phase stationnaire:	$t_2 =$	15	min
Température interne maximale finale:	$T_{int} =$	250	°C
Température au milieu de la douelle:	$T_{moy} =$	164	°C
Gradient thermique en phase stationnaire:	$gradT =$	6,0	°C/mm
Température à 1 mm de profondeur:	$T_{1\ mm} =$	245	°C
Température à 2 mm de profondeur:	$T_{2\ mm} =$	239	°C
Température à 3 mm de profondeur:	$T_{3\ mm} =$	233	°C
Température à 4 mm de profondeur:	$T_{4\ mm} =$	227	°C
Température à 5 mm de profondeur:	$T_{5\ mm} =$	221	°C
Quantité d'énergie totale transmise au fût:	$Q_{tot} =$	11 372	kJ

Fig. 6. Description quantitative d'une chauffe fournie par le modèle BFC. Les valeurs mesurées sont  $t_{tot} = 55$  min,  $T_{ini} = 22$  °C et  $T_{ext\ max} = 77,3$  °C.

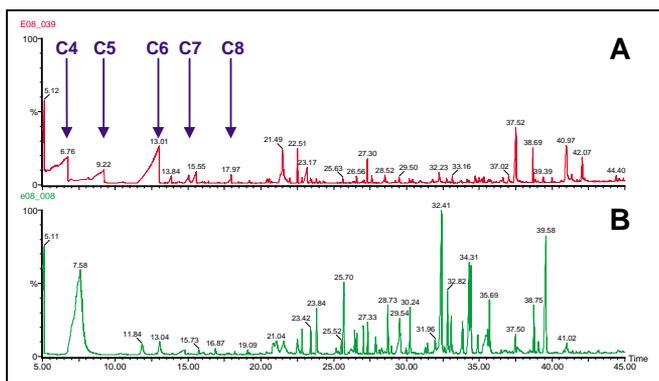


Fig. 7. Chromatogrammes des xylovolatils extraits de merrains provenant de la forêt de Galm (A) et des douelles correspondantes, bousinées pendant 45 minutes (B). Les acides butyrique (C4), valérique (C5), caproïque (C6), oenanthique (C7) et caprylique (C8) détectés avant la chauffe (A) sont éliminés après celle-ci (B).

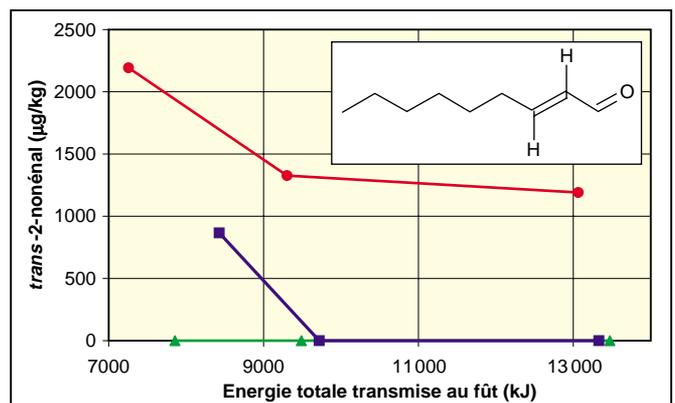


Fig. 8. Diminution et élimination du *trans*-2-nonénal dans des fûts de trois origines différentes, soumis à des chauffes d'intensité croissante. Les origines sont: (●) Montagny (VD), (■) Onnens (VD), (▲) Neuchâtel (NE).

## La chauffe détruit les ellagitanins dans les douelles

Une autre conséquence remarquable de la chauffe est son effet destructeur sur les ellagitanins, qui diminuent ou disparaissent même totalement de la zone bousinée des douelles (fig. 9). Cette dégradation, déjà signalée par Chatonnet en 1991, a été largement confirmée depuis (Cadahia *et al.*, 2001; Doussot *et al.*, 2002). C'est donc par ses fonds (non chauffés) que le fût va libérer des ellagitanins dans le vin.

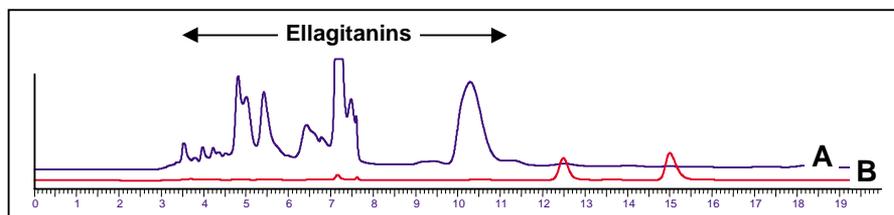
## Incidence de la chauffe sur les xylovolatils

Les essais conduits en 2003 et 2004 avaient pour but de vérifier l'impact de la chauffe sur le profil analytique et sensoriel des vins. Nous ne mentionnons ici que les résultats du millésime 2004. Les essais ont été réalisés dans trois caves privées (GE, VD et TI), sur du Pinot noir et du Merlot. Les fûts étaient construits avec des chênes sessiles issus de Montagny, Neuchâtel et Onnens. Pour assurer une qualité homogène aux fûts (26 à 30 douelles par fût), chacun a été construit avec 5-6 douelles provenant de 5-6 arbres de la même origine. Les fûts ont été soumis à des chauffés parallèles (fig. 1) de 30, 45 et 90 minutes, selon une procédure reproductible (fig. 10). La chauffe n'a provoqué ni cloques ni décollement visible de fibres.

Quatre facteurs déterminent l'accumulation (Ac) d'un xylovolatil quelconque dans la zone bousinée d'une douelle:

- le taux de production (Pr) à partir du polymère parent
- le taux de transformation (Tr) en un xylovolatil secondaire
- le taux d'évaporation (Ev) au cours de la chauffe
- le taux de dégradation (D)

selon la formule  $Ac = Pr - (Tr + Ev + D)$ . Si, au début de la chauffe, la production est le processus dominant, les trois autres mécanismes prennent de l'ampleur avec l'augmentation de la température et de la durée de chauffe, entraînant une progressive stabilisation de l'accumulation, ou même une diminution de celle-ci, comme le montrent nos analyses de la composition en xylovolatils des douelles en fonction de la durée de chauffe (tabl. 2). Certains xylovolatils, chez lesquels le processus Pr est prédominant, augmentent régulièrement avec la durée de chauffe (2-méthoxyphénol, maltol, vanilline, acétovanillone, acétosyringone, syringaldéhyde et 2,6-diméthoxyphénol). Pour la plupart des autres xylovolatils, en revanche, les mécanismes (Tr, Ev, D) concurrencent fortement la production, ce qui est déjà



△ Fig. 9. Effet de la chauffe sur le profil des ellagitanins (EGT) du bois séché (A) et du bois bousiné (B). Le fût (chêne pédonculé de Faoug) a été chauffé pendant 50 minutes.

Fig. 10. Énergies transmises aux fûts de Montagny (■), Onnens (■) et Neuchâtel (■) pour des chauffés de 30, 45 et 90 minutes.

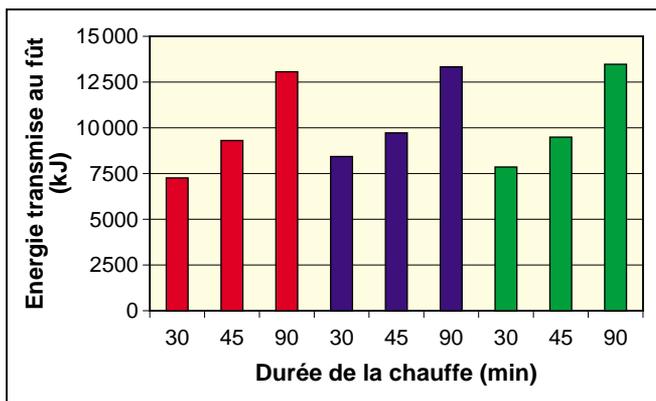


Tableau 2. Influence de la chauffe sur la teneur en xylovolatils des fûts.

Xylovolatil (mg/kg de bois)	Durée de chauffe (min)		
	30	45	90
<i>trans</i> -2-nonéanal	0,0	0,0	0,0
<i>cis</i> -méthylactolactone	0,3	0,3	0,7
<i>trans</i> -méthylactolactone	0,9	1,2	2,1
<b>Marqueurs endogènes</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,8</b>
eugénol	2,0	1,9	1,3
isoeugénol	10,7	10,0	6,4
<b>Marqueurs mixtes</b>	<b>12,7</b>	<b>11,9</b>	<b>7,7</b>
2-furaldéhyde	71,6	80,2	71,1
5-Me-2-furaldéhyde	14,7	11,6	11,3
cyclotène	0,5	0,8	0,4
acide 2-furancarboxylique	1,4	2,2	2,1
2-méthoxyphénol	1,3	1,7	2,1
maltol	1,6	2,0	2,4
5-hydroxyméthyl-2-furaldéhyde	31,0	29,1	21,3
vanilline	58,4	79,0	120,7
acétovanillone	7,1	10,0	16,2
acétosyringone	18,8	28,7	46,5
3,4,5-triméthoxyphénol	1,3	1,2	1,0
syringaldéhyde	193,2	292,6	455,9
2,6-diméthoxyphénol	17,9	23,6	32,5
coniféraldéhyde	206,5	157,6	159,0
2-méthoxy-4-vinylphénol	6,7	5,5	5,8
desaspidinol	7,1	11,4	11,0
acide hexadécanoïque	7,4	2,0	1,9
sinapaldéhyde	437,8	388,4	423,8
<b>Marqueurs empyreumatiques</b>	<b>1084,3</b>	<b>1127,7</b>	<b>1385,0</b>
<b>Xylovolatils totaux</b>	<b>1098,1</b>	<b>1141,2</b>	<b>1395,4</b>

Les fûts analysés ici sont construits avec des bois de Neuchâtel. Dans tous les bois étudiés, la fraction empyreumatique représente 90-99% des xylovolatils totaux.

visible après 45 minutes de chauffe, et davantage encore après 90 minutes. La règle que l'on peut en déduire est que la phase pour laquelle  $A_c = Pr$  est relativement brève (de 0 à 30 minutes) et correspond approximativement à l'établissement de  $T_{int}$  maximale. Au delà de cette période, le fût entre en équilibre thermique et la composition en xylovolatils va évoluer davantage de manière qualitative que quantitative. Cette seconde phase joue aussi un rôle impor-

tant dans l'élimination de composés volatils indésirables (fig. 8).

### Discrimination des chauffes et des origines

Soumises à des analyses en composantes principales (ACP), les données multivariées fournies par les essais de chauffe ont montré que les différentes chauffes et origines peuvent être discriminées (fig. 11). Bien que la chauffe

engendre les mêmes composés dans des bois d'origine différente, elle est différenciable en termes de durée et d'amplitude (fig. 11A). A l'inverse, la chauffe, quelle que soit son amplitude, n'abolit pas les différences d'origine des bois (fig. 11B). Les mêmes tendances sont perceptibles dans les vins (fig. 12). L'ACP permet ainsi de distinguer les trois durées de chauffe (fig. 12A), indépendamment des origines. De même, elle distingue les ori-

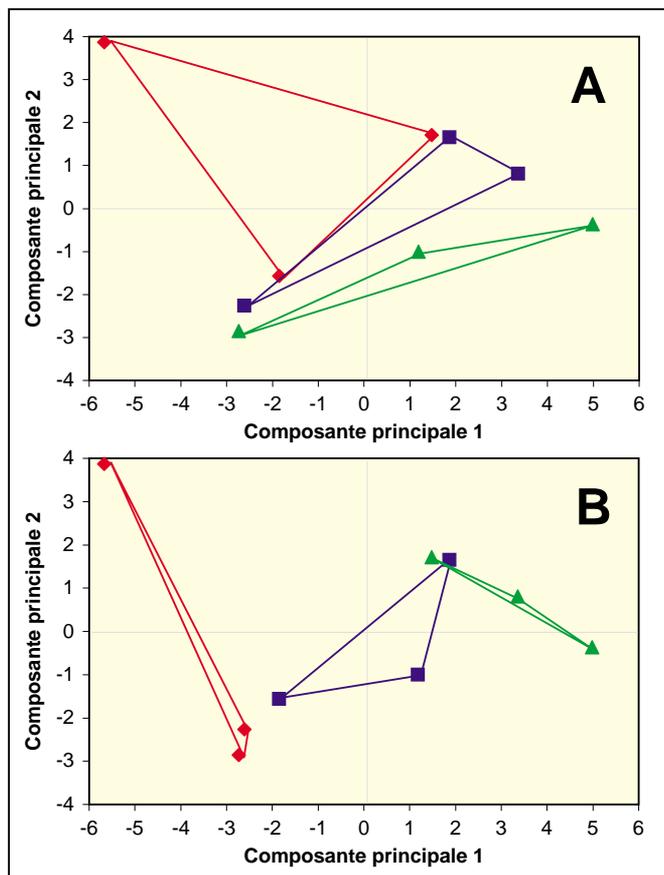


Fig. 11. Discrimination des bois bousinés de l'essai de chauffe 2004, basée sur leurs teneurs en xylovolatils mesurées par GC-MS. A, fûts groupés selon la durée de chauffe. B, fûts groupés selon leur origine.

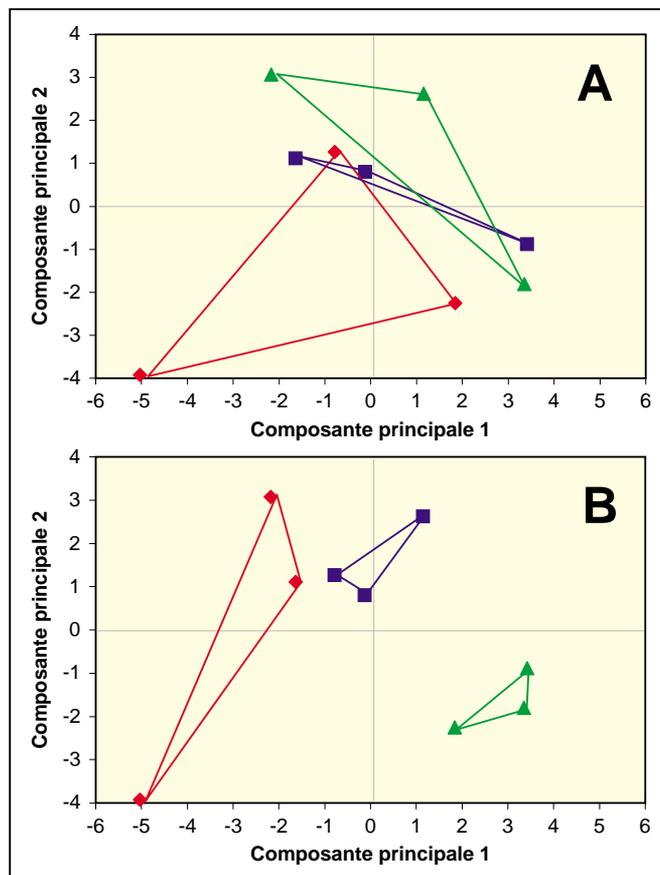


Fig. 12. Discrimination des vins de l'essai de chauffe 2004, basée sur leurs teneurs en xylovolatils mesurées par GC-MS. A, vins groupés selon la durée de chauffe des fûts. B, vins groupés selon l'origine des fûts.

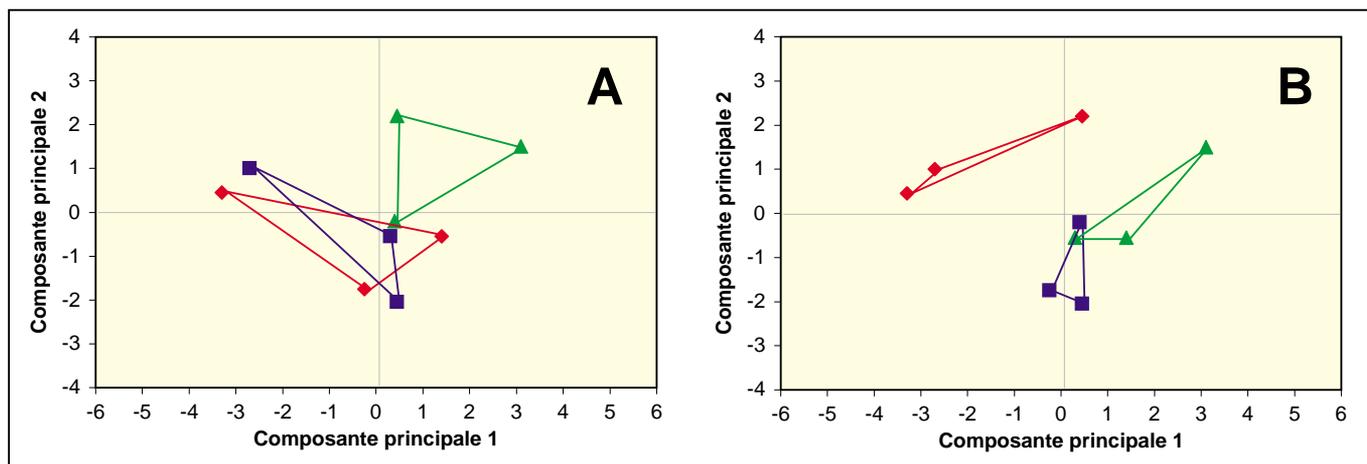


Fig. 13. Discrimination des vins de l'essai de chauffe 2004, basée des critères généraux de qualité et d'intensité évalués par analyse sensorielle. A, vins groupés selon la durée de chauffe des fûts. B, vins groupés selon l'origine des fûts.

gines, indépendamment de la durée de chauffe (fig. 12B). La discrimination est plus tangible entre les origines qu'entre les chauffeuses, dans les vins (fig. 12) comme dans les fûts (fig. 11). Ce comportement similaire entre fûts et vins implique que les xylovolatils qui passent dans le vin le font en respectant et en conservant les discriminations inscrites dans les bois par leur origine et par la chauffe. Enfin, l'analyse sensorielle (fig. 13) a également mieux différencié les vins selon l'origine des fûts (fig. 13B) que selon leur durée de chauffe (fig. 13A). Mais ce dernier résultat n'apparaît que si des critères de qualification généraux, ayant trait à la qualité et à l'intensité (par exemple nez intensité bois, équilibre bois/vin, etc.) sont employés. En revanche, les descripteurs aromatiques (fumé, cacao, amande amère, etc.) ne permettent pas de distinguer clairement les vins.

### Remerciements

Les auteurs remercient tous les partenaires ayant apporté leur soutien à ce projet: Commission technologie et innovation (CTI), Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO), Fondation de l'Ecole d'ingénieurs de Changins (EIC), Fondation Audemars-Piguet (VD), Service des forêts, faune et nature (VD), tonnellerie Suppiger (SZ), Cantina Giubiasco (TI), Château d'Auvernier (NE), Chatenay SA (NE), Cybox S.à r.l., Domaine des Abeilles d'Or R. Desbaillet (GE), Domaine Hutin (GE), Ecole d'ingénieurs du Valais, Institut für Holzforschung (ETHZ), Institut Jules-Guyot (Dijon, F), Institut technique du vin (Beaune, F), Office national des forêts (F), Provins SA (VS),

## Conclusions

- ❑ La chauffe artisanale peut être conduite de manière reproductible sur le plan thermique et analytique.
- ❑ La chauffe artisanale peut être maintenant décrite de manière quantitative.
- ❑ La chauffe artisanale est capable d'éliminer certains composés indésirables de la zone bousinée des douelles.
- ❑ Elle détruit les ellagitanins des douelles (parois), laissant aux fonds le rôle d'approvisionner le vin en ces composés, ce qui exige de choisir soigneusement les merrains destinés à la fabrication des fonds.
- ❑ Il n'y a aucune raison de chauffer les fonds si toutes les étapes de la filière du bois sont bien maîtrisées.
- ❑ La chauffe se déroule en deux phases. La première (montée en température), de nature quantitative, augmente la teneur en xylovolatils des douelles. La seconde (équilibre thermique), de nature qualitative, stabilise l'accumulation des xylovolatils, tandis que le profil aromatique global se modifie sous l'effet des processus de transformation, d'évaporation et de dégradation.
- ❑ Les différentes origines des bois ne sont pas masquées par la chauffe et restent discriminables.
- ❑ Cette distinction est aussi observée entre les vins, par l'analyse chimique comme par l'analyse sensorielle. Cependant, elle dépend des critères utilisés par l'analyse sensorielle.

Rouvinez SA (VS), Schenk SA (VD) et Uvavins SA (VD). Ils remercient également M. Jean-Philippe Mayor, ancien directeur de l'Ecole d'ingénieurs de Changins, pour son soutien et ses encouragements.

### Bibliographie

- Auer J., Rawyler A. & Horisberger D., 2004. La traçabilité de la filière suisse de bois de chêne de tonnellerie: une démarche unique et ferment innovatrice. *Bulletin O.I.V.* 77 n° 885-886, 845-856.
- Cadahia E., Varea S., Munoz L., de Simon B. F. & Garcia-Vallejo M. C., 2001. Evolution of ellagitanins in Spanish, French and Ameri-

can oak woods during natural seasoning and toasting. *J. Agric. Food Chem.* 49, 3677-3684.

Chatonnet P., 1991. Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins. Applications technologiques. Diplôme d'études et de recherches de l'Université de Bordeaux II, 224 p.

Chatonnet P. & Dubourdieu D., 1997. Odeur de «planche» dans le bois de chêne: les responsables identifiés. *Rev. Oenol.* 82, 17-19.

Chatonnet P. & Dubourdieu D., 1998. Identification of substances responsible for the «sawdust» aroma in oak wood. *J. Sci. Food Agric.* 76, 179-188.

Doussot F., De Jeso B., Quideau S. & Pardon P., 2002. Extractives content in cooperage oak wood during natural seasoning and toasting; influence of tree species, geographic location, and single-tree effects. *J. Agric. Food Chem.* 50 (21), 5955-5961.

### Riassunto

#### Tostatura artigianale dei fusti di rovere in tonnelleria

La tostatura dei fusti di rovere è stata studiata in una tonnelleria artigianale svizzera che utilizza doghe di rovere svizzero di specie, origine e durata di essiccazione perfettamente controllate. Le condizioni per una buona riproducibilità della tostatura sono state definite. Uno strumento semplice, che fornisce una descrizione quantitativa della tostatura, è stato creato. Gli effetti distruttivi della tostatura sui tannini ellagici, ma anche su certi composti indesiderabili del legno, sono stati riconosciuti. Le analisi mostrano inoltre che una selezione attenta delle doghe destinate alla fabbricazione dei cooperchi evita la tostatura di questi ultimi. La tostatura inizia con l'accumulazione di composti volatili e semivolatili, seguita da una modificazione del profilo aromatico globale. L'elaborazione dei dati sperimentali ottenuti per analisi in componenti principali mostra che le diverse origini del legno possono essere discriminate, indipendentemente dalla durata della tostatura, sia per i fusti sia per il vino. Con l'uso di criteri adeguati, l'analisi sensoriale giunge alle medesime conclusioni.

### Zusammenfassung

#### Handwerkliche Erhitzung der Eichenfässer in Käferei

Die Erhitzung oder «Chauffe» der Eichenfässer wurde im Rahmen einer traditionellen Schweizerkäferei geprüft, die einheimisches Daubenholz benutzt dessen Eichensorte und Wachstumort genau bestimmt waren. Ein einfaches Kontrollmodell wurde aufgebaut, das die gesamten Erhitzungsparameter einbezieht und hiermit die Wiederholung dieses Prozesses erlaubt. Der Einfluss der Erhitzung auf die Zerstörung der Ellagengerbstoffen sowie auf die unerwünschten Aromastoffen des Daubenholzes wurde erkannt. Dies bestätigt dass eine sorgfältige Auswahl des Bodenholzes erlaubt, eine Sicherheitchauffe der Böden zu vermeiden. Die Chauffe beginnt mit der Anreicherung der Holzaromastoffen die sich dann mit der Zeit gesamt verändern. Die Auswertung der experimentellen Daten mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse zeigt, dass die verschiedenen Holzherkunftsorte diskriminiert können wurden. Dies geschah oft auch ohne Einbezug der Chauffe-Dauer, ob dies den Holz oder die Weinanalysen betrifft. Wenn die geeigneten Kriterien benutzt werden, kommt die Analyse der Weindegustationen auf dieselben Resultate.

Garcia-Berro M. J., Mourey N., Torres M. M. & Bobet R., 2003. Comparaison entre deux techniques de chauffe de barriques de chène français sur du Chardonnay. *Rev. française Enologie* **202**, 15-19.

Masson G., Puech J.-L., Moutounet M., 1996. Composition chimique du bois de chène de tonnellerie. *Bull. O.I.V.* **69**, n° 785-786, 634-657.

Polge H. & Keller R., 1973. Qualité du bois et largeur d'accroissements en forêt du Tronçais. *Ann. Sci. For.* **30**, 91-125.

Snakkers G., Nepveu G., Guilley E. & Cantagrel R., 2000. Variabilité géographique, sylvicole et individuelle de la teneur en extractibles de chênes sessiles français (*Quercus petraea* Liebl.): polyphénols, octalactones et phénols volatils. *Ann. For. Sci.* **57**, 251-260.

## Summary

### Artisanal toasting of oak barrels in cooperage

Toasting of oak barrels has been studied in a Swiss artisanal cooperage using Swiss oak staves of well-defined botanical species, geographical origin and seasoning duration. Practical rules allowing a good reproducibility of the toasting process are given. A simple tool was built up to provide a quantitative description of the toasting process. The destructive effect of toasting on ellagitannins, but also on a few undesirable chemicals in staves, was assessed, the latter showing that a careful selection of head staves may avoid toasting them for security grounds only. Toasting starts by an accumulation of xylovolatile compounds, followed by a modification of their global aromatic pattern. Treatment of experimental data by principal component analysis showed that the various oak origins could be discriminated in both barrels and their corresponding wines, at any toasting duration. Similar conclusions are drawn from sensory analysis, provided that adequate tasting criteria are used.

**Key words:** artisanal cooperage, Swiss oak, barrel toasting, origin discrimination.

## VITICULTEURS, pensez-y dès maintenant!

### SIÈGE MOBILE PIVOTANT 360°



#### Ménagez votre dos!

- Hauteur réglable 360-490 mm
- Placet en plastique avec trous
- Hauteur du dossier 400 mm
- Tube pour fixation d'accessoires
- 3 roues ballons: Ø 260 mm
- Option: 4 roues, frein sur roue avant

### BARRES DE PALISSAGE



#### Rationalisez vos effeuilles

- Palissez vos bois avec le système RM
- S'adapte sur tous les types de véhicules utilisés en viticulture
- Montage simple pouvant s'effectuer sur les porte-outils existants de vos machines

**afiro**

Fabrication et vente  
AFIRO - 1170 AUBONNE  
Tél. 021 821 11 00

Une longueur d'avance face à la pourriture grise

**Sumico**<sup>®</sup>

à la fermeture de la grappe

**SCALA**<sup>®</sup>

à la véraison



**Omya (Schweiz) AG**  
**AGRO** CH-5745 Safenwil, Tel. 062 789 23 41  
www.omya.ch



Classe de toxicité 4: Sumico  
Classe de toxicité 5S: Scala  
Observer la mise en garde figurant sur l'emballage

Sumico: marque enregistrée de Sumitomo Chemical Co.  
Scala: marque enregistrée de Bayer Gruppe

Depuis 20 ans, DUPENLOUP SA ne cesse d'améliorer ses produits et ses services

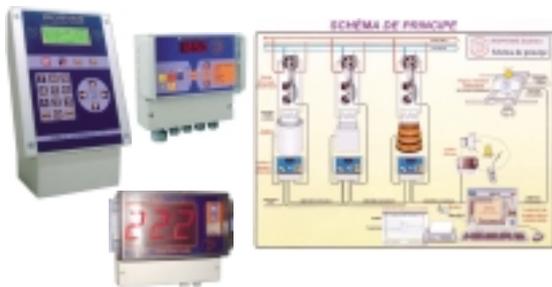
**LES POMPES SMILINOX**



**LA FLOTTATION**



**GESTION DE TEMPÉRATURE**



**LES POMPES SCHNEIDER**



9, CHEMIN DES CARPIÈRES  
1219 LE LIGNON-GENÈVE  
TÉL. 022 796 77 66 – FAX 022 797 08 06

MAISON FONDÉE EN 1888  
**FAITES CONFIANCE  
AU SPÉCIALISTE**

**DUPENLOUP SA**  
FABRIQUE DE POMPES  
MATÉRIEL POUR L'INDUSTRIE

**VELD**



Vente  
Entretien

**Gama Y Cave**  
3960 Sierre

Tél. Fax 027/ 456 56 01 - gamacave.ch

# Protection intégrale et durable

## VINCARE

Le fongicide viticole  
transsystémique – encore plus efficace



- Protège mieux les plantes de l'extérieur vers l'intérieur
- Effet préventif et stoppant, bloque la germination des spores
- Excellent degré d'efficacité et longue durée d'action, très bonne résistance au lessivage
- Très bonne efficacité sur les repousses

## TALENDO

Le nouveau fongicide contre l'oïdium de la vigne



Stähler Suisse SA, 4800 Zofingen  
Tél. 062 746 80 00, Fax 062 746 80 08  
www.staehler.ch



6 - 10 pcs. **820.-**  
1 pc. 870.-

## Economique, pratique, écologique BAC À VENDANGES

Pour les vendanges à venir:  
optez pour notre modèle en polyéthylène,  
jusqu'à **25% moins cher** qu'un bac en inox!

### Vos avantages:

- Grande résistance aux chocs
- Hygiène excellente
- Graduation par 50 l.
- Nettoyage au jet suffisant
- Désempilage aisé, blocage impossible
- Lot d'accessoires modulables

Matière: Polyéthylène blanc  
Armature en inox  
Volume: 680 litres  
Poids: 38 kg  
Fabrication suisse



www.serex-plastic.ch



## Multi-usages résistant, compact BAC MÉLANGEUR

Pour toutes vos tâches de la cave: sucrage, collage, transvasage, etc. Matériau de pointe jusqu'à **50% moins cher** qu'un bac en inox!

### Vos avantages:

- Vidange centrale totale
- Hygiène excellente
- Recyclable
- Nettoyage au jet suffisant
- Brasseur amovible, arbre en inox
- Grande résistance aux chocs

Matière: Polyéthylène blanc  
+ 4 roulettes PP

Volume: 500 litres  
Fabrication suisse  
1 an de garantie

**Appelez-nous!**  
**021 946 33 34**

1070 PUIDOUX • Fax 021 946 33 86