

UTILISATION DE MODÈLES MATHÉMATIQUES POUR OPTIMISER LES DOSES DE BENTONITE GONFLÉE ET NON GONFLÉE LORS DU COLLAGE DES VINS BLANCS PARTIE II : INCIDENCE SUR LE VOLUME DE LIES ET ASPECTS ÉCONOMIQUES

USE OF MATHEMATICAL LAWS FOR OPTIMIZING THE DOSE OF SWOLLEN AND DRY BENTONITE DURING THE FINING OF WHITE WINES PART II : INFLUENCE ON THE VOLUME OF LIES AND ECONOMICS

MARCHAL R.¹ et ^{*}, WEINGARTNER S.³, JEANDET Ph.¹ et CHATELAIN F.²

1 : Laboratoire d'œnologie, Université de Reims, URVVC, UPRES EA 2069
B.P. 1039, 51687 Reims cedex, France

2 : Maison Bougrier, Saint-Georges sur Cher, 41400 Montrichard, France

3 : Les Caves de la Tourangelle, Saint-Georges sur Cher, 41400 Montrichard, France

Résumé : Le collage d'un vin blanc de Sauvignon avec une bentonite sèche (BS) ou préalablement gonflée (BG) provoque, selon la dose utilisée des volumes de lies compris entre 0,27 et 1,51 % (v/v) pour BS, et des volumes compris entre 1,07 et 4,59 % pour BG. On observe d'étroites corrélations entre l'efficacité clarifiante et la hauteur de lies. La réduction du risque de casse colloïdale et le volume de lies sont également corrélés par une loi exponentielle. Pour BG, la loi montre que quand le volume de lies augmente de 0,1% (v/v), le risque de casse colloïdale diminue de 22 % seulement. Pour la BS, en revanche, quand le volume de lies augmente de 0,1 %, le risque de casse colloïdale diminue de 44 %. Enfin, le coût financier du collage montre, pour une vente en vrac comme pour une vente en bouteille, que l'utilisation de bentonite sèche est plus intéressante qu'une bentonite gonflée. Le gain est estimé à 115 euros pour 10 hl vendus en vrac.

Abstract : A Sauvignon white wine was fined with a dry bentonite (BS), e.g directly incorporated in the wine without swelling treatment, or with the same bentonite swelled in water 24 hours before utilization (BG). The volumes of lees generated by the fining were situated between 0,27 and 1,51 % (v/v) for BS, and between 1,07 and 4,59 % (v/v) for BG. The relation between the quantity of bentonite introduced in the wine (g/hl) and the volume of lees (v/v) follows a power law. The volume of lees only increased by 70 % when the dose of swelled bentonite was doubled; for higher doses of bentonite (rarely used), one can observe a packing of the lees. For BS, lees were approximately twice more volumetric when the dose was doubled. We also observe very good relationship between the clarifying efficiency and the volume of lees. When the clarifying efficiency of BG increased by 10 % the volume of lees increased by 74 %. For BS, when the clarifying efficiency increased by 10 % the volume of lees increased by 86 % because of its low efficiency during clarification. The decrease of the natural proteic haze risk and the volume of lees generated by bentonite fining were also closely correlated by an exponential law. For BG, the mathematical law showed that when the volume of lees increased by 0,1 % (v/v), colloidal haze risk decreased only by 22 %. On the contrary, for BS, when the volume of lees increased by 0,1 %, proteic haze risk decreased by 44 %. Finally, the estimation of the cost of fining showed that the use of a non swelled bentonite was economically more interesting than the utilization of a swelled bentonite. This was true when this Sauvignon wine is sold both in bottle or in bulk. For the studied wine, the estimated winning was 115 euros for 10 hl sold in bulk.

Mots clés : bentonite, gonflement, vin blanc, lies, Sauvignon, coût, aspects financiers.

Key words : bentonite, swelling clay, white wine, Sauvignon, lees, cost, economics.

INTRODUCTION

Pour les vins blancs vinifiés en cuve, le traitement à la bentonite permet d'éliminer tout risque de casse protéique (HSU et HEATHERBELL, 1987 ; LEDOUX *et al.*, 1992), phénomène colloïdal considéré par le consommateur comme un défaut, et qui déprécie fortement l'image organoleptique qu'on gardera d'un vin.

La bentonite peut être incorporée au vin à l'état de cristallites sèches ou après gonflement dans de l'eau. Dans la première partie de cette étude (MARCHAL *et al.*, 2002), nous avons observé que le gonflement dans l'eau confère à la bentonite une capacité d'adsorption des colloïdes thermo-instables plus marquée et une efficacité clarifiante nettement meilleure. Ainsi, la comparaison des clarifications montre que les cinétiques pour des traitements à 10 g/hl de bentonite gonflée (BG) et 100 g/hl de bentonite non gonflée (BS) sont identiques. Par ailleurs, le vin étudié doit être traité avec 30 g/hl de BG ou 60 g/hl de BS pour être stable sur le plan colloïdal. Sur la base des résultats de clarification et de stabilisation colloïdale, l'utilisation de bentonite non gonflée reste moins intéressante que le traitement avec la même bentonite préalablement gonflée dans de l'eau.

Concernant les pertes de vin, il est bien connu des vinificateurs que l'emploi d'une bentonite gonflée dans l'eau plusieurs heures avant utilisation génère des lies plus volumineuses qu'une bentonite non gonflée. Toutefois, on ne dispose pas, à notre connaissance, de données chiffrées concernant les volumes de lies obtenus avec ces deux modes d'utilisation d'une même bentonite.

Des études ont comparé les indices de gonflement de nombreuses bentonites préparées dans de l'eau distillée, dépourvue de cations, ou de l'eau du robinet riche en ions calcium (MAUJEAN, 1993 ; MARCHAL *et al.*, 1995). Pour les bentonites sodiques (comme la Volclay utilisée dans cette étude), les résultats indiquent des indices de gonflement plus élevés dans l'eau du robinet que dans l'eau distillée, en raison du déplacement des ions sodium par les ions calcium, plus volumineux. A l'inverse, le gonflement de ces mêmes argiles dans un vin blanc sec génère des lies statistiquement deux fois inférieures aux lies mesurées avec un gonflement dans l'eau du robinet (MARCHAL *et al.*, 1995). Il reste néanmoins difficile d'estimer précisément des volumes de lies sur la base d'indice de gonflement, dans la mesure où la pression hydrostatique s'exerçant sur les lies de colle est rarement indiquée (ni même calculable à partir des données publiées).

On sait aussi que la réalisation d'un collage avec une bentonite sèche demande moins de travail qu'avec

une bentonite gonflée, qui génère par ailleurs une augmentation de volume due à l'incorporation de l'eau de gonflement.

Dans cette étude, nous avons cherché à préciser les relations qui existent entre la dose de bentonite utilisée, le mode de préparation de l'argile (gonflée ou non gonflée), la diminution des risques de casse protéique et l'efficacité clarifiante d'une part, et les hauteurs de lies générées par ce collage minéral d'autre part. Nous chiffrerons également les différences de coût entre les deux modes d'utilisation de l'argile.

Finalement, les avantages et les inconvénients de ces deux modes d'utilisation seront discutés, ainsi que la suite à donner à cette étude.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

I - VIN

Cette étude concerne un vin de Touraine de cépage Sauvignon, de la vendange 2000. L'analyse courante est la suivante : titre alcoométrique volumique (% v/v) : 12,1 ; acidité totale (g/l H₂SO₄) : 4,6 ; sucres réducteurs (g/l) : 0,8 ; SO₂ libre (mg/l) : 38 ; SO₂ total (mg/l) : 124 ; acidité volatile (g/l H₂SO₄) : 0,31 ; acide malique (g/l) : 3,1 ; turbidité avant collage (NTU) : 113.

II - COLLAGES À LA BENTONITE

L'argile utilisée est la bentonite Volclay. Le vin de Sauvignon est traité avec les doses suivantes : bentonite sèche (BS) : 20, 30, 40, 60, 80 et 100 g/hl ; bentonite gonflée (BG) : 10, 20, 30, 40, 60 et 80 g/hl. La bentonite gonflée est préparée, à la concentration de 50 g/l, avec l'eau du robinet, 24 h avant son utilisation.

III - DÉTERMINATION DES HAUTEURS DE LIES DE COLLE

Les collages ont été menés dans des bouteilles type champenoise en verre blanc de 0,75 litre (les éprouvettes cylindriques de 500 mL ne permettent pas d'estimer les hauteurs de lies de façon aussi précise pour les plus faibles doses). La bouteille est remplie avec le vin supplémenté en produits de collage, puis capsulée et placée sur pointe. Après cinq jours, puis deux semaines de repos, la bouteille subit deux rotations horizontales de façon à faire glisser vers le goulot les floculats déposés au niveau du ventre de la bouteille. Les bouteilles sont conservées au total trois semaines à température ambiante, à l'abri de la lumière et des courants d'air (temps fréquent pour une clarification en cuverie). Les hauteurs de lies sont alors estimées au moyen d'une règle épousant le col de la bouteille. Cette valeur est ensuite convertie en ml, puis en % v/v (soit l/hl) de lies.

Tableau I - Relations entre la dose de bentonite et les volumes de lies générées
Relationship between the dose of bentonite used and the volume of lees generated by the fining treatment

	Courbe de tendance		Equations	
Bentonite non gonflée	Linéaire		$y = 0,0151x - 0,0925$	$R^2 = 0,976$
	Puissance		$y = 0,0094 x^{1,0837}$	$R^2 = 0,980$
	Logarithmique		$y = 0,7307 \text{Ln}x - 2,0814$	$R^2 = 0,981$
Bentonite gonflée	Linéaire		$y = 0,0531x + 0,851$	$R^2 = 0,878$
	Puissance		$y = 0,1828 x - 0,7645$	$R^2 = 0,950$
	Logarithmique		$y = 1,8836 \text{Ln}x - 3,5768$	$R^2 = 0,931$

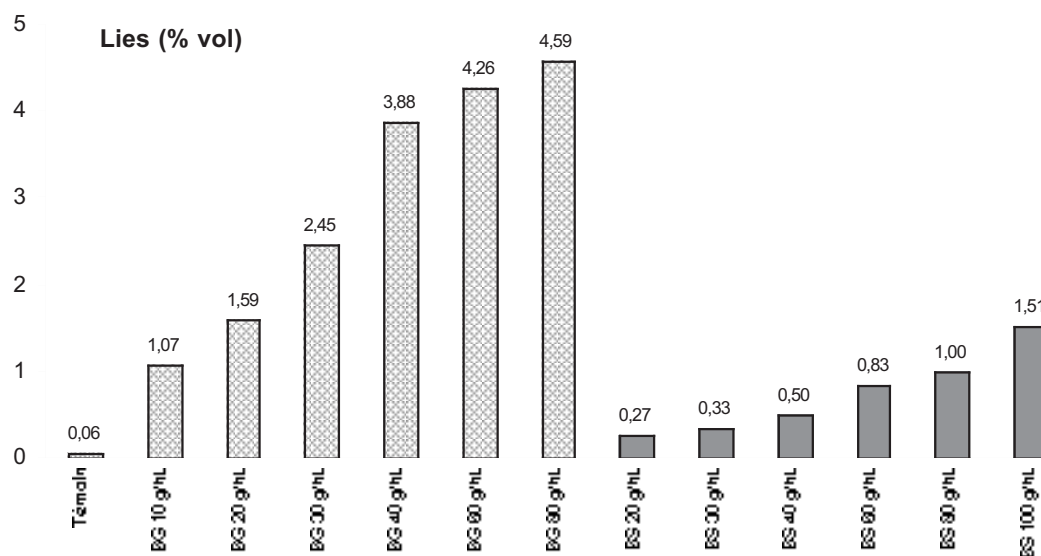


Fig. 1 - Volume de lies généré par un collage d'un vin blanc sec (Touraine Sauvignon) avec de la bentonite préalablement gonflée (BG) ou sèche (BS)

Volume of lees measured after the fining of a white wine (Touraine Sauvignon) using swollen bentonite (BG) and non swollen bentonite (BS)

RESULTATS ET DISCUSSION

I - INFLUENCE DU MODE DE PRÉPARATION DE LA BENTONITE SUR LA HAUTEUR DE LIES

Ce paramètre est toujours pris en considération lors du choix d'un collage, puisqu'il traduit les pertes en vin si les lies ne subissent pas de traitement ultérieur. Les volumes de lies, mesurés en bouteilles sur pointe trois semaines après collage, sont reportés sur la figure 1. Pour le vin témoin, les lies sont très peu volumineuses et restent difficiles à quantifier. Il faut aussi remarquer que le vin présente un trouble élevé par rapport aux essais collés (observation visuelle). Les traitements provoquent des volumes de lies compris entre 0,27 et 1,51 % (v/v) pour la bentonite non gonflée, et des volumes compris entre 1,07 et 4,59 % pour la bentonite gonflée. Comme pour les essais de clarification, on note des écarts très marqués entre la bentonite pré-gonflée et la bentonite non gonflée avant utilisation. Pour 20 et 60 g/hl, par exemple, les volumes de lies observés avec BS sont 5 fois plus faibles qu'avec BG.

Ces volumes de lies sont probablement substantiellement supérieurs aux volumes qu'on aurait pu noter en cuve, en raison d'une pression hydrostatique Π ($\Pi = \rho.g.h$, h étant la hauteur de la colonne liquide au dessus des lies) beaucoup plus faible dans les bouteilles. Ces valeurs absolues sont donc à considérer avec une certaine réserve. Toutefois, les valeurs relatives, c'est à dire le rapport $\text{Vol. lies BS}_{60 \text{ g/hl}} / \text{Vol. lies BG}_{30 \text{ g/hl}}$, par exemple, est correct puisque la pression exercée sur les lies est identique dans les deux cas.

Des courbes de tendance ont été calculées pour connaître les modèles mathématiques qui traduisent le mieux la relation entre la dose de bentonite ajoutée au vin et les lies générées. Les équations sont reportées dans le tableau I. Pour la bentonite non gonflée, la droite, la courbe logarithmique et la loi de puissance présentent des $R^2 > 0,97$. Pour une meilleure compréhension de ces équations, les lois de puissance sont tracées sur la figure 2. Pour BS, la loi de puissance ($y = 0,0094 x^{1,0837}$) montre un exposant proche de 1. Cela indique que les lies sont 2,12 fois plus volumineuses quand on

Tableau II - Relations entre l'efficacité clarifiante et le volume de lies générées par une bentonite gonflée ou non gonflée

Relationship between the clarifying efficiency and the volume of lees generated by finings using swollen and non swollen bentonite

	Courbe de tendance	Temps de clarification		
		41 heures	65 heures	85 heures
Bentonite non gonflée	Linéaire	$y = 0,039x - 0,641$ $R^2 = 0,785$	$y = 0,042x - 1,106$ $R^2 = 0,879$	$y = 0,0453x - 1,2127$ $R^2 = 0,744$
	Puissance	$y = 1,7 \cdot 10^{-3} x^{1,665}$ $R^2 = 0,787$	$y = 5 \cdot 10^{-5} x^{2,513}$ $R^2 = 0,908$	$y = 5 \cdot 10^{-5} x^{2,518}$ $R^2 = 0,769$
	Exponentielle	$y = 0,078 \exp(0,058x)$ $R^2 = 0,878$	$y = 0,041 \exp(0,062x)$ $R^2 = 0,941$	$y = 0,0329 \exp(0,068x)$ $R^2 = 0,834$
Bentonite gonflée	Linéaire	$y = 0,115x - 4,582$ $R^2 = 0,906$	$y = 0,144x - 7,420$ $R^2 = 0,854$	$y = 0,1343x - 7,035$ $R^2 = 0,914$
	Puissance	$y = 2 \cdot 10^{-5} x^{2,887}$ $R^2 = 0,949$	$y = 6 \cdot 10^{-8} x^{4,122}$ $R^2 = 0,922$	$y = 2 \cdot 10^{-7} x^{3,875}$ $R^2 = 0,956$
	Exponentielle	$y = 0,115 \exp(0,048x)$ $R^2 = 0,956$	$y = 0,034 \exp(0,060x)$ $R^2 = 0,926$	$y = 0,0415 \exp(0,0556x)$ $R^2 = 0,969$

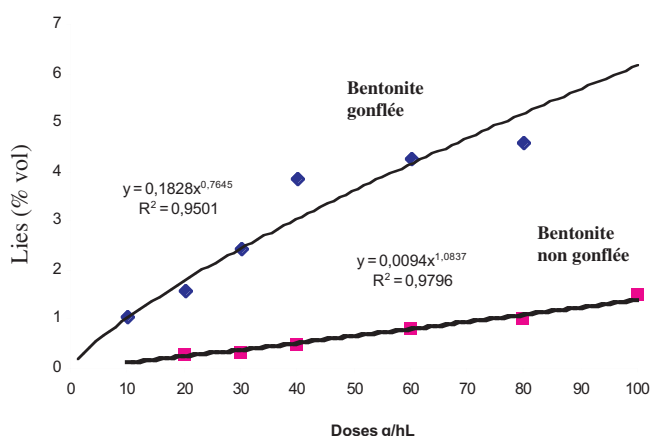


Fig. 2 - Relations entre la volume de lies et la dose de bentonite lors du collage à la bentonite d'un vin blanc sec (Touraine Sauvignon 2000)

Relationship between the volume of lees and the dose of bentonite used for the fining of a Sauvignon white wine (Touraine 2000)

double la dose de bentonite. En raison de sa faible pente, la courbe ressemble fortement à une droite, pour la gamme de traitements étudiés (20 à 100 g/hl). Toujours pour BS, la relation linéaire « $y = 0,0151x - 0,0925$ » (de la forme $y = a \cdot x - b$) s'interprète de la façon suivante : quand on augmente la dose de bentonite (x) de 1 unité (1g/hl), on augmente le volume de lies (y) de 0,0151 % v/v. Si on passe, par exemple de 20 à 60 g/hl, le volume de lies augmentera de : $(60 - 20) \times 0,0151 = 0,6 \%$ (v/v) = 0,6 l/hl

Pour la bentonite gonflée, les trois modèles mathématiques donnent des R^2 élevés, compris entre 0,88 et

0,95. Le modèle traduisant le mieux la relation entre les deux paramètres est la loi de puissance. L'exposant vaut 0,7645. Une valeur inférieure à 1 indique que le volume de lies augmente moins vite que le traitement. Ainsi, le volume de lies augmente de 70 % seulement quand on double la dose de bentonite ($2^{0,7645} = 1,7$). Les lies volumineuses (pour les doses les plus élevées) semblent subir un tassement. L'emploi de telles doses se justifie toutefois moins que pour la BS puisque l'activité clarifiante et la réduction des risques de casse protéique de BG sont beaucoup plus importantes.

II - RELATIONS ENTRE LES HAUTEURS DE LIES ET L'EFFICACITÉ CLARIFIANTE

Pour le vin étudié, l'efficacité clarifiante de l'argile est étroitement corrélée à la quantité de bentonite utilisée (MARCHAL *et al.*, 2002). Par ailleurs, les volumes de lies sont fortement corrélés à quantité de bentonite utilisée. Il n'est donc pas surprenant d'observer d'étroites corrélations entre l'efficacité clarifiante et la hauteur de lies (tableau II).

Pour la bentonite gonflée, les courbes exponentielles et les lois de puissance présentent des R^2 quasiment identiques et, là encore, supérieurs aux R^2 des droites. Un exemple de courbe est donné figure 3. Il correspond, pour les efficacités clarifiantes, aux turbidités enregistrées à la fin de la cinétique de clarification (85 h). Exprimons concrètement ce que traduit cette courbe :

$$y = 0,0415 \exp(0,0556x)$$

Avec y = volume de lies en %

$x = \text{efficacité clarifiante } \% = [1 - (\text{NTU}_{\text{finale}} / \text{NTU}_{\text{initiale}})] \times 100$

Cette équation peut aussi s'écrire sous la forme :

$y = a (\exp bx) = a (\exp b)^x = a B^x$

avec $a = 0,0415$ $b = 0,0556$ $B = \exp b = 1,0572$

Pour passer de 60 à 70 % d'efficacité clarifiante (par exemple), on passe de x à $(x + 10)$, et on augmente le volume de lies (y) d'un facteur $B_{10} = 1,744$

$y_x = a \cdot B^x$ $y_{x+10} = a \cdot B^{x+10} = a \cdot B^x \cdot B^{10}$
 $y_x = 1,168$ $y_{x+10} = 2,037$

Le rapport des volumes de lies vaut : $2,037/1,168 = 1,744$. Dans la pratique, quand on augmente l'efficacité clarifiante de 10 %, on génère 74 % de lies supplémentaires. Ces calculs restent valables, pour une équation donnée, quel que soit la valeur de x . On obtiendra toujours $y_{x+10} / y_x = 1,744$. A partir de l'équation, on peut faire le calcul de l'augmentation du volume

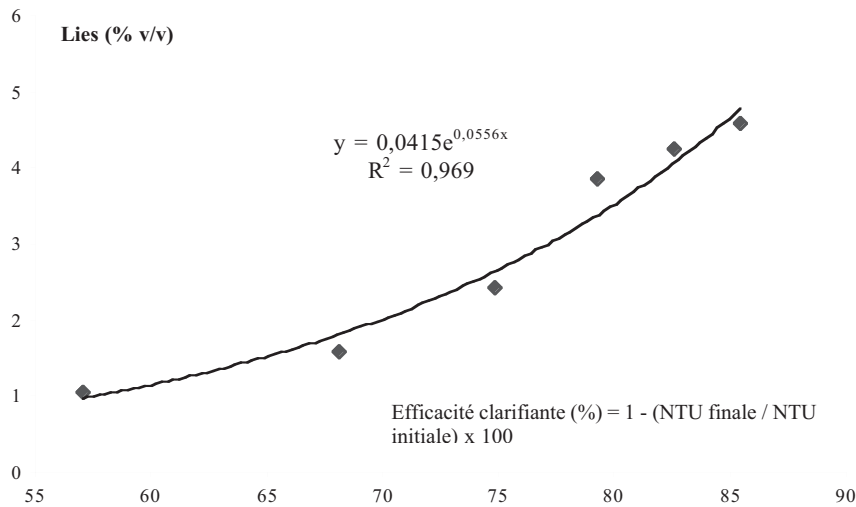


Fig. 3 - Relation entre la chute de turbidité (après 85 h) et les lies générées par un collage avec la bentonite gonflée (Sauvignon sec 2000, A.O.C. Touraine)

Relationship between the volume of lees and the decrease in turbidity after the fining of a Sauvignon white wine (Touraine 2000) with a swollen bentonite (measures made 85 hours after the treatment)

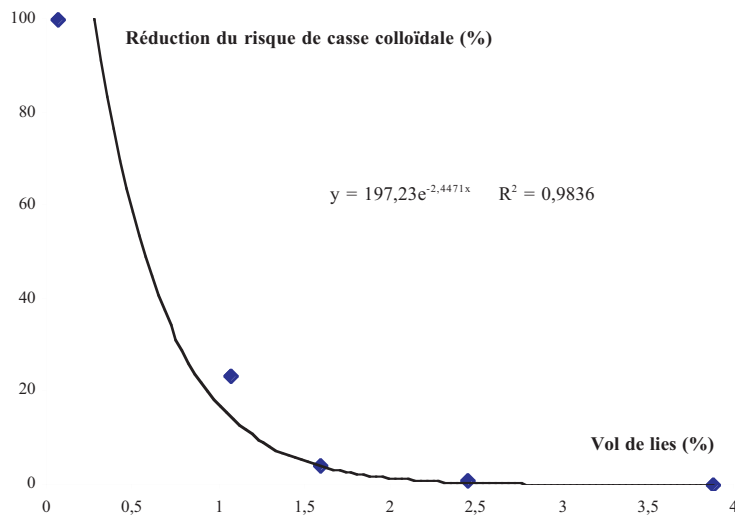


Fig. 4 - Représentation graphique de la relation exponentielle entre le volume de lies généré par un collage à la bentonite gonflée et la réduction du risque de casse colloïdale

Exponential relationship between the volume of lees and the decrease in colloidal haze risk after the fining of a Sauvignon white wine using a swollen bentonite

Tableau III - Relations entre les volumes de lies générées par un collage à la bentonite et la réduction du risque de casse colloïdale

Relationship between the decrease of colloidal haze risk and the volume of lees after finings using swollen and non swollen bentonite

	Courbe de tendance	Equations	
Bentonite non gonflée	Exponentielle	$y = 213,9 \exp(-5,838x)$	$R^2 = 0,960$
	Polynomiale ordre 2	$y = 189,49x^2 - 297,26x + 117,4$	$R^2 = 0,998$
Bentonite gonflée	Logarithmique	$y = -38,27 \ln(x) - 5,075$	$R^2 = 0,983$
	Exponentielle	$y = 197,23 \exp(-2,447x)$	$R^2 = 0,984$

x : volume de lies (%) ; y : risque de casse protéique par rapport au vin témoin (%)

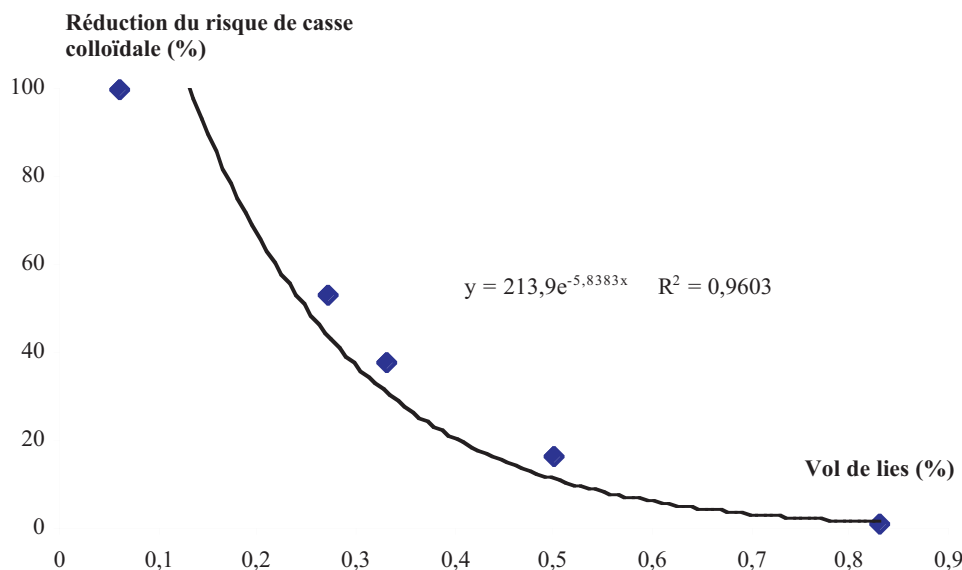


Fig. 5 - Représentation graphique de la relation exponentielle entre le volume de lies généré par un collage à la bentonite non gonflée et la réduction du risque de casse colloïdale

Exponential relationship between the volume of lees and the decrease in colloidal haze risk after the fining of a Sauvignon white wine using a non swollen bentonite

des lies pour n'importe quelle diminution du trouble (augmentation de limpidité).

Pour la bentonite non gonflée, les équations mathématiques reliant ces deux paramètres montrent des coefficients de corrélation compris entre 0,74 et 0,90 pour les lois de puissance et les droites. Dans le cadre de cette étude, les volumes de lies et l'efficacité clarifiante du collage semblent plus vraisemblablement corrélés par une loi exponentielle, avec des R^2 variant de 0,83 à 0,94 selon la durée de la cinétique.

Pour BG, après 65 h de clarification par exemple, on observe :

$$y_x = 0,041 \exp(0,062x) = a \exp(bx) = a (\exp b)^x = a B^x$$

avec $B = \exp 0,062 = 1,064$

$$y_{x+10} / y_x = (a B^x \cdot B^{10}) / a B^x = B^{10} = (1,064)^{10} = 1,86$$

Concrètement, quand l'efficacité clarifiante augmente de 10 %, le volume de lies augmente de 86 %. Cette valeur, particulièrement élevée, s'explique par le très faible pouvoir clarifiant de la bentonite non gonflée.

III - RELATIONS ENTRE LES HAUTEURS DE LIES ET LA RÉDUCTION DES RISQUES DE CASSE COLLOÏDALE

La réduction du risque de casse colloïdale suite à un collage à la bentonite (voir partie I) est, comme les volumes de lies, étroitement corrélée à la quantité d'argile utilisée. Il est donc logique d'observer d'étroites corrélations entre la réduction du risque de casse colloïdale et le volume (ou la hauteur) de lies (tableau III). Pour BS et BG, la courbe exponentielle traduit très correctement la relation existant entre ces deux paramètres, particulièrement centraux pour le vinificateur qui élabore un vin blanc.

Tableau IV - Évaluation du coût du collage (base 100 hl) avec une bentonite gonflée et une bentonite non gonflée
Estimation of the cost of a fining treatment (based on 100 hl) by using swollen and non swollen bentonite

Paramètres	Bentonite gonflée	Bentonite sèche
Quantité de bentonite	30 g/hl x 100 hl = 3 kg	60 g/hl x 100 hl = 6 kg
Prix de la bentonite	3 kg x 0,69 euros = 2,07 euros	6 kg x 0,69 euros = 4,14 euros
Augmentation de volume (litres)	0,6 l/hl x 100 hl = 60 litres	0,0625 l/hl x 100 hl = 6,25 litres
Gain dû à l'augmentation du volume vente en vrac	60 l x 1,07 euros = 64,2 euros	6,25 x 1,07 euros = 6,69 euros
Gain dû à l'augmentation du volume vente en bouteilles	60 l x 1,98 euros = 118,8 euros	6,25 x 1,98 euros = 12,37 euros
Lies	1,22 l/hl x 100hl = 122 litres	0,41 l/hl x 100 hl = 41 litres
Perte de vin - vente en vrac	122 x 1,07 euros = 130,5 euros	41 x 1,07 euros = 43,9 euros
Perte de vin - vente en bouteilles	122 x 1,98 euros = 241,6 euros	41 x 1,98 euros = 81,18 euros
Travail de cuverie (X) + surcroît de travail	(X) + 1,69 euros /100 hl	(X)

Tableau V - Estimation du prix (en euros) de revient global du collage à la bentonite avec commercialisation du vin en vrac ou en bouteilles

Estimation of the global cost of the fining treatment. Calculations are made for the wine sold in bottle or in bulk

		Volume de vin traité				
		100 hl	500 hl	1000 hl	5000 hl	10 000 hl
Vrac	BS	41,3	206	413	2 065	4 130
	BG	70	350	700	3 500	7 000
Gain en utilisant BS (vrac)	28,7	143,5	287	1 435	7 175	
Bouteille	BS	73	365	730	3 648	7 295
	BG	127	633	1 266	6 328	12 656
Gain en utilisant BS (bouteille)	53,6	268	536	2680	5361	

Pour la bentonite gonflée avant utilisation :

$$y_x = 197,23 \exp(-2,447x)$$

$$\text{avec } b = -2,447 \quad B = \exp(-2,447) = 8,655 \cdot 10^{-2}$$

$$y_{x+0,1} / y_x = (a B^x \cdot B^{0,1}) / a B^x = B^{0,1} = 0,783$$

Quand le volume de lies augmente de 0,1 % (v/v), le risque de casse colloïdale diminue de 22 % seulement (1 - 0,783). La représentation graphique de cette relation est donnée sur la figure 4.

Pour la bentonite non gonflée (figure 5), on observe, en appliquant le même raisonnement que précédemment :

$$y_x = 213,9 \exp(-5,838x) = a \exp(-bx) \\ = a (\exp b)^x = a B^x$$

$$\text{avec } b = -5,838 \quad B = \exp(-5,838) = 2,91 \cdot 10^{-3}$$

$$y_{x+0,1} / y_x = (a B^x \cdot B^{0,1}) / a B^x = B^{0,1} = 0,558$$

Cela signifie que quand le volume de lies augmente de 0,1 %, le risque de casse colloïdale diminue de 44 % (1 - 0,558). Pour une même augmentation de la perte de vin, le risque de casse protéique diminue deux fois plus avec la bentonite non gonflée qu'avec la bentonite gonflée.

ASPECTS ÉCONOMIQUES

En considérant les résultats de stabilisation colloïdale et les volumes de lies, il est possible de comparer le prix de revient d'un collage à la bentonite, avec un produit préalablement gonflé ou non (tableau IV). Les doses nécessaires pour une parfaite stabilisation colloïdale du vin de Sauvignon étudié étaient de 30g/hl pour BG et 60 g/hl pour BS. Les volumes de lies correspondant à ces traitements sont respectivement de 2,45 l/hl pour BG (à 30 g/hl) et 0,83 l/hl pour BS (à 60 g/hl) (figure 1). Toutefois, une étude réalisée en 2002 (soumise à publication) a montré que le pourcentage de lies (v/v) diminue lorsque la pression hydrostatique augmente. Ainsi, pour des cuves de 200 à 300 hl, les lies (%vol) sont de 50 à 60 % inférieures aux valeurs estimées en bouteilles. Pour BG à 30 g/hl et BS à 60 g/hl, nous considérerons donc des volumes de lies de 1,22 l/hl et 0,41 l/hl respectivement.

Par ailleurs, le prix de la bentonite est de 0,69 euro/kg. Deux valeurs seront retenues pour le vin de Touraine utilisé : 1,07 euro/l, si le vin est vendu en vrac et 1,98 euro/l si le vin est vendu en bouteilles.

En travaillant avec une suspension de bentonite à 50 g/l, on introduit, dans 1 hl de vin, 0,6 litre de pro-

duit pour un traitement à 30 g/hl. Pour un traitement à 60 g/hl de BS, on introduit 58 ml d'argile sèche pour 1 hl de vin (la masse volumique de l'argile utilisée est de 0,96 g/ml). Cette valeur, bien que très faible, sera intégrée au calcul pour rester aussi précis que possible (elle pourrait aussi être négligée sans conséquence notable). Il faut également prendre en considération le supplément de travail (estimé à 15 %) lorsqu'on colle avec une bentonite gonflée par rapport à l'emploi d'une bentonite sèche. Cette donnée est très variable en fonction du volume des cuves à coller notamment et du débit de pompage. Ce surcroît de travail est estimé à 1,69 euro/100 hl (+2 heures pour le collage avec BG de 6 cuves de 300 hl). Les détails des différents calculs sont reportés tableau IV. Le prix de l'eau nécessaire au gonflement de la bentonite est tout à fait négligeable et ne sera pas intégré dans les calculs.

En intégrant l'ensemble des paramètres économiques intervenant dans le collage (gain ou perte), nous calculerons le prix de revient global pour un volume de vin à traiter de 100 hl.

Par exemple, pour un collage avec BG et une vente en vrac, on obtient :

- Prix de la bentonite : 2,07 euros Dépense : -
- Augmentation de volume : 64,2 euros Gain : +
- Lies (perte de vin) : 130,5 euros Dépense : -
- Temps supplémentaire (/BS) : 1,69 euro Dépense : -

Pour 100 hl de vin collés avec BG, le coût global est de :

$$-2,07 + 64,2 - 130,5 - 1,69 = \mathbf{-70 \text{ euros.}}$$

Pour 100 hl collés avec BS et vendus en vrac, on obtient une valeur de :

$$-4,14 + 6,69 - 43,9 = \mathbf{-41,3 \text{ euros.}}$$

En traitant 100 hl avec BS, on gagnera **28,7 euros**, par rapport à un collage avec BG (vente en vrac). En traitant 100 hl avec BS, on gagnera **53,6 euros** par rapport à un collage avec BG, si le vin est vendu en bouteilles. Les gains correspondant aux différences de prix de revient entre BS et BG sont reportés dans le tableau V, pour des volumes de 100 à 10 000 hl. Les calculs sont faits, dans chacun des cas, pour une vente du vin en vrac ou en bouteille.

CONCLUSION

La deuxième partie de cette étude a montré que les volumes de lies générées par un collage avec une ben-

tonite non gonflée sont fortement inférieurs aux volumes que génère un collage avec une bentonite préalablement gonflée. Aussi, pour BS comme pour BG, les doses de bentonite utilisées et les volumes de lies sont corrélées par une loi de puissance dont l'exposant varie avec le mode d'utilisation de l'argile. Enfin, les essais ont montré que les volumes de lies sont également corrélés de manière mathématique avec la chute de turbidité d'une part, mais aussi avec la réduction du risque de casse colloïdale occasionnée par le collage d'autre part.

Concernant les aspects économiques, les prix de revient montrent que la bentonite sèche est plus intéressante que la bentonite gonflée, bien que la dose à utiliser soit deux fois supérieure. Toutefois, les vins collés avec BS présentent des turbidités plus élevées qu'avec BG, si on ne dispose pas de suffisamment de temps. Cela occasionnera donc des filtrations plus longues et plus difficiles (paramètre non chiffré économiquement en raison du manque de données).

La suite de ce travail concernera l'influence des collages à la bentonite sur les propriétés organoleptiques des vins, ainsi que sur la filtrabilité après collage. Il sera aussi nécessaire de réaliser des essais en grands volumes afin de connaître les différences exactes de volumes de lies et de recalculer le coût économique de façon plus précise. D'autres collages avec BS et BG doivent également être menés avec des vins blancs provenant d'autres régions et élaborés à partir de cépages différents pour savoir si ces premières observations sont généralisables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HSU J.C. et HEATHERBELL D.A., 1987. Heat-unstable proteins in wine. I. Characterization and removal by bentonite fining and heat treatment. *Am. J. Enol. Vitic.*, **38**, 11-16.
- LEDOUX, V., DULAU L. et DUBOURDIEU D., 1992. Interprétation de l'amélioration de la stabilité protéique des vins au cours de l'élevage sur lies. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **26**, 239-251.
- MARCHAL R., BARRET J. et MAUJEAN A., 1995. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques d'une bentonite et son pouvoir d'adsorption. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **29**, 27-42.
- MARCHAL R., WEINGARTNER S, VOISIN C, JEANDET P et CHATELAIN F., 2002. Utilisation de modèles mathématiques pour optimiser les doses de bentonite gonflée et non gonflée lors du collage des vins blancs. Partie I : clarification et stabilisation colloïdale. *J. Int. Sci. Vigne Vin*,

Manuscrit reçu le 20 décembre 2002 ; accepté pour publication le 28 mars 2003