

# Les phénomènes colloïdaux et l'intérêt des lies dans l'élevage des vins rouges : une nouvelle approche technologique et méthodologique.

## I<sup>ère</sup> partie : Méthodes traditionnelles d'élevage sur lies destinées aux vins en fûts

VIVAS N.<sup>(1)</sup>, VIVAS DE GAULEJAC Nathalie<sup>(1)</sup>, NONIER Marie-Françoise<sup>(1)</sup>, NEDJMA M.<sup>(2)</sup>

(1)Tonnellerie Demptos détaché au CESAMO (Centre d'Etude Structurale et d'Analyse des Molécules Organiques), Université Bordeaux I 351, cours de la Libération, 33405 Talence.

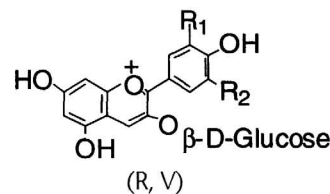
(2) Pascal Biotech, 68 bis boulevard Pereire, 75017 Paris.

L'élevage des vins rouges reste une étape fondamentale, conditionnant la qualité finale du vin au travers de la révélation de son potentiel et de sa stabilité dans le temps. L'importance du sujet a généré depuis de nombreuses années quantité de travaux ouvrant un vaste champ de recherches orienté sur les aspects moléculaires et la physico-chimie des oxydoréductions.

Sur un siècle de travaux œnologiques dans le domaine de l'élevage des vins rouges, nous pouvons mettre en exergue l'aspect oxydoréduction, qui représente le mot clé à l'origine de l'essentiel des recherches entamées. Mais historiquement la démarche a été chaotique, marquée par de nombreux retours en arrière ; la difficulté du problème en est la principale raison.

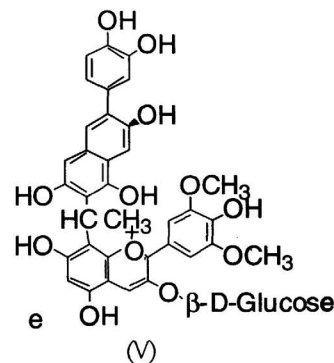
D'abord, Pasteur (1866)(1) a constaté les effets pervers de l'oxygène et les dégâts causés par des traitements oxydants principalement sur la couleur et la formation de dépôts dans des vins placés en flacons de verre scellés. Puis Geloso (1931)(2) et Ribéreau-Gayon, J. (1933)(3) se sont penchés sur l'aspect physico-chimique, constatant l'importance des dégâts dans les chais : couleur évoluant prématurément, vins éventés, matière colorante instable. En employant les méthodes polarographiques les plus modernes du moment, ils ont débroussaillé le sujet. C'est au deuxième auteur que l'on doit la synthèse la plus remarquable publiée sous le titre "Les oxydations et les réductions dans les vins. Application à l'étude du vieillissement et des casses". Les acquis les plus novateurs sont d'une part le rôle catalytique des métaux, principalement fer et cuivre et d'autre part, la formation de molécules au pouvoir oxydant supérieur à l'oxygène moléculaire, appelées bien plus tard peroxydes. Malgré le champ d'investigation ouvert et les routes tracées, aucun travail d'envergure n'a suivi et l'essentiel des efforts s'est concentré sur les conséquences de l'oxydation plutôt que sur ses causes et ses mécanismes. L'ère du global était ouverte. D'abord sur le plan qualitatif, avec le suivi de la couleur de solutions modèles et de vins par l'emploi de différentes longueurs d'onde (D.O. 420 nm et D.O. 520 nm respectivement pour le jaune et le rouge, Ribéreau-Gayon (4) puis D.O. 620 nm pour le mauve, Glories (5)). Pour mieux comprendre l'impact de ces réactions sur les composés phénoliques, de nombreux auteurs ont développé des indices globaux (6, 7, 8, 9). Mais tout cela n'a permis que de montrer le rôle prépondérant de l'éthanal, issu de l'oxydation couplée de l'éthanol et des phénols (10), la formation de combinaisons colorées stables et l'augmentation du degré de polymérisation des proanthocyanidols. L'orientation moléculaire a nécessité plus de temps, en particulier à la faveur de l'essor des méthodes spectroscopiques (RMN, SM). Une des premières tentatives a été engagée par

Dournel (1985)(11), qui montra la formation de liaisons éthyliques entre deux flavanols ((+)-catéchine), l'une des briques élémentaires de la structure des proanthocyanidols (tanins) du raisin et du vin. La structure du produit a été établie en 1997 (12) et les aspects cinétiques de sa formation ont été précisés par Fulcrand et al. (13). Cette découverte est de premier ordre, puisque elle est à l'origine de l'interprétation du changement des proanthocyanidols pendant l'élevage, différenciant ainsi tanins de raisin et tanins de vin (figure 1a et 1b page suivante).

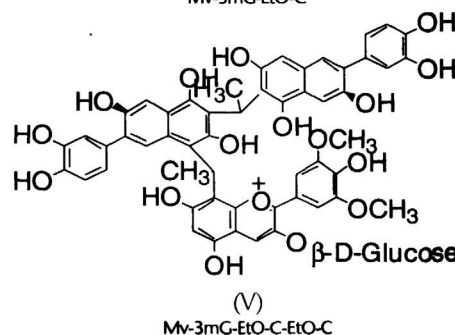


Anthocyanes-3-monoglucoside de pellicules de raisin *Vitis vinifera* L.  
 ex : en milieu acide forme oxonium A\* (rouge)

R1 = R2 = OCH<sub>3</sub> : Malvidine-3mG (50 à 80 % des anthocyanes du raisin)



Mv-3mG-EtO-C



Mv-3mG-EtO-C-EtO-C

Figure 1/a- Structure des anthocyanes et des formes éthyliques des combinaisons du raisin (R) et du vin (V).

R1= OH, R2= H, R3= H : Catéchine ; R3= OH : Gallocatéchine  
 R1= H, R2= OH : Epicatechine ; R3= OH : Epigallocatechine

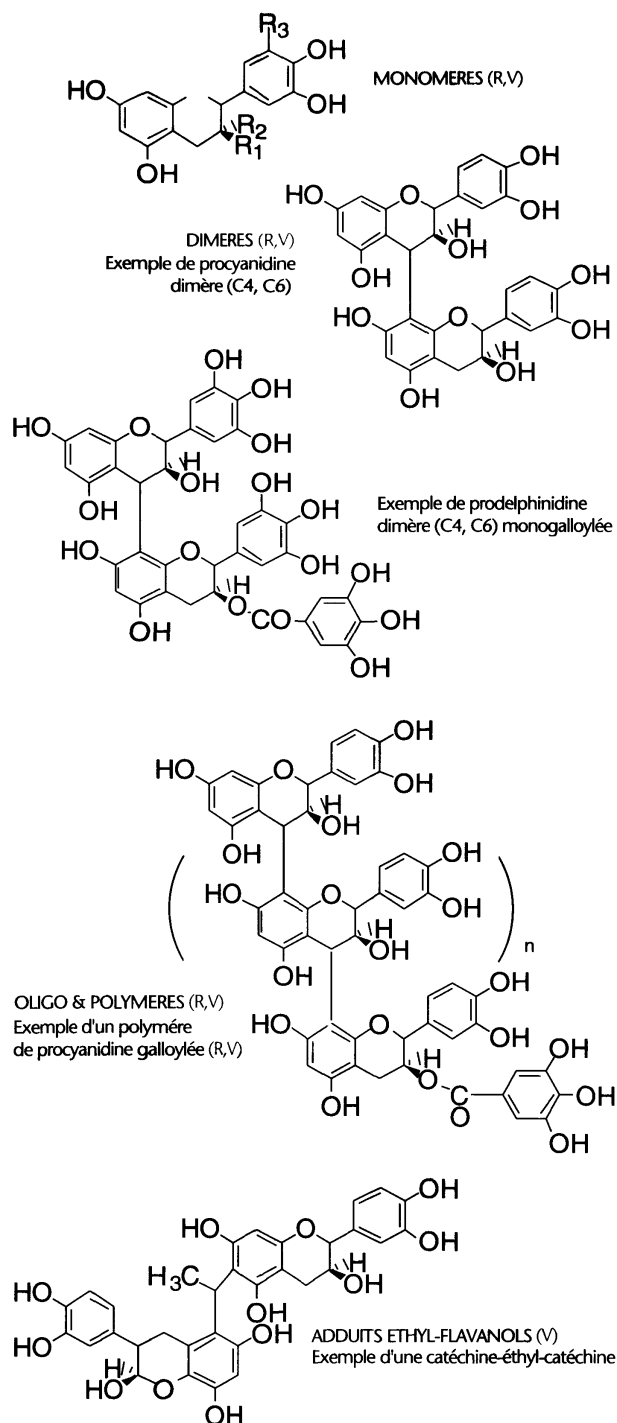


Figure 1/b- Structure des flavanols et des proanthocyanidines du raisin (R) et du vin (V)

*En suivant la même démarche les formes stables de la matière colorante ont été attribuées à des formes éthyls-flavanols (catéchines) et anthocyanidines (14). Parallèlement à ces travaux d'importance, les conditions et les facteurs d'oxydation ont été mieux compris (15). Mais l'explication des voies d'oxydoréduction n'est pas encore complète. Une part non négligeable des connaissances sur le sujet est toujours parcellaire. L'ensemble des données modernes sur le thème est cependant regroupé dans un ouvrage de synthèse (16).*

*Aujourd'hui, nous devons poindre un nouveau concept en relation avec les aspects colloïdaux des vins. Nos premières investigations ont souligné le rôle clé de la fraction protéique dans l'évolution globale des vins (17). Il est vrai*

*que la stabilité de la matière colorante et la formation d'un dépôt tannique dépendent pour une part de l'importance de la fraction macromoléculaire (protéines, polysaccharides). Dans la même orientation, la perception des caractères d'astringence et des sensations de rondeur est largement influencée par ces produits ; sans que l'on en ait précisément estimé l'impact et déterminé leur seuil réel d'activité. On peut définir ce seuil comme le niveau de concentration à partir duquel, par exemple, un polysaccharide peut modifier significativement l'impression tannique d'un vin, déterminée soit par méthodes physiques soit par dégustation. Nous verrons plus loin que des méthodes existent pour chiffrer objectivement l'influence de ce type de colloïdes. Un autre aspect, qui reste largement à étudier, est en relation avec la participation des protéines, polypeptides et acides aminés dans les réactions d'oxydation en cours d'élevage. Des expérimentations conduites depuis peu d'années avec des lies, nous ont amenés à soulever de nombreuses interrogations.*

*La conservation prolongée des vins rouges sur lies de levures reste une pratique qui a été abandonnée dans un bon nombre de vignobles depuis les années 60, à la faveur de la généralisation des fermentations malolactiques après la fermentation alcoolique. L'intérêt était double ; il s'agissait alors pour l'essentiel de favoriser une clarification précoce des vins et de limiter l'apparition de faux goûts et de notes de réduction. Cependant, en Bourgogne, la pratique reste largement d'actualité. Aujourd'hui, la généralisation des fermentations malolactiques en barriques a de nouveau posé le problème de l'élevage sur lies. Les différentes expérimentations pratiquées en Bordelais ont montré, dans une majorité des cas, que la méthode conduit à l'amélioration sensible des vins. On retrouve parmi les commentaires les plus fréquemment rapportés, une allusion à la rondeur, au gras et même un début d'affinage des vins. Peu de travaux ont cependant porté sur les mécanismes à l'origine de l'interprétation des observations. Quelques expérimentations ont permis de confirmer objectivement les avantages de cette méthode de travail (18). Dans les vins rouges l'action des lies se limite principalement à l'apport de polysaccharides solubles (19) et intervient au niveau du potentiel redox (20). Dans la littérature on trouve quelques données sur les relations entre biomasse levurienne en phase autolytique et phénomènes d'oxydoréduction ; mais ces travaux sont souvent conduits en milieu modèle et ont été obtenus pour le cas des bières (10,21). Récemment il a été observé une relation étroite entre l'intensité des caractères fruités de l'arôme des vins et la présence des lies (22). D'autre part, Fornaïron et al. (1999)(23) ont souligné la participation des lies dans la consommation d'oxygène des vins ; ce qui semble suggérer un phénomène de compétition dans l'investissement de l'oxygène soit vers des réactions biochimiques soit vers des réactions purement chimiques.*

## 1 Premières observations

### 1.1- Relation entre l'évolution de la couleur des vins et l'apparition d'odeurs d'oxydation

Un des premiers faits importants, nous ayant permis d'orienter nos travaux, est la relation quasi générale entre les caractères d'oxydation et la coloration des vins. Nous avons été conduits à constater très fréquemment que, lorsqu'un vin présentait un nez d'oxydation - oranges confites, pruneaux à l'eau de vie, confiture très cuite, pour les oxydations limitées jusqu'au rancio, pomme, pour les oxydations les plus graves - sa couleur était aussi évoluée avec des nuances bien connues d'orange ou de brun. Nous confirmons cette observation sur une série de 35 échantillons de vins rouges dont seuls ceux qui ont des caractères olfactifs d'oxydation plus ou moins marqués, possèdent en outre une teinte élevée, supérieure à 0.9 (figure 2).

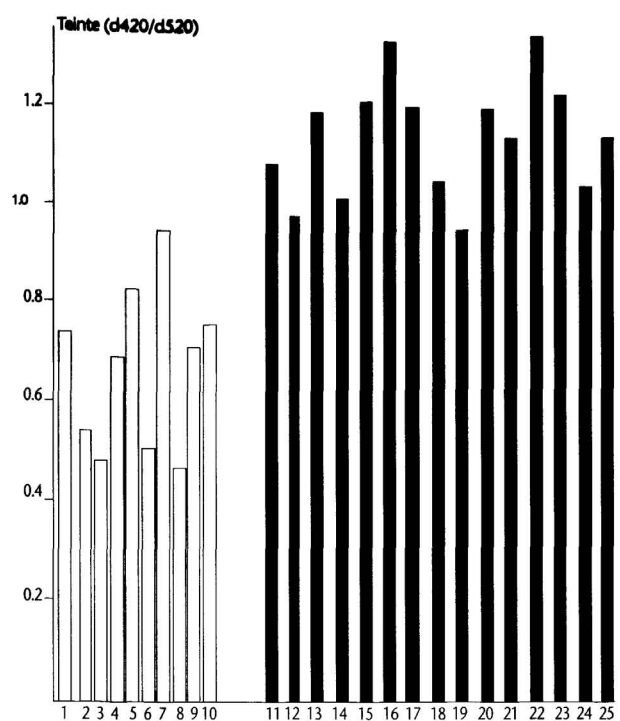


Figure 2- Mesure de la teinte de plusieurs échantillons de vins rouges en bouteilles, les histogrammes blancs correspondent à des vins corrects, les noirs à des vins marqués par des odeurs d'oxydation.

Dans une autre expérience pratiquée sur différents millésimes de deux crus du Bordelais, nous observons que les notes d'oxydation et d'évolution des vins vieux apparaissent en même temps que l'élévation de la teinte (figure 3). Ces remarques sont importantes car elles supposent l'existence de relations entre l'évolution simultanée de la couleur des vins et son arôme en conditions oxydatives.

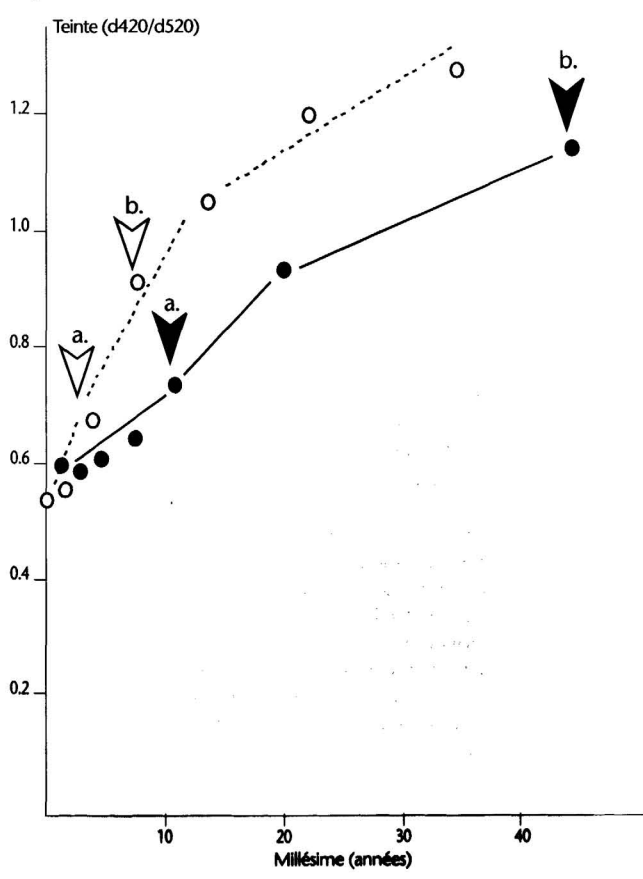


Figure 3- Evolution de la teinte sur différents millésimes de deux crus (a : arômes d'évolutions ; b : défauts d'oxydation). En rond plein un vin à évolution normale, en rond vide un vin à évolution rapide et vieillissement prématuré.

Les premiers travaux réalisés sur le sujet et publiés par ailleurs (17), ont conduit à montrer le rôle des protéines dans la vitesse d'évolution des vins. On peut résumer ces acquis préliminaires comme suit : Les premiers résultats obtenus sur l'impact des lies dans les vins rouges soulignent un bon nombre de questions. En revanche, il est bien établi que le rôle antioxydant des lies semble être l'une de leurs principales propriétés. L'enrichissement des vins rouges en autolysats de levures, leur assure de meilleures conditions d'évolution ; en particulier, en ralentissant les processus oxydatifs, la stabilité dans le temps étant significativement améliorée. D'autre part, le maintien prolongé sur lies fines constitue un moyen efficace pour préserver la fraction fruitée des vins.

**1.2- Relation entre le contact avec des sources de macromolécules solubles et les caractères gustatifs des vins**

Dans cette série d'expériences notre objectif est de montrer l'influence d'un enrichissement en polysaccharides sur l'astringence des vins jugés par dégustation. Pour cela nous suppléons un vin de l'année de Merlot noir en écorces de levures et en macromolécules précipitables à l'éthanol issues d'un milieu synthétique de culture de *Saccharomyces cerevisiae*. Au début de l'essai et après 3 mois, nous réalisons des analyses de composés phénoliques et des dégustations ; les résultats correspondants étant rassemblés tableau 1.

Tableau 1- Incidence d'un ajout d'écorces de levures, de copeaux de chêne et de macromolécules précipitables à l'éthanol (MPE) sur la composition et la qualité gustative d'un vin rouge jeune de Merlot noir

	Témoin		Traitement*			
	0	90 j	Ecorces de levures		MPE**	
	0	90 j	0	90 j	0	90 j
<b>1. Analyses générales</b>						
TAV (% vol.)	12.2	12.2	12.2	12.1	12.2	12.2
pH	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7
Acidité volatile (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L)	0.42	0.42	0.42	0.41	0.42	0.41
<b>2. Analyses des composés phénoliques et des polysaccharides</b>						
Phénols totaux (indice)	50	48	50	51	52	49
Proanthocyanidols (g/L)	3.2	2.5	3.2	3.0	3.2	2.8
Anthocyanes (g/L)	0.62	0.57	0.62	0.55	0.62	0.52
Polysaccharides neutres (g/L)	0.46	0.42	0.46	0.63	0.82	0.72
<b>3. Etat des tanins et de la matière colorante</b>						
Degré de polymérisation (Dp, indice)***	210	180	214	175	208	178
Combinaisons tanins-anthocyanes (Ca, %)	28	35	30	37	29	39
Réactivité des tanins sur la BSA (Rs, NTU)	37	32	41	28	30	22
<b>4. Dégustation</b>						
Note générale de dégustation (N/10)	6a****	5a	6a	7b	7b	8c
Intensité de l'astringence (N/10)	7a	8b	7a	5b	5b	3c
Intensité du caractère de rondeur (N/10)	4a	4a	4a	6b	6b	6b

\* Traitement à la dose de 200 mg/l sauf pour MPE ajouté à la dose de 50 mg/l ; \*\* MPE : Macromolécules précipitables à l'éthanol ; \*\*\* Mesuré en utilisant un aldéhyde spécifique le Diméthylaminocinnalaldéhyde ; \*\*\*\* les lettres identiques correspondent à des résultats qui ne sont pas statistiquement différents au seuil de confiance de 5 %.

Les résultats analytiques classiques (alcool, pH, acidité volatile) varient assez peu en fonction du traitement pratiqué. Les différences les plus marquantes sont décrites ci-dessous :

- L'enrichissement en polysaccharides des échantillons traités après 90 jours est respectivement de 170 mg/L pour l'ajout d'écorces de levures, et 260 mg/L pour l'ajout de MPE (macromolécules précipitables à l'éthanol).
- L'état des tanins et de la matière colorante subit des modifications plus limitées. Les seules variations appréciables concernent la réactivité des tanins Rs à l'égard d'une protéine standard la BSA. On note que, proportionnellement à l'apport en polysaccharides solubles induit par les divers traitements, la valeur de Rs diminue, indiquant une modification de la sensation d'astringence des tanins du vin.
- En dégustation, par rapport au témoin, les vins traités par des écorces de levures et par MPE sont globalement mieux jugés, principalement grâce à l'amélioration du caractère de rondeur et la diminution de l'astringence.

Les résultats ne sont pas systématiquement aussi nets et les apports permis par des sources diverses de macromolécules solubles dépendent d'un bon nombre de paramètres. Nous avons retenu, pour illustrer notre propos, un exemple réussi. Dans la seconde partie de ce travail nous montrerons la variabilité des résultats et les conditions favorables de leur obtention.

### 1.3- Considérations générales

Sur les premières expériences réalisées on perçoit assez clairement l'intérêt de la valorisation des sources de macromolécules solubles dans les vins rouges (18, 17). Pour les blancs le sujet a très largement été traité (24, 25, 26). Schématiquement nous pouvons distinguer :

- L'apport de protéines, de polypeptides et d'acides aminés, lors de l'élevage sur lies ou de l'ajout d'autolysats de levures. Ces molécules au fort pouvoir réducteur constituent un groupe d'antioxydants compétitifs, capables de limiter les effets pervers des oxydations et en particulier, préserver l'arôme variétal des vins.
- L'apport de polysaccharides au vin permet d'améliorer, de façon non systématique, les caractères gustatifs des vins. L'interprétation du rôle de ces composés sur les sensations de rondeur et de gras reste à ce jour peu satisfaisante. On observe néanmoins qu'un ajout en quantité suffisante de certains polysaccharides participe lors de la dégustation à la diminution de l'astringence des vins. Mais d'autres polysaccharides, comme ceux du raisin, accentuent les impressions d'acidité et de dureté des tanins.

Ces deux types de composants participent, aux cotés des mécanismes oxydatifs, à la stabilisation, l'expression et l'amélioration globale de la qualité des vins au cours de l'élevage.

## 2 Applications technologiques

Le maintien prolongé des vins rouges, en cours d'élevage, sur biomasse levurienne en conditions autolytiques, représente une opération assez peu répandue de valorisation du potentiel qualitatif des lies. Généralement, les soutirages, en particulier les premiers, assurent une élimination soignée du trouble déposé au fond des barriques et limitent donc la durée du contact lie/vin. Il est bien admis aujourd'hui que les lies fines sont un élément qualitatif dont le vin peut bénéficier.

En réalité les méthodes secondaires que nous présenterons à la suite, ne sont qu'une façon indirecte d'utiliser de manière plus rigoureuse et dosée, l'effet soit d'un apport de polysaccharides (écorces de levures, gomme arabique) soit d'un apport associé de polysaccharides et matière azotée (mélange total de levures mortes). Quel que soit le traitement choisi, il procède toujours de la même démarche : la valorisation des constituants macro-

moléculaires solubles des lies. Nous avons présenté dans les observations préliminaires l'importance de ce groupe de constituants tant sur la qualité des vins que sur leur évolution dans le temps.

Il existe des indices permettant de mesurer l'efficacité de l'apport des lies aux vins. Mais même si dans les conditions expérimentales du laboratoire les résultats sont probants, en revanche au niveau de la pratique ils sont sujets à de fortes variations.

### 2.1- Etude dans des conditions modèles de l'autolyse des levures

Dans un jus de raisin, centrifugé, on réalise en bouteilles des fermentations avec une souche industrielle. Après la fin des fermentations les échantillons sont soutirés puis conservés en présence uniquement des lies fines (SO<sub>2</sub>, 30 mg/l de libre, température 25°C). Au cours du temps on suit les levures viables et totales, l'activité  $\beta$ -glucanase exocellulaire, l'azote total, les acides aminés et les polysaccharides neutres solubles (figure 4).

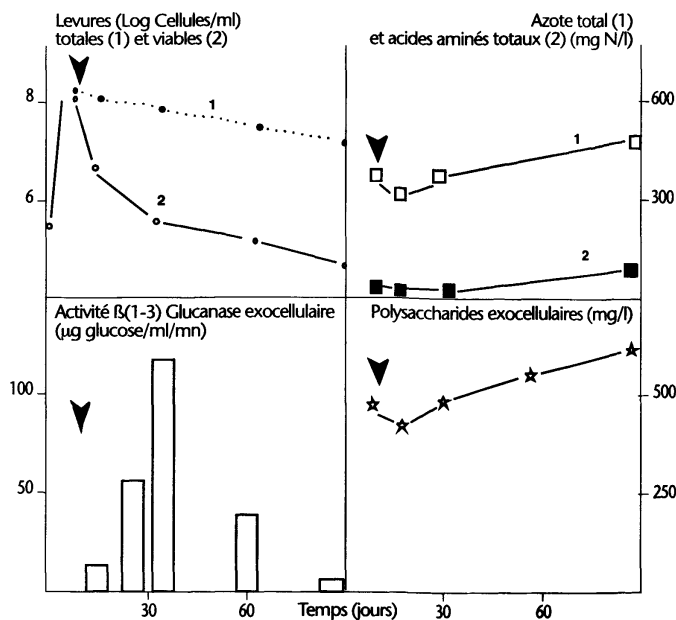


Figure 4- Incidence du temps de conservation sur les populations de levures *Saccharomyces cerevisiae*, sur l'activité  $\beta$ -glucanase, sur l'azote total, les acides aminés et les polysaccharides d'un moût de raisin blanc. (La flèche indique la fin de la fermentation alcoolique, l'ensemencement a été réalisé avec Fermol 1<sup>er</sup> cru).

On note une diminution rapide de la viabilité des levures. A la chute maximum des levures viables correspond l'accumulation d'activités glucanases dans le milieu permettant l'extraction et la libération à partir des parois de levures de polysaccharides neutres. En outre le processus autolytique permet l'accumulation de composés azotés. Sur un plan cinétique, on observe que la libération dans le milieu des constituants levuriens est élevée pendant les 2 à 3 premiers mois, au delà les résultats n'évoluent que très lentement. Sur des suspensions hydroalcooliques de levures en phase de déclin, nous avons noté que l'augmentation du pH, la température et l'agitation du milieu représentent les principaux facteurs favorisant le processus autolytique. Sur le plan théorique il semble donc intéressant de pratiquer tôt l'élevage sur lies pour enregistrer les meilleurs résultats.

### 2.2- Etudes dans les conditions de la pratique d'élevage

Sur une cuve de Merlot noir après fin des fermentations malolactiques provoquées par ensemencement, les lies sont remises en suspension par brassage à l'azote. Après 6 heures on collecte le jus trouble mis en barriques (3 barriques notées L0). Un témoin est entonné avant l'opération de brassage de la cuve (3 barriques notées T). Le témoin et l'essai contiennent respec-

tivement : 0.8 g/l de lies sèches et 120 NTU, 2.7 g/l de lies sèches et 370 NTU. Afin d'améliorer la libération du contenu levurien 3 bâtonnages par semaine sont pratiqués sur toutes les barriques. La durée totale de l'expérience est de 3 mois. Les résultats moyens sont rassemblés tableau 2.

**Tableau 2-** Incidence de la conduite d'un élevage en barriques sur lies fines de vin rouge jeune de Merlot noir sur sa composition et sa qualité. En particulier sur les composés phénoliques (analyses pratiquées après 3 mois d'élevage)

	Modalités	
	Témoin T	L0*
<b>1. Analyses générales</b>		
TAV (% vol.)	12.8	12.8
pH	3.7	3.7
Acidité volatile (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L)	0.46	0.47
SO <sub>2</sub> libre (mg/L)	17	13
<b>2. Couleur des vins</b>		
d420 (%)	40	40
d520 (%)	47	47
d620 (%)	13	13
<b>3. Analyses des composés phénoliques</b>		
Phénols totaux (indice)	62	63
Proanthocyanidols (g/L)	3.4	3.4
Anthocyanes (g/L)	0.67	0.65
<b>4. Dosage des macromolécules</b>		
Polysaccharides neutres (g/L)	0.9	1.2
Polysaccharides acides (g/L)	0.72	0.70
Protéines (g/L)	2.1	2.8
<b>4. Etat des tanins</b>		
Degré de polymérisation (Dp, indice)**	164	162
Combinaisons tanins-anthocyanes (Ca, %)	17	22
Réactivité des tanins sur la BSA (Rs, NTU)	65	52
<b>5. Dégustation</b>		
Somme des rangs (n= 19)	49a***	40a

\* Vins en barriques avec lies

\*\* , \*\*\* cf. tableau 1 pour les légendes

Globalement peu de différences sont enregistrées par rapport au témoin. Les résultats les plus appréciables concernent les macromolécules, les vins L0 sont un peu plus riches en polysaccharides neutres et en protéines, principalement d'origine levurienne. L'influence des macromolécules se répercute sur la réactivité des tanins du vin à l'égard de la BSA (Rs) ; la valeur de l'indice passe de 65 pour T, à 52 pour L0. Sur une série de 17 essais conduite dans diverses régions on observe des améliorations qualitatives jugées par dégustation dans 67 % des cas, dans 24 % des cas il n'y a pas de différence et pour 9 % des cas le témoin est préféré.

### 2.3- Influences simultanées de la fermentation malolactique et de l'élevage sur lies

Parmi toutes les pratiques favorisant un meilleur fondu du boisé et une amélioration sensible des qualités gustatives des vins, la fermentation malolactique en barriques (Bfm) est un choix de premier plan.

Cependant on voit souvent le jumelage de ce mode de travail du vin avec l'élevage sur lies avec ou sans enzyme (Bfm + L0). Mais très fréquemment les résultats obtenus par rapport à un témoin qui ne subit que l'étape de la fermentation malolactique en barriques (Bfm), les gains enregistrés sont modestes et les résultats décevants. Sur une série de 15 essais de cette nature, seulement 7 % ont donné des résultats supérieurs pour les modalités Bfm+LE par rapport à Bfm. Il est donc recommandé de choisir l'une ou l'autre de ces pratiques.

### Remerciements

Nous remercions la société SPINDAL pour la fourniture des produits de traitements nécessaires aux diverses expérimentations.

### CONCLUSION

**Les phénomènes autolytiques dont les lies de levures sont le siège, présentent pour les vins, un apport qualitatif intéressant. Il s'agit principalement de macromolécules participant à l'amélioration gustative de la sensation de tannicité et du caractère de rondeur. Mais la fraction azotée, par son action sur les réactions d'oxydoréductions, présente des propriétés particulièrement avantageuses, pour protéger les vins en cours d'élevage oxydatif des effets non souhaités de l'oxygène. Cet aspect méritera des développements spécifiques, dont l'acquisition est en cours dans notre laboratoire.**

**Cependant si pour de petits volumes, pour des élevages en barriques, les lies expriment de façon satisfaisante leurs propriétés de cessions ; en revanche pour des volumes plus importants et pour des étapes courtes d'élevages, les lies seules sont souvent limitées. La deuxième partie du travail se propose de répondre à ce nouveau niveau de contrainte (dans notre prochain numéro).**

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) PASTEUR L. 1866. Etudes sur le vin. 1<sup>o</sup> édition, Librairie Savy, F., Paris.
- (2) GELOSO J. 1931. Relation entre le vieillissement des vins et leur potentiel d'oxydoreduction. Ann. Brassier. Dist., 29, 177-193.
- (3) RIBEREAU-GAYON J. 1933. Contribution à l'étude des oxydations et des réductions dans les vins. Application à l'étude du vieillissement et des casses. Delmas (ed.), Bordeaux.
- (4) RIBEREAU-GAYON P. 1973. Interprétation chimique de la couleur des vins rouges. Vitis, 12, 119-142.
- (5) GLORIES Y. 1984. La couleur des vins rouges. II mesure, origine et interprétation. Connaissance Vigne et Vin, 18, 253-271.
- (6) SOMERS T.C., EVANS M.E. 1977. Spectral evaluation of young red wines : anthocyanin equilibria, total phenolics, free and molecular SO<sub>2</sub>, Chemical age. J. Sci. Food Agric., 28, 279-287.
- (7) GLORIES Y. 1978. Recherches sur la matière colorante des vins rouges. Thèse doct. ès sciences, Université de Bordeaux.
- (8) PONTALLIER P. 1981. Recherches sur les conditions d'élevage des vins rouges. Rôle des phénomènes oxydatifs. Thèse docteur-ingénieur, Université de Bordeaux II.
- (9) VIVAS N.; GLORIES Y.; LAGUNE L.; SAUCIER C.; AUGUSTIN M. 1994B. Estimation du degré de polymérisation des procyanidines du raisin et du vin par la méthode au p-diméthylaminocinnamaldehyde. J. Int. Sc. Vigne Vin, 28, 319-336.
- (10) CHAPON L.; CHAPON S. 1977. Mécanismes d'oxydation des bières. Comportement des substances réductrices. EBC, Amsterdam, pp. 341-354.
- (11) DOURNEL J.M. 1985. Recherches sur les combinaisons anthocyanes-flavanols. Influence de ces réactions sur la couleur des vins rouges. Thèse doct. 3<sup>o</sup> cycle, Université de Bordeaux II
- (12) SAUCIER C., GUERRA C., PIANET I., LAGUERRE M., GLORIES, Y. 1997. Study of (+)-catechin-acetaldehyde condensed products in relation to ageing. Phytochem., 46, 229-234.
- (13) FULCRAND H., DOCO T., ES-SAFI N., CHEYNIER V., MOUTOUNET M. 1996. Study of the acetaldehyde induced polymerisation of flavan-3-ols by liquid chromatography-ion spray mass spectrometry. J. Chromatogr., 752, 85-91.
- (14) GUERRA C. 1997. Recherches sur les interactions anthocyanes-flavanols : Application à l'interprétation chimique de la couleur des vins rouges. Thèse Université Bordeaux II.

(15) **VIVAS N. 1997.** Recherches sur la qualité du chène Français de tonnellerie (*Q. petraea* Liebl., *Q. robur* L.) et sur les mécanismes d'oxydoréduction des vins rouges au cours de leur élevage en barriques. Thèse Doctorat Université Bordeaux II, 2 tomes, 250 p.

(16) **VIVAS N. 1999.** Les oxydations et les réductions dans les moûts et les vins. Feret Ed., Bordeaux, 164p.

(17) **VIVAS N., SAINT-CRICQ DE GAULEJAC N. 2000.** L'enjeu œnologique de l'élevage sur lies des vins rouges. II- Propriétés et modes de valorisation des lies. In "Actes du colloque des sciences et techniques de la tonnellerie", Tome V, N. Vivas (ed.), Vigne et Vin Publications Internationale, Bordeaux, 43-45.

(18) **DUCRUET J., VIVAS N., GLORIES Y. 1998.** Elevage sur lies des vins rouges : le point sur la question. In "Actes du colloque des sciences et techniques de la tonnellerie", Tome IV, N. Vivas (ed.), Vigne et Vin Publications Internationale, Bordeaux, 37-43.

(19) **AUGUSTIN, M. 1986.** Etude de l'influence de certains facteurs sur les composés phénoliques du raisin et du vin. Thèse Université (ancien régime), Université de Bordeaux II.

(20) **VIVAS N., GLORIES Y. 1995,** Vinification et élevage des vins. Potentiel d'oxydoréduction en œnologie. Rev. CEnol. 21, 76, 10-14.

(21) **CHAPON S.; CHAPON L.; METCHE M.; ETIÉVANT P. 1981.** Mécanisme d'oxydation des bières. Catalyseurs organiques et peroxydes. EBC, Copenhague, pp. 371-382.

(22) **BLANCHARD L., BOUCHILOUX P., DARRIET PH., TOMINAGA T., DUBOURDIEU D. 1999.** Caractérisation de la fraction volatile de nature soufrée dans les vins de Cabernet sauvignon et Merlot. Etude de sont évolution au cours de l'élevage en barriques. In Actes du VI symposium International d'œnologie, Bordeaux.

(23) **FORNAIRON C., MAZAURIC J.P., SALMON J.M., MOUTOUNET M. 1999.** Observations sur la consommation de l'oxygène pendant l'élevage des vins sur lies. J. Int. Sci. Vigne Vin, 33, 79-86.

(24) **CHARPENTIER C., NGUYEN VAN LONG T., BONALY R., FEUILLAT M. 1986.** Alteration of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces bayanus* during autolysis. Appl. Microbiol. Biotechnol., 24, 405-413.

(25) **FEUILLAT M., FREYSSINET M., CHARPENTIER C. 1989.** L'élevage sur lies des vins blancs de Bourgogne. II- Evolution des macromolécules (polysaccharides et protéines). Vitis, 28, 161-176.

(26) **LLAUBERE CANAL R.M. 1988.** Les polysaccharides sécrétés dans les vins par *Saccharomyces cerevisiae* et *Pediococcus* sp. Thèse Université Bordeaux II.

