COMPORTEMENT DE QUATRE CÉPAGES ROUGES DU VAL DE LOIRE EN FONCTION DES VARIABLES CLIMATIQUES

THE BEHAVIOUR OF FOUR RED GRAPEVINE VARIETIES OF VAL DE LOIRE ACCORDING TO CLIMATIC VARIABLES

Gérard BARBEAU[1], Sylvain BOURNAND[2], Réjane CHAMPENOIS[1], Marie-Hélène BOUVET[1], Alain BLIN[3], Michel COSNEAU[1]

1 : Unité expérimentale Vigne et Vin, INRA, 42 rue Georges Morel, 49071 Beaucouzé cedex
2 : Institut de Mathématiques Appliquées, UC0 Angers, France
3 : Unité expérimentale Vigne et Vin, INRA, Domaine expérimental, 49270 Montreuil-Bellay

Résumé. Le comportement de 4 cépages rouges du Val de Loire a été étudié de 1988 à 1998, période contrastée sur le plan climatique. L'analyse a permis de classer les cépages en fonction de leur précocité, de la taille et la composition des baies. Le cépage et la climatologie du millésime jouent un rôle très important sur la composition finale de la vendange. La masse des baies, la teneur en sucres, l'acidité totale et l'acide malique peuvent être expliqués en partie par les variables climatiques ; pour les composés phénoliques, l'étude n'a pas permis d'établir leur rôle.

Abstract. The behaviour of 4 grapevine varieties - Cabernet franc, Cabernet Sauvignon, Gamay noir and Grolleau noir – was studied from 1988 to 1998 at the INRA experimental Station, in Montreuil-Bellay, France. Very contrasted climatic years occurred within this period. The study of some phenological stages allowed to classify the varieties in 2 groups of maturation : early for Gamay and Grolleau, late for Cabernets. The former had large berries (>2 g), the latter small berries (<1,5 g). Sugar content of Cabernets and Gamay was much higher than for Grolleau, respectively >190 g/L and <170 g/L. For a same maturity index, titratable acidity of Gamay was higher than Grolleau, and Cabernet Sauvignon higher than Cabernet franc. Malic acid was identified as explaining better the acidity level. The anthocyanin content and polyphenolic index of late varieties was superior to those of the precocious ones. The variety and the climate of the vintage play an important role on final grape composition. Berry weight, sugar content, titratable acidity and malic acid could be explained by simple climatic variables, mainly temperature and rainfall during the vegetative cycle as well as wind velocity before harvest. For the phenolic compounds, the analysis looked more complex ; it seemed that the climatic variables had only a minor effect after veraison, but the role of each one of them before this stage is still to be understood.

Key-words : red grape, phenology, climate, berry composition.

Mots clés : cépage rouge, phénologie, climat, composition des baies.

INTRODUCTION

Le Domaine expérimental INRA de Montreuil-Bellay (49 – France) abrite depuis 1975 un essai de comportement de divers cépages rouges du Val de Loire - Cabernet franc (CF), Cabernet-Sauvignon (CS), Gamay noir à jus blanc (GB) et Grolleau noir (GN). Chaque cépage est représenté par 6 rangs consécutifs de 35 ceps chacun. L'écartement est de 2 m entre rangs et de 1,18 m entre ceps ; le rognage est effectué à 1,60 m de hauteur à partir de la fin floraison. La surface foliaire exposée potentielle est identique d'un cépage à l'autre. L'ensemble de l'essai est conduit en désherbage chimique total. Avant véraison, un éclaircissage manuel est pratiqué sur la base d'un rendement de 60 hl/ha. Le sol, fertile et profond, est un sol brun calcique argilisé développé sur des marnes et calcaires marneux de l'Oxfordien (Jurassique). En comparaison avec d'autres sols de la moyenne vallée de la Loire, il induit une précocité moyenne ; la vigne n'y est pas sujette au stress hydrique, même en millésime sec. Le climat y est caractérisé par une température moyenne annuelle de 12,3 °C, une pluviométrie moyenne de 580 mm et une durée d'ensoleillement de 2 100 heures (moyennes sur 20 ans : 1981-2001). L'indice de Huglin évolue entre 1 700 et 1 900. La période d'étude couvre les années 1988-1998, à l'exception de l'année 1991 (gel).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I - SUIVI MÉTÉOROLOGIQUE

Le Domaine est équipé d'une station météorologique complète intégrée au réseau national MÉTÉO-France. Les variables utilisées dans le contexte de cette étude cor-

*Corresponding author: barbeau@angers.inra.fr

J. Int. Sci. Vigne Vin, 2004, **38**, n°1, 35-40

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

respondent à des données journalières (4748 données élémentaires pour chaque variable) : températures moyennes corrigées (TMC), maximales (TX) et minimales (TN) en d°C, pluviomètrie (RR) en mm, évapotranspiration potentielle Penman (ETP) en mm, durée d'insolation corrigée (DIC) en heures, rayonnement global (RG) en Joules/m^2, vitesse moyenne du vent (V) en m/s. Le cumul de ces différentes variables a été calculé pour les besoins de l'étude, sur l'année entière, pour la période 1er avril-30 septembre, et pour les périodes correspondant aux durées entre les stades phénologiques de chacun des cépages.

II - SUIVIS PHÉNOLOGIQUES

Les notations ont porté sur les principaux stades phénologiques – floraison (F), véraison (V) et maturité approchée par la date de récolte (R), d'après l'échelle de Baggiolini (1952). Des dates de mi-floraison (F50 = 50 % de fleurs ouvertes) et mi-véraison (V50 = 50 % de baies vérées) ont été calculées de façon à avoir un repère unique pour chaque cépage.

III - SUIVIS DE MATURATION ET QUALITÉ DE LA VENDANGE

Des prélèvements aléatoires de 400 baies ont été effectués chaque semaine de la mi-véraison à la vendange sur les quatre rangs centraux, pour chaque cépage. Les suivis de maturation ont consisté en la détermination de la masse des baies en g/1000 baies, la teneur en sucres en g/L (OIV, 1990), l'acidité titrable en g H_2SO_4/L et meq/L (OIV, 1990), les teneurs en acides malique et tartrique en g/L et meq/L (TROSSAIS et ASSELIN, 1985) , la teneur en anthocyanes en mg/kg de baies (PUISSANT et LÉON, 1967) et l'indice de polyphénols totaux iPPTx (RIBEREAU-GAYON P., 1970). Les mêmes mesures et analyses ont eu lieu à la vendange.

IV - TRAITEMENT DES DONNÉES

Il a d'abord consisté en un recodage des données : calcul de nouvelles variables (Ex, indice de Huglin, indice de maturité, rapport acide tartrique/acide malique), suppression d'individus, extrapolation de certaines données manquantes. Chaque groupe de variables a fait l'objet de statistiques descriptives afin de préciser leurs caractéristiques globales sur l'ensemble de la période. Des analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées pour mettre en évidence d'éventuels liens entre les variables d'un même groupe, suivies de régressions multiples pour tenter de sélectionner les variables les plus représentatives et faire apparaître des relations entre elles.

RÉSULTATS

I - MÉTÉOROLOGIE

Les années 1988, 1992 et 1998 sont très proches de la moyenne sur vingt ans en ce qui concerne la température et la pluviométrie. Elles sont considérées comme représentatives des autres années pour ces facteurs. L'année 1988 est caractérisée par un rayonnement global et un indice de Huglin faibles. Spécifique par le fait qu'elle soit la plus chaude et la plus sèche, l'année 1990, contrairement aux attentes, a le rayonnement global le plus faible et l'évapotranspiration la plus basse. L'année 1989 est très proche de cette dernière avec des données un peu moins extrêmes, à l'exception du rayonnement global qui est beaucoup plus élevé. Les années 1993 et 1996, particulièrement fraîches, s'opposent au niveau des précipitations entre avril et septembre (l'année 1993 est la plus humide pour cette période). Elles ont un indice de Huglin faible, lié à une somme de températures faible entre avril et septembre. Malgré un indice de Huglin un peu inférieur à la moyenne, 1994 est une année chaude et humide. Les années 1995 et 1997 ont un rayonnement global et un indice de Huglin importants, avec une pluviométrie faible entre avril et septembre. L'évapotranspiration est aussi la plus forte pour ces deux années.

II - PHÉNOLOGIE

Les données étudiées correspondent aux dates des 3 derniers stades phénologiques importants, c'est-à-dire mi-floraison, mi-véraison et maturité (approchée par la date de récolte). Il aurait été intéressant d'avoir également la date de débourrement, mais cette donnée n'était pas disponible. La date de mi-floraison pour l'année 1998 est absente. L'analyse montre que les Gamay et Grolleau sont les plus précoces en floraison. Ils précèdent d'un jour le Cabernet franc et de 4 jours le Cabernet Sauvignon. À la véraison, le Gamay a 5 jours d'avance sur le Grolleau, 7 sur le Cabernet Sauvignon et 11 sur le Cabernet franc. La durée de la période mi-floraison/mi-véraison est la plus courte pour le Gamay (68 jours) et la plus longue pour le Cabernet franc (78 jours). À la récolte, le Gamay précède de 2 jours le Grolleau, de 10 jours le Cabernet franc et de 16 jours le Cabernet-Sauvignon. Les différences entre cépages à la floraison sont relativement faibles ; les écarts augmentent à la véraison et à la maturité. Le Gamay présente le cycle le plus précoce et le plus court, alors que le Cabernet-Sauvignon a le cycle le plus long et le plus tardif. Dans les conditions de cette expérimentation, il est possible de conclure que les Gamay et Grolleau appartiennent au même groupe de maturité (cépages de 1ère époque) alors que le Cabernet franc et le Cabernet-Sauvignon appartiennent au groupe suivant (cépages de 2^e époque).

L'amplitude annuelle est très importante (tableau I). L'année 1990 est la plus précoce pour tous les stades. L'année 1997 est spécifique par le fait que la date de mi-

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Tableau I - Effet millésime : amplitude maximale des stades phénologiques (jours) pour la période 1988-1998
Vintage effect : maximum range of the phenological stages (days) for the 1988-1998 period

	Mi-floraison	Mi-véraison	Récolte
Cabernet franc	18	26	27
Cabernet Sauvignon	18	30	39
Gamay	22	17	23
Grolleau	19	16	19

floraison est précoce, alors que les dates de véraison et de récolte sont tardives, le cycle végétatif a été très long cette année-là. En 1994, 1995 et 1996, les dates de mi-floraison sont très tardives. Les années 1992 et 1993 ont des dates de récolte très tardives. Les années 1989 et 1990 sont précoces pour tous les stades, 1990 plus particulièrement pour la date de mi-floraison et 1989 pour la date de récolte avec une période mi-floraison mi-véraison très courte. L'effet année est le même pour chaque cépage ; lorsqu'un stade phénologique est tardif par rapport à sa moyenne sur l'ensemble de la période, il y a une forte probabilité que cela soit vrai pour tous les autres cépages, en particulier pour les dates de mi-floraison et de mi-véraison (moins vrai pour la date de récolte).

III - SUIVIS DE MATURATION

La maturation débute tôt en année chaude et sèche (1989, 1990) et les teneurs en sucres atteignent des valeurs élevées. Parallèlement, l'acidité des baies chute très rapidement, ce qui se traduit par des indices de maturation très élevés. L'acidité totale est expliquée principalement par la teneur en acide malique (CF, r = 0,95 ; CS, r = 0,88 ; GN, r = 0,93 ; GB, r = 0,91). La synthèse des anthocyanes débute tôt en 1989, mais n'atteint pas pour autant des valeurs très élevées ; en 1990, la teneur en anthocyanes est comparable à celles d'années plus froides et/ou plus humides. Il convient de noter une chute de cette teneur en fin de maturation, les années où de fortes pluies surviennent à cette période : en 1992, 1994 et 1998 pour les quatre cépages, en 1997 pour les cabernets qui ont été récoltés beaucoup plus tard que les Gamay et Grolleau. Une autre caractéristique des suivis de maturation est le relatif parallélisme entre les courbes d'un millésime à l'autre ; la précocité à la véraison détermine la teneur en sucres et dans une moindre mesure le niveau d'acidité des baies à la récolte. Une véraison tardive ne permet pas de rattraper les niveaux atteints lorsque la véraison est précoce. Cette relation est beaucoup moins vraie en ce qui concerne les anthocyanes et l'indice de polyphénols totaux.

IV - QUALITÉ DE LA VENDANGE

1) Masse des baies

La masse des baies à la récolte permet de différencier deux groupes : masse importante (> 2 g) pour les Gamay et Grolleau, masse faible (< 1,5 g) pour les Cabernet franc et Cabernet Sauvignon. L'évolution du poids est toutefois insuffisante pour pouvoir caractériser les années. Par ailleurs, cette variable physique ne montre de corrélation significative avec aucun des constituants de la baie.

2) Teneur en sucres

La teneur en sucres est élevée pour les Cabernets et le Gamay (moyennes de 195 à 199 g/L) ; elle est nettement inférieure pour le Grolleau (moyenne de 170 g/L, soit l'équivalent de 1,6 degré d'alcool en moins). La variabilité inter-annuelle est importante, en particulier chez le Gamay (de 165 g/L en 1988 à 234 g/L en 1990, soit une différence de 42 %). En général les teneurs les plus élevées correspondent aux années les plus chaudes et/ou les plus sèches : 1989, 1990, 1995, 1996 et 1997. La teneur en sucres est corrélée positivement à la teneur en anthocyanes et à l'indice de polyphénols totaux, et négativement à l'acidité totale et à la teneur en acide malique (tableau II).

3) Acidité

À groupes de maturité équivalents, l'acidité totale du Gamay est supérieure à celle du Grolleau, et celle du Cabernet Sauvignon au Cabernet franc. L'acidité totale est la plus élevée en 1993 et 1994, années ayant eu une pluviométrie élevée (>330 mm) durant le cycle végétatif pour tous les cépages, mais le Cabernet franc présente des niveaux équivalents en 1989 et 1996 également, ces deux millésimes étant caractérisés comme plutôt froids et secs. Compte tenu de leurs teneurs en sucres respectives, les indices de maturité (rapport teneur en sucres/acidité totale) des Gamay et Grolleau sont assez voisines, mais celui du Cabernet franc est supérieur à celui du Cabernet-Sauvignon. Globalement, les indices de maturité des Cabernets (cépages de 2e époque) sont supérieurs à ceux des Gamay et Grolleau (1ère époque). L'indice de maturité atteint des valeurs très élevées en 1990 et, dans une moindre mesure, en 1997 et 1998.

4) Acides organiques

Chez tous les cépages, la teneur en acide malique est nettement supérieure à la moyenne les années où la pluviométrie est élevée durant le cycle végétatif (1993 et

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Tableau II - Corrélations entre teneur en sucres et autres constituants de la baie.

Correlations between sugar content and other berry components

	iPPTx	Anthocyanes	Acidité totale	Acide malique
Cabernet Franc / sucres	0,78	0,86	- 0,87	- 0,88
Cabernet Sauvignon/ sucres	0,58	0,78	- 0,85	- 0,91
Grolleau / sucres	0,66	0,82	- 0,80	- 0,86
Gamay / sucres	0,72	0,80	- 0,81	- 0,82

1994). Elle est très faible en 1990, année chaude et sèche, et faible en 1997, surtout pour le Cabernet franc et le Grolleau. La teneur en acide tartrique varie de manière assez aléatoire ; les différences entre cépages sont faibles par rapport aux autres composés de la baie et il est difficile de trouver une relation avec les variables climatiques d'un millésime à l'autre. Le rapport entre ces deux acides organiques semble être un bon indicateur du stress hydrique subi par la vigne (BARBEAU *et al.*, 2000). Plus le rapport acide tartrique/acide malique est élevé, plus le niveau de stress est important. Ce rapport est nettement supérieur à la moyenne pour tous les cépages en 1990 et en 1997 (à l'exception du Cabernet Sauvignon cette dernière année). Or 1990 et 1997 ont eu, avec 1989, la plus faible pluviométrie annuelle de la décennie ; en 1997, la pluviométrie du mois de septembre a été nulle. Au contraire, le rapport des deux acides organiques est inférieur à la moyenne en 1993 et 1994 pour tous les cépages (à l'exception de CS en 1994, pour qui le rapport se situe dans la moyenne) et en 1998 pour les Cabernets uniquement. Ces trois millésimes ont en commun, d'avoir eu la plus forte pluviométrie annuelle de la décennie, ainsi que la plus forte pluviométrie durant le cycle végétatif.

5) Anthocyanes et polyphénols totaux

Pour ces composés, les deux mêmes groupes peuvent être formés, mais la différenciation est moins importante. Les Cabernets possèdent plus d'anthocyanes que les Gamay et Grolleau, avec un indice de polyphénols totaux plus élevé. La teneur en anthocyanes est confirmée comme étant une caractéristique importante du cépage, faible chez le Gamay, très élevée chez le Cabernet-Sauvignon. L'indice de polyphénols totaux reflète assez bien le comportement des anthocyanes, ce qui est confirmé statistiquement par les bonnes corrélations qui existent entre ces deux variables : CF, r = 0,92 ; CS r = 0,78 ; GB r = 0,85 ; GN r = 0,80. L'évolution des anthocyanes est variable selon les années. 1988, 1989, 1990, 1993 et 1996 présentent les teneurs les plus élevées, alors que 1992, 1994, 1995, 1997 et dans une certaine mesure 1998 ont les plus faibles, et ce pour les 4 cépages, sans que cela ait un lien apparent avec les conditions climatiques du millésime. Pour un même cépage, la variabilité inter-annuelle est très importante ; de 900 mg/kg de baies en 1994 pour le Gamay à 1 761 mg/kg en 1988 (+ 94 %), de 536 mg/kg en 1997 pour le Grolleau à 1 393 mg/kg en 1990 (+ 160 %), de 970 mg/kg pour le Cabernet Sauvignon en 1997 à 2270 mg/kg en 1988 (+ 134 %), de 1 020 mg/kg en 1994 pour le Cabernet franc à 1 878 mg/kg en 1989 (+ 84 %). De tous les cépages, le Cabernet franc montre la plus grande régularité.

DISCUSSION

À la lumière de ces résultats, il apparaît que l'interaction cépage X climat du millésime joue un rôle très important sur la maturation du raisin. La teneur en sucres, l'acidité totale et la teneur en acide malique peuvent être expliquées de manière relativement simple par des variables climatiques, principalement les températures et la pluviométrie, bien que le comportement des cépages ne soit pas toujours homogène. Cela a déjà été montré par divers auteurs en ce qui concerne la teneur en sucres (CALO *et al.*, 1992 ; CARBONNEAU *et al.*, 1992). Par contre, la teneur en anthocyanes et l'indice de polyphénols totaux semblent plus difficiles à expliquer.

Une analyse plus fine, prenant en compte les dates des stades phénologiques et les conditions climatiques qui ont prévalu entre les stades, permettrait peut-être de mieux appréhender le rôle des variables climatiques sur la qualité des baies. À cet effet, les données climatiques ont été segmentées en quatre périodes, différentes pour chaque cépage et chaque année : du 01/01 au 31/03, du 01/04 (date moyenne de débourrement) à F50, de F50 à V50, de V50 à R. La régression multiple a été utilisée pour cette analyse ; elle vise à expliquer ou prédire une variable continue à l'aide d'un ensemble de variables dites explicatives. Les données météorologiques retenues sont l'évapotranspiration, le rayonnement global, la pluviométrie, la température et la vitesse du vent, de façon à éviter d'avoir trop de variables corrélées entre elles. Seuls ont été pris en compte les résultats des régressions lorsqu'il était possible de trouver des variables qui contribuaient significativement à P<=0.05.

1) Masse des baies

La masse des baies n'est pas expliquée pour les Cabernets. En revanche, elle est expliquée pour les Gamay et Grolleau par la pluviométrie (+) et la température (+) du 1er avril à F50 (GB : $R^2 = 0,92$, GN : $R^2 = 0,65$), par la pluviométrie (+), la température (-) et le rayonnement global (+) de F50 à V50 (GB : $R^2 = 0,78$; GN : $R^2 = 0,71$),

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

et par la pluviométrie (+) de V50 à R (GB : $R^2 = 0,67$; GN : $R^2 = 0,42$). Ces résultats montrent que les baies de ces deux cépages réagissent fortement à la pluviométrie et ce, quelle que soit la période du cycle végétatif, dans les conditions de l'étude.

2) Teneur en sucres

La teneur en sucres est expliquée par les températures (-) de la période 1er avril-F50 pour tous les cépages, plus la pluviométrie (-) pour le CS, ainsi que la vitesse du vent (-) pour le GN (CF : $R^2 = 0,64$; CS : $R^2 = 0,88$; GB : $R^2 = 0,60$; GN : $R^2 = 0,80$). Pour la période F50-V50, des régressions significatives sont trouvées uniquement pour le CS et le GB ; la température joue alors un rôle positif tandis que la pluviométrie (CS) et le rayonnement global (CS et GB) jouent un rôle négatif (CS : $R^2 = 0,93$; GB : $R^2 = 0,69$). Durant la phase V50-R, la pluviométrie influe négativement pour trois cépages, et le rayonnement global a une influence positive sur le GN (CF : $R^2 = 0,46$; CS : $R^2 = 0,77$; GN : $R^2 = 0,70$).

3) Acidité

Du 1er avril à F50, l'acidité totale est expliquée par la pluviométrie (+) pour CS et GB, avec en plus la température pour ce dernier (CS : $R^2 = 0,45$; GB : $R^2 = 0,68$). De la F50 à V50, seule l'acidité de GB montre une relation intéressante ($R^2 = 0,98$), à la fois avec la pluviométrie (+), le rayonnement global (+) et la température (-). Entre V50 et R, les régressions sont significatives pour CF ($R^2 = 0,62$) et GB ($R^2 = 0,85$), les variables explicatives étant la pluviométrie (+) et la vitesse du vent (-). La teneur en acide malique est fortement influencée par la pluviométrie (+) durant les trois périodes pour CS, GB et GN (en dernière période uniquement). La température joue un rôle négatif entre F50 et V50 pour GB et GN. Avant récolte, la vitesse du vent semble également être antagoniste de l'acide malique pour ces mêmes cépages. Le rapport acide tartrique/acide malique est influencé par la pluviométrie (-) avant floraison pour trois cépages (CF : $R^2 = 0,85$; CS : $R^2 = 0,72$; Gb : $R^2 = 0,46$), par la température (+) entre F50 et V50 (CS : $R^2 = 0,87$; GN : $R^2 = 0,76$) et par les précipitations (-) et la vitesse du vent (+) après véraison (CF : $R^2 = 0,78$; GN : $R^2 = 0,96$). L'ETP (-) et le rayonnement global (+) influent également sur le rapport des acides organiques de GN après véraison. Ces résultats mettent bien en évidence la relation positive qui existe entre pluviométrie et acidité jusqu'à la véraison ainsi que le rôle positif du vent sur la diminution de l'acidité entre véraison et récolte.

4) Indice de maturité

Avant débourrement, l'indice de maturité de GB est expliqué par la température (+) et les précipitations (-) ($R^2 = 0,58$), conditions favorables à une bonne précocité du cycle (BARBEAU *et al.*, 1998). Entre le 1er avril et F50, le rayonnement global et la pluviométrie ont une influence négative pour CS et GN ($R^2 = 0,74$). Entre F50 et V50, on note le rôle très positif de la température pour au moins trois cépages, et celle du vent pour le quatrième. D'autres variables interviennent en même temps mais négativement ; l'ETP pour CF ($R^2 = 0,72$) et GN ($R^2 = 0,96$) ; le rayonnement global pour CS ($R^2 = 0,65$) et GN ($R^2 = 0,96$) ; la pluviométrie pour GB ($R^2 = 0,88$). Avant récolte, le vent (+) et la pluviométrie (-) expliquent l'indice de maturité de trois cépages (CF : $R^2 = 0,67$; GB : $R^2 = 0,64$; GN : $R^2 = 0,87$). Pour le Grolleau, il faut ajouter deux autres variables, l'ETP (-) et la pluviométrie (-). L'incidence des variables température, pluviométrie et vitesse du vent concorde assez bien avec notre connaissance du fonctionnement de la vigne (CHAMPAGNOL F., 1984 ; CARBONNEAU *et al.*, 1992), par contre les rôles respectifs de l'ETP et du rayonnement global sont difficiles à expliquer.

5) Anthocyanes et polyphénols totaux

La teneur en anthocyanes et l'indice de polyphénols totaux sont mieux expliqués par les conditions climatiques avant floraison pour les cabernets (anthocyanes CF : $R^2 = 0,83$; CS : $R^2 = 0,86$; indice de polyphénols CF : $R^2 = 0,86$; CS : $R^2 = 0,84$), alors que pour les Gamay et Grolleau ce seraient plutôt les conditions climatiques de la période floraison - véraison (anthocyanes GB : $R^2 = 0,95$; GN : $R^2 = 0,81$; indice de polyphénols GB : $R^2 = 0,71$; GN : $R^2 = 0,82$). La période après véraison n'apparaît jouer qu'un rôle mineur, ce qui signifierait que le potentiel polyphénolique est pratiquement acquis avant cette date. Toutefois le rôle de chacune des variables climatiques reste à élucider, car il n'y a pas concordance d'un cépage à l'autre, sur aucune des périodes préalables à la véraison. OJEDA *et al.* (2002) ont bien mis en évidence le rôle des déficits hydriques avant et après véraison sur la concentration en composés phénoliques de la pellicule des baies de la variété Syrah, en conditions contrôlées (plantes en pots). *A priori* on pouvait penser que, étant donné la forte variabilité constatée d'une année sur l'autre tant au niveau du climat qu'à celui de la composition phénolique des baies des différents cépages de notre expérimentation, il devait être aisé d'identifier les variables en cause, mais cette étude ne l'a pas permis. Une explication pourrait être liée au fort pouvoir tampon du sol de cette parcelle quant à l'alimentation hydrique de la vigne. Une autre difficulté réside peut-être dans le choix, pour la construction de la base de données, de la composition des baies à la récolte alors que l'on constate parfois une chute brutale de la teneur en anthocyanes juste avant cette date ; il serait peut-être plus judicieux de choisir la valeur du maximum atteint au cours de la maturation, au lieu de la valeur mesurée à la vendange. Par ailleurs, le découpage des données climatiques en fonction des stades phé-

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

nologiques n'est peut-être pas adapté ou suffisamment fin pour permettre de bien cerner l'influence de variables telles que la pluviométrie ou l'insolation.

CONCLUSIONS

Le comportement de quatre cépages rouges du Val de Loire durant la période 1988-1998 montre une forte dépendance des conditions climatiques. Celles-ci sont responsables de l'avance ou du retard des stades phénologiques et de la durée du cycle ; cependant les écarts entre cépages sont respectés d'une année à l'autre. Les niveaux de maturité (sucres/acidité) atteints en années chaudes et sèches (précoces) sont supérieurs à ceux obtenus en années plus fraîches et plus humides (tardives). Par contre, les composés phénoliques n'obéissent pas à ce schéma. Deux groupes de maturité ont été distingués : cépages précoces (Gamay et Grolleau) et cépages plus tardifs (Cabernet franc et Cabernet Sauvignon). Les premiers ont de grosses baies contrairement aux seconds. La teneur en sucres est élevée pour les Cabernets et le Gamay ; elle est nettement plus faible pour le Grolleau. A indice de maturité comparable, l'acidité du Gamay est supérieure à celle du Grolleau, et celle du Cabernet Sauvignon au Cabernet franc. C'est surtout la teneur en acide malique qui explique le niveau d'acidité des baies. La masse des baies, la teneur en sucres, l'acidité totale et la teneur en acide malique peuvent être expliquées en partie par les variables climatiques, principalement la température de la période floraison-véraison, la pluviométrie de l'ensemble du cycle végétatif ainsi que la vitesse du vent avant récolte. Pour les composés phénoliques, l'analyse se révèle plus complexe et le rôle de chacune des variables climatiques reste à élucider. Cela pose la question de la pertinence du choix de la composition des baies à la vendange comme variable à expliquer, la teneur en anthocyanes chutant souvent quelques jours avant la récolte. D'autre part, le découpage de l'année en fonction des stades phénologiques n'est peut-être pas le moyen le plus approprié pour étudier l'influence de certaines variables climatiques comme le rayonnement global ou l'évapotranspiration. Le processus d'élaboration de la qualité des baies est un processus dynamique et il faudrait pouvoir l'étudier sous cet angle, la difficulté est de relier des analyses qualitatives hebdomadaires à des données climatiques basées sur des moyennes ou des cumuls pendant des périodes de temps déterminées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAGGIOLINI M., 1952. Les stades repères dans le développement annuel de la vigne. *Rev. Romande agric. et vitic.*, **8**, 4-6.

BARBEAU G., MORLAT R., ASSELIN C., 1998. Relations entre précocité de la vigne et composition des baies de divers cépages du Val de Loire. *Progrès Agricole Viticole*, **5**, 106-111, 6, 127-130.

BARBEAU G., MORLAT R., ASSELIN C., CADOT Y., 2000. Contribution à l'étude des relations entre des variables de fonctionnement des terroirs du Val de Loire et l'évolution des acides organiques des baies durant la maturation du raisin. *Section 1, Tome II. du 3e simposio internacional zonificacion vitivinicola* – Puerto de la Cruz, Tenerife, Islas Canarias, Espana. 9 – 12 mai 2000.

CALO A., COSTACURTA A., TOMASI D., BECKER N., BOURQUIN H. D., DE VILLIERS F. S., GARCIA DE LUJAN A., HUGLIN P., JACQUINET L., et LEMAITRE C., 1992. La teneur en sucre du raisin : Le déterminisme climatique. *Rivisto viticoltura enologia*, anno XLV - N3/1992.

CARBONNEAU A., RIOU C., GUYON D., RIOM J., SCHNEIDER C., 1992. *Agrométéorologie de la vigne en France*. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg. 165 pp.

CHAMPAGNOL F., 1984. *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Imprimerie Dehan, 34000 Montpellier. ISBN 2-9500614-0-0. 350 pp.

OIV, 1990. *Recueil des méthodes internationales d'analyses des vins et des moûts*. 368 pp.

OJEDA H., ANDARY C., KRAEVA E., CARBONNEAU A., DELOIRE A., 2002. Influence of pre and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* L. cv Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.*, **53**, 4, 261-267.

PUISSANT A., LEON H., 1967. La matière colorante des grains de raisin de certains cépages cultivés en Anjou en 1965. *Ann. Technol. Agric.*, **16**, 3, 217-226.

RIBÉREAU-GAYON P., 1970. *Chim. Anal.*, **52**, 627.

TROSSAIS J., ASSELIN C., 1985. Influence des teneurs en acide malique des moûts sur le dosage de l'acide tartrique par analyse en flux continu. *Connaissance Vigne Vin,* **4**, 249-259.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)