Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1995, **29**, N°2, 75-87

ESSAI DE CARACTÉRISATION DU MILLÉSIME ET DE LA ZONE DE PRODUCTION DES VINS À L'AIDE DE TRACEURS MÉTALLIQUES ET ISOTOPIQUES

CHARACTERIZATION OF THE REGION AND YEAR OF PRODUCTION OF WINES BY STABLE ISOTOPES AND ELEMENTAL ANALYSES

M. DAY*, B.L. ZHANG*, G.J. MARTIN*, C. ASSELIN** et R. MORLAT**

*Université de Nantes, Laboratoire de RMN-RC, URA-CNRS 472, 2 rue de la Houssinière, 44072 Nantes cedex 03 (France)
**INRA - Unité de Recherche sur la Vigne et le Vin, 42 rue Georges Morel, BP 57, 49071 Beaucouzé (France)

Résumé : Les teneurs isotopiques en ^{2}H, ^{13}C et ^{18}O et la composition en éléments métalliques de vins produits sur différentes parcelles de l'expérimentation mise en place par l'INRA (Essai Terroir) ont été mesurées pour huit ou neuf millésimes (1982 à 1990). Des relations entre les compositions élémentaires métalliques des vins et le type de la parcelle ainsi qu'une dépendance étroite des teneurs isotopiques des vins avec les paramètres climatiques ont pu ainsi être mises en évidence. L'utilisation conjointe des traceurs métalliques et isotopiques offre de nouvelles possibilités pour la caractérisation des vins dans leur environnement spatio-temporel.

Abstract : Stable isotope and elemental analyses were applied to the study of wines produced from the Cabernet Franc vine variety cultivated during several years (1982 to 1990) on specific parts of the Saumur-Champigny vineyard dedicated to the «terroir» experiment of INRA. The purpose of this work was to describe the behaviour or ^{2}H, ^{13}C and ^{18}O isotopes in the water and ethanol of wines in terms of the meteorological conditions (temperature, precipitation and insolation) which govern vine growing. Since the « terroir » concept involves a synergy between the climate and the soil, the distribution of typical metallic elements was also determined by flame and electrothermal ionization atomic absorption. About twenty parcels, carefully described from the geological and pedological point of view were considered in this study which demonstrated the ability of Sr, Al and Rb to discriminate between wines from the same year but grown on adjacent parcels. The content in trace elements of the wines was also shown to be correlated with the geological nature of the soil. As far as stable isotopes are considered, it appears that the climate of the year of production of a given region has a drastic influence on the isotope ratios of water and ethanol of wines and good correlations way be computed between these parameters and temperature and precipitations. From a more basic aspect, it is also shown that the nature of the soil which governs, at least in a part, the water use efficiency of vine, induces typical variations in the isotopic composition of wines. The results of this study demonstrate also the ability of stable isotope and elemental analyses to determine the geographical origin of a wine, and when the region of production is known, to infer the year of production from meteorological data. This method might prove to be an alternative method to radio carbon analysis for the next vintages.

Mots clefs : origine, vin, isotopes stables éléments traces, RMN-FINS
Key words : origin, wine, stable isotopes, trace elements, SNIF-NMR

INTRODUCTION

Les fluctuations climatiques régionales et annuelles sont essentiellement responsables des variations des teneurs isotopiques en deutérium, carbone 13 et oxygène 18 observées dans les vins (MARTIN et *al.*, 1988 ; CAER et *al.*, 1991)). En effet, le climat, caractérisé principalement par la température, l'insolation et les précipitations atmosphériques, conditionne les teneurs isotopiques de l'eau, matière première de la photosynthèse, et le régime d'évapotranspiration de la vigne (MARTIN et *al.*, 1992). Il en résulte qu'à un profil climatique d'une région et d'une année de production donnés correspond un profil isotopique caractéristique des vins dont ils sont issus. De la même façon, les vins produits à partir de différentes variétés botaniques de la vigne pourront avoir des teneurs isotopiques différentes car les cycles végétatifs des différents cépages cultivés dans une région donnée ne seront pas exposés au même profil climatique, toutes choses étant égales par ailleurs. Ainsi des variations de précocité suivant les parcelles pour un même cépage pourront être observées (CHAMPAGNOL, 1984).

Il est donc nécessaire d'évaluer l'influence de différents paramètres (région, année de production et cépage) sur les teneurs isotopiques des vins pour rationaliser les variations observées. Cette démarche s'inscrit dans une optique de caractérisation analytique des produits de la vigne. Cependant, pour mener à bien cette étude, il était nécessaire d'établir un plan de collecte d'échantillons rigoureusement définis en fonction des facteurs naturels qui conditionnent les propriétés isotopiques d'analyses. Nous nous sommes donc reposés sur deux essais de viticulture conduits par l'INRA,

- l'essai terroir, imaginé par MORLAT et *al.* (1983), qui nous permettait de disposer de vins d'un même cépage, le Cabernet franc, cultivé dans une région limitée (Chinon, Bourgueil, Saumur-Champigny) de la moyenne Vallée de la Loire possédant un climat relativement homogène, et pendant plusieurs années climatiquement différentes (1982-1990).

- l'essai d'écologie viticole, mis au point par HUGLIN (1972) dans lequel plusieurs cépages sont cultivés dans différentes régions (Alsace, Anjou, Bordelais et Languedoc) et au cours de plusieurs années. Les résultats de cette étude sont présentés par ailleurs (YUNIANTA et *al.,* 1995).

La première partie de ce travail est consacrée à l'analyse des variations de distributions élémentaire et isotopique observées sur les vins issus de l'essai terroir. Il est utile de rappeler les principales caractéristiques de cette expérimentation.

Des parcelles expérimentales ont été établies dans les principaux terroirs, appartenant à trois appellations voisines : Chinon, Bourgueil et Saumur-Champigny. Les caractéristiques géologiques, pédologiques et physico-chimiques des parcelles ainsi que leur mésoclimat et l'enracinement de la vigne ont été soigneusement définis et mesurés (MORLAT, 1978, 1983, 1989) et les raisins ont été vinifiés selon des procédures standardisées (ASSELIN, 1983) qui permettent d'éliminer, en partie, les effets qui pourraient être entraînés par des conduites de fermentation très différentes. Cependant, ces vins destinés à l'analyse sensorielle, ont été chaptalisés les années où le titre alcoolique potentiel était insuffisant. Le taux de chaptalisation étant cependant bien connu, il a été possible de corriger certaines valeurs isotopiques (MARTIN et *al.,* 1986) puisque des raisins de la même origine étaient disponibles prélevés et vinifiés de la même façon dans le cadre de la banque de données réalisée à Nantes.

De façon à permettre une caractérisation plus poussée des vins issus de l'essai terroir, nous avons aussi déterminé leur composition en éléments métalliques mineurs (MARTIN et *al.*, 1993). On pourrait supposer en effet qu'existent des différences significatives dans la composition élémentaire de raisins produits sur des parcelles ayant des spécificités géologiques et pédologiques particulières. Dans la mesure où la conduite et le traitement phytosanitaire de la vigne et la vinification des raisins ont été réalisés selon des protocoles standards au cours des différentes phases de l'expérimentation, les différences en teneur d'éléments métalliques constatées dans les vins pouvaient aussi être reliées à la nature de la parcelle dont étaient issus les raisins.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I — ORIGINE ET NATURE DES VINS ÉTUDIÉS

Les vins étudiés ont été obtenus par vinification à partir de 80 kg de raisins produits sur différentes parcelles de l'essai terroir (MORLAT, 1978) appartenant à trois appellations de la moyenne Vallée de la Loire comportant le même cépage (Cabernet franc), le même porte-greffe (SO_4), la même orientation des rangs (N-S) et le même système de conduite.

- Saumur-Champigny : 1CHA, 1DAM, 1PER, 1POY, 1TUR, 2DAM, 2, 3 et 4EL

- Bourgueil : 1BEN, 1BOIS, 1FON, 1 et 2ING, 2BOUR

- Chinon : 1DOM, 1ROC, 1VAU, 2BEAU

Ces 19 parcelles échantillonnent des terrains très variés (MORLAT, 1989) dont les plus typiques sont : les sols calcaires sur craie sablo-glauconieuse, les sols sableux épais sur Sénonien, colluviaux ou non, reposant sur des matériaux divers, les sols sur limons à silex du Sénonien, les sols sur argiles épaisses caillouteuses ou non de l'Éocène continental et les sols sablo-caillouteux sur grès et poudingues de l'Éocène continental ou de la Basse Terrasse de la Loire.

Le climat général de ces trois appellations est océanique, atténué d'Est et le profil météorologique des différentes parcelles pour une année donnée ne présente pas de différences majeures. On peut adopter un profil thermique pluviométrique et radiatif moyen pour caractériser le climat des différentes parcelles. Ces valeurs sont représentées en données brutes dans le tableau I et en données centrées sur la figure 1 pour les neuf millésimes considérés. Il faut noter que des mésoclimats propres à certaines parcelles ayant une disposition géographique particulière (altitude, environnement paysage particulier...) ont été mis en évidence (JOURJON et *al.,* 1991).

Cependant, les variations de ces profils sur des périodes de temps relativement faibles ne contribuent pas d'une façon significative à la modification des teneurs isotopiques des vins qui intègrent et nivellent les légères variations de climat au cours de la période de végétation de la vigne qui s'étale sur plusieurs mois.

II — TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les vins obtenus selon un protocole standard (ASSELIN, 1983) ont été distillés selon le protocole décrit dans le recueil des méthodes d'analyse de l'O.I.V. et du règlement CEE 2676/90. L'éthanol titrant au moins 92 p. cent m/m, extrait du vin avec un rendement d'au moins 98 p. cent, est alors convenable pour les analyses isotopiques. Les eaux résiduelles des distillations des vins font l'objet d'une distillation cryogénique en vue de leur étude par spectrométrie de masse.

III — MESURES ISOTOPIQUES

L'éthanol d'un vin est analysé par RMN du deutérium (MARTIN et MARTIN, 1988 ; LEES et *al.*, 1993) selon le protocole décrit dans le recueil des méthodes d'analyse de l'O.I.V. et le règlement CEE 2676/90.

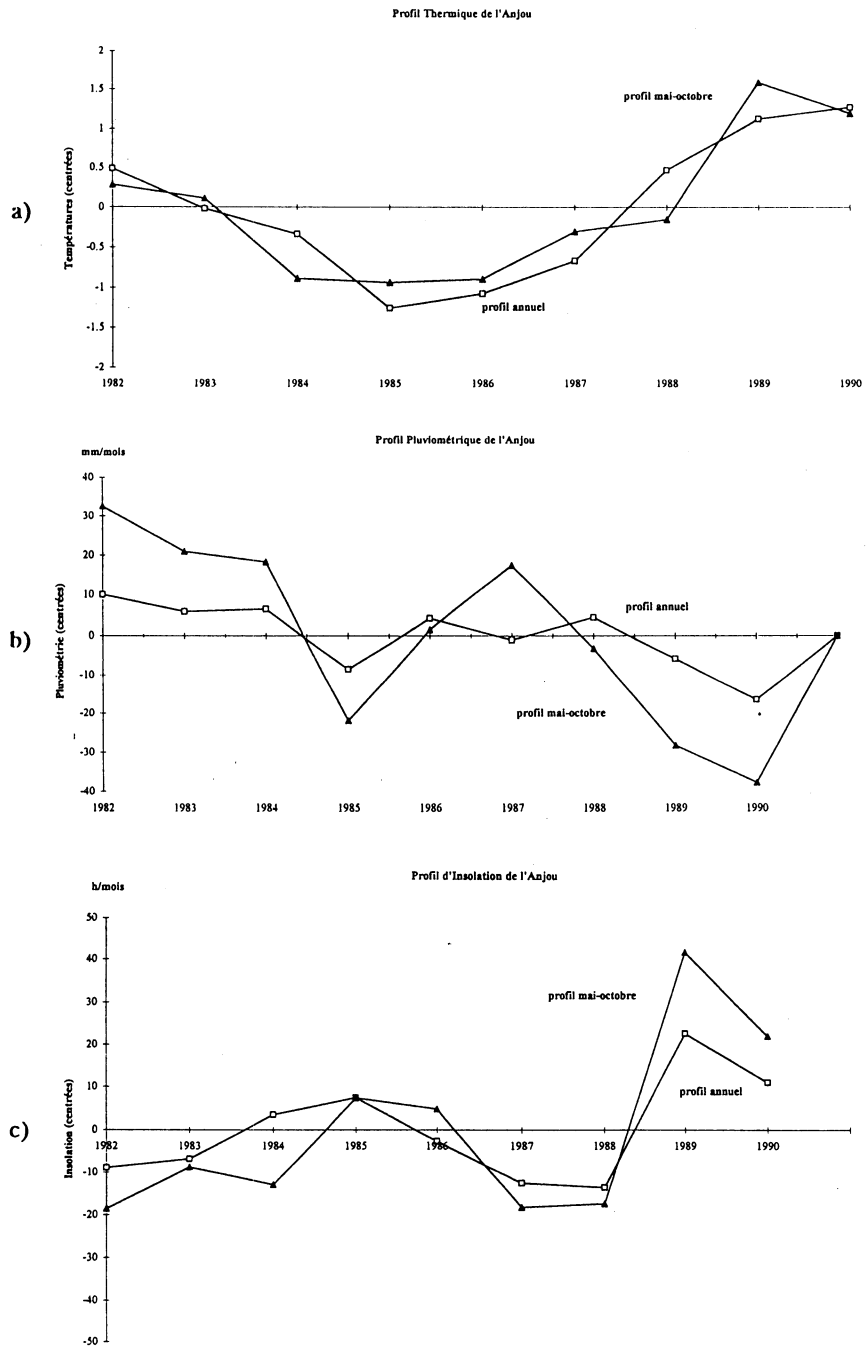


Fig. 1 — Profils météorologiques de l'Anjou entre 1982 et 1990 (Source des données : Météo-France)

a : températures - **b** : pluviométrie - **c** : insolation

TABLEAU I

Paramètres climatiques de l'Anjou entre 1982 et 1990.
Valeurs extraites de la banque de données Météo-France

Années		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
T (°C)	**a**	12,3	11,8	11,5	10,6	10,8	11,2	12,3	13,0	13,1
	b	16,9	16,8	15,8	15,7	15,8	16,4	16,5	18,3	17,9
P (mm)	**a**	64,3	60,2	60,8	45,9	59,05	53,3	58,8	48,6	37,9
	b	71,2	63,7	60,5	35,2	45,2	67,2	41,0	26,2	27,3
I (h)	**a**	157,1	159,1	169,4	173,4	163,3	153,4	152,4	188,7	177,0
	b	201,7	211,5	207,3	227,7	225,1	202,0	202,8	262,0	242,3
H (%)	**a**	82,1	82,7	80,4	80,5	81,7	79,9	83,1	(c)	(c)
	b	78,8	80,1	78,8	77,9	77,6	79,0	80,9	(c)	(c)

a : moyennes annuelles - **b** : moyennes de mai à octobre - **c** : donnée non disponible

Les bases théoriques ont fait l'objet d'une mise au point récente (MARTIN M.L. et MARTIN G.J., 1990). Les rapports R et abondances A isotopiques sont définis par les relations :

$$A = \frac{\text{Lourd}}{\text{Léger} + \text{Lourd}} \qquad R = \frac{\text{Lourd}}{\text{Léger}} \qquad (1)$$

et sont exprimés sur l'échelle allant de 0 à 1 qui peut prendre différentes dimensions (% ou 10-2 ‰ ou 10-3 ppm ou 10-6). La déviation isotopique d est exprimée en ‰ et permet de comparer le rapport isotopique R_i du produit i par rapport à celle de la référence internationale (Ref.) :

$$\delta_i = \left(\frac{R_i}{R_{ref}} - 1 \right) - 1000 \qquad (2)$$

Inversement on aura :

$$R_i = (1000 + \delta_i) R_{ref} \qquad (3)$$

Les teneurs en ^{13}C sont rapportées à la référence PDB -Pee Dee Belemnite- (CRAIG, 1957).

Les teneurs isotopiques en deutérium et oxygène 18 des eaux des vins ont aussi été mesurées par SMRI (MARTIN et *al.*, 1988) et reportées en unités de rapports isotopiques ppm (^2H) ou de δ‰ (^{18}O) sur l'échelle V.SMOW (CRAIG, 1961 ; HAGEMAN et *al.*, 1970 ; GONFIANTINI, 1978).

Dans le cas des éléments H, C, O les valeurs des rapports isotopiques des substances de références sont respectivement égales à :

	^2H (V.SMOW)	^{13}C (PDB)	^{18}O (V.SMOW)
R_{ref} (ppm)	155,76	11237,2	2005,2

IV — MESURES ÉLÉMENTAIRES

Compte tenu de la teneur relativement importante des composés organiques dans les vins (alcools, acides, phénols...) (RIBÉREAU-GAYON et *al.*, 1982) et de la présence de particules en suspension, il est nécessaire de mettre en œuvre une digestion convenable pour éviter que des dépôts de carbone affectent l'efficacité du nébuliseur (flamme) ou du tube en graphite (four).

L'éthanol est donc éliminé du vin (10 ml) par évaporation dans un four à micro-onde (CEM-MDS 2000, 650W) au moyen d'un cycle de chauffe à trois étapes : 3, 3 et 15 min à 10 p. cent, 20 p. cent et 40 p. cent de puissance respectivement.

La digestion de la matière organique restante se fait après évaporation de l'éthanol. 3 ml d'acide nitrique (d = 1,40) sont ajoutés dans la bombe revêtue de Téflon qui est ensuite hermétiquement fermée et soumise au programme de digestion. Il est important de pouvoir suivre en continu la pression intérieure de la bombe au moyen d'un capteur pour éviter les explosions. Le cycle de digestion comprend 4 étapes qui sont réalisées à pleine puissance : 5 min à 140 kPa, 5 min à 350 kPa, 15 min à 1035 kPa et 15 min à 1240 kPa,puis on laisse le système refroidir pendant 30 min. La solution recueillie après digestion est quantitativement transférée dans une fiole de 20 ml, convenablement nettoyée au préalable par HCl 1:3 rincée 3 fois à l'eau désioni-

TABLEAU II

Conditions opératoires pour l'analyse des métaux en flamme

Elément	λ (nm)	Largeur de la fente (nm)	Débit (l/min)	Dilution après digestion (V_{dil} = 20 ml)	Réactif tampon
K (a)	769,9	1,0	1,5	(1:19)	3,75 gCs^{+}/l
Ca (a)	422,7	0,5	1,55	(1:19)	0,1 gLa^{3+}/l
Mg (a)	285,2 (b)	0,5	1,79	(1:19)	0,1 gLa^{3+}/l
Mn	279,5 (b)	0,2	2,05	—	—
Fe	248,3 (b)	0,2	2,1	—	—
Zn (a)	213,9	0,5	1,5	—	—
Cu (a)	324,8	0,2	1,5	—	—
Rb	780,0	0,2	2,25	—	1 gK^{+}/l (c)

a : lampe bi-élémentaire - **b** : correction deutérium du bruit de fond - **c** : ajouté au matériau de référence
d : rotation du brûleur de 90° pour la mesure en flamme

sée, puis le volume est soigneusement ajusté à 20 ml par de l'eau désionisée. Un aliquot de cette solution est transféré dans un tube en polystyrène capsulé et conservé dans le noir à 4°C.

Les mesures de concentration des éléments sont réalisées au moyen d'un spectromètre d'absorption atomique Varian SpectrAA-400 équipé d'un brûleur modèle MK VI, d'un atomiseur électrothermique GTA 96 et d'un changeur d'échantillons PSC-56. L'étalonnage est réalisé au moyen de solutions étalons aqueuses ; l'addition de tampons spectraux à certaines solutions permet de corriger l'effet de matrice.

L'étude de Fe, Zn, Mn et Rb est faite directement sur la solution issue de la digestion, mais pour les mesures K, Ca et Mg une dilution au vingtième est nécessaire, avec rotation de 90° du brûleur pour le dosage de K.

V — TRAITEMENT DES DONNÉES

Les analyses statistiques uni-variées ont été réalisées au moyen du tableur EXCEL de Microsoft qui possède une bibliothèque de macro-instructions statistiques très étendue. L'utilisation de ce tableur présente aussi le grand avantage de permettre une manipulation rapide et très souple des données.

Les analyses multi-variées, qui exigent notamment la recherche de valeurs et vecteurs propres d'un tableau de données ont été réalisées au moyen du logiciel US4 Unistat Ltd (Londres).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour permettre une analyse plus aisée des résultats, les mesures réalisées sur les éléments sont présentées sous forme de données centrées par rapport à la moyenne générale des valeurs mesurées pour toutes les parcelles.

Par contre, en ce qui concerne les données isotopiques très sensibles aux variations climatiques annuelles, l'étude de l'effet du millésime a été réalisée à partir des données centrées par rapport à la moyenne des 10 millésimes considérés. Cette façon de procéder est similaire à celle qui est utilisée en météorologie et dans laquelle on considère les variations climatiques par rapport aux normales climatiques calculées sur une trentaine d'années. On peut noter qu'il existe une différence significative entre les moyennes isotopiques générales et les moyennes isotopiques par millésimes, alors que ce n'est pas le cas pour les parcelles.

Il est ainsi facile de suivre l'évolution des variables isotopiques relatives aux différentes parcelles et différents millésimes, un signe + indiquant une valeur supérieure à la moyenne et un signe - une valeur inférieure. Toutefois, pour permettre de situer l'ensemble de la population étudié par rapport aux données isotopiques d'autres régions viticoles françaises ou étrangères (MARTIN et *al.*, 1988 ; DAY et *al.*, 1994 et 1995), le tableau III contient les valeurs moyennes des variables mesurées, associées à leur écart-type et à la taille de l'échantillon.

TABLEAU III

Moyennes et écarts-type des valeurs isotopiques et élémentaires des différents échantillons de vins analysés au cours de l'étude de l'essai terroir et des données météorologiques de l'Anjou

Données isotopiques		Éthanol			Eau	
		$(D/H)_I$ (ppm)	$(D/H)_{II}$ (ppm)	$\delta^{13}C$ (‰)	$(D/H)_w$ (ppm)	$\delta^{18}O_w$ (‰)
Moyennes générales	x	102,4	128,9	- 26,0	158,8	1,2
	S	0,9	1,7	1,1	1,4	1,7
Moyennes millésimes	x	102,4	129,4	-25,6	159,8	2,2
	S	0,6	1,6	1,0	1,7	2,0
Données élémentaires		Eau				
		K	Ca	Mg	Mn	Fe
Moyennes générales (mg/l)	x	963	67	666	0,98	1,40
	S	158	14	6	0,8	0,5
		Zn	Rb	Al	Sr	
	x	0,40	0,76	0,38	0,18	
	S	0,12	0,3	0,15	0,05	
Données météorologiques		T (°C)	P (mm)	I (h)	H (%)	
Annuelles (a)	x	11,58	54,53	166,0	81,5	
	S	0,9	8,6	12,1	1,2	
Mai-octobre (v)	x	16,56	48,6	220,3	79,0	
	S	0,9	17,4	21,0	1,2	

Données isotopiques : 117 vins - données élémentaires : 55 vins - données météorologiques : 10 années

Les valeurs isotopiques présentées correspondent à des vins non chaptalisés : lorsque les vins analysés de certains millésimes avaient été chaptalisés pour les besoins de l'analyse sensorielle, les corrections suivantes, déterminées en fonction d'une étude réalisée sur la redistribution isotopique des sucres en éthanol (MARTIN et *al.*, 1986) ont été appliquées :

(C chaptalisation exprimée en p. cent d'éthanol)

(+ betterave et - canne) (ppm) $(D/H)_{IO} = (D/H)_{I\,obs} \pm 0{,}8\ C$ (eq. 2a)

(betterave ou canne) (ppm) $(D/H)_{IIO} = (D/H)_{II\,obs} - 0{,}2\ C$ (eq. 2b)

(canne) (‰) $\delta^{13}C_o = \delta^{13}C_{obs} - 0{,}8\ C$ (eq. 2c)

(betterave ou canne) (ppm) $(D/H)_{WO} = (D/H)_{W\,obs} - 0{,}35\ C$ (eq. 2d)

Il faut noter à cet égard que les valeurs $\delta^{18}O_W$ ne sont pas significativement affectées par l'ajout de sucres exogènes aux moûts de raisin.

Les teneurs élémentaires mesurées dans les différents vins récoltés sur les parcelles de l'essai terroir entre 1982 et 1990 sont rassemblées dans les tableaux IV et les valeurs isotopiques correspondantes figurent dans les tableaux V. Les tableaux IVa et Va représentent l'effet de la parcelle, tous millésimes confondus et les tableaux IVb et Vb, l'effet du millésime, toutes parcelles confondues.

I — INFLUENCE DU TYPE DE PARCELLE ET DU MILLÉSIME SUR LA COMPOSITION EN ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DES VINS

L'examen des tableaux III et IV fait apparaître un comportement relativement homogène des éléments métalliques contenus dans les vins de différents millésimes. En effet, les variations de teneurs pour une même parcelle au cours des différentes années sont inférieures à 1, écart type de la population totale pour

Sr, Al, Rb, Zn, métaux pour lesquels la contribution anthropogénique peut être négligée devant la contribution naturelle dans le cas de la présente expérimentation. Il en résulte que les différences observées pour quelques métaux dans différentes parcelles, quel que soit le millésime sont statistiquement significatives. C'est ainsi qu'une analyse de la variance indique que le calcium et le strontium différencient les vins de Chinon de ceux des deux autres appellations à 99 et 95 p. cent de confiance respectivement. La teneur en rubidium des vins de Saumur - Champigny est très significativement plus faible (99,9 p. cent de confiance) que celle des vins des autres appellations. Au niveau des parcelles, on observe une différence significative 6 mg/l (99 p. cent) pour le magnésium des parcelles 2DAM, 2 et 3EL et 1CHA, 1DAM, 1POY et 1TUR de Saumur-Champigny. Le strontium, au niveau de 98,5 et 97 p. cent respectivement, différencie les deux parcelles 1DOM et 1VAU et les parcelles 1BOI et 1FON de 2 ING. L'extrapolation des données relatives au calcium et dans une moindre mesure au magnésium à tous les vignobles de la région ne pourrait se justifier

TABLEAU IVa

Valeurs des concentrations en éléments, exprimées en données centrées par rapport aux moyennes présentées dans le tableau III pour les vins des différentes parcelles des trois appellations considérées, tous les millésimes confondus

Appellation	Parcelle	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Rb	Al	Sr
Bourgueil	1BOIS	- 55,84	0,21	- 4,27	- 0,38	0,40	0,08	0,13	- 0,09	- 0,03
	1FON	- 75,32	3,28	5,99	0,44	- 0,02	-0,06	0,32	0,06	0,00
	2ING	131,17	- 4,18	3,61	0,58	0,17	0,03	0,28	0,10	0,09
	Appellation	- 5,79	0,04	2,10	0,23	0,17	0,01	0,25	0,03	0,02
Chinon	1DOM	-141,65	10,39	-1,52	- 0,19	0,10	-0,03	0,16	-0,04	-0,07
	1VAU	- 93,70	12,95	- 2,06	- 0,08	0,24	-0,05	0,16	-0,08	- 0,01
	Appellation	-112,88	11,93	- 1,84	- 0,13	0,18	- 0,05	0,16	- 0,07	- 0 ,03
Saumur Champigny	1CHA	71,96	- 8,50	- 2,06	- 0,21	- 0,24	0,05	- 0,24	0,01	- 0,02
	1DAM	- 91,44	5,89	- 2,17	- 0,31	0,03	- 0,02	- 0,25	0,25	0,03
	1POY	39,05	- 8,17	- 3,35	0,21	- 0,42	0,00	- 0,14	0,04	- 0,02
	1TUR	10,15	- 9,65	- 4,04	- 0,54	0,06	- 0,03	- 0,14	0,06	0,01
	2DAM	-122,99	13,73	3,49	1,63	0,61	0,00	- 0,22	0,05	0,00
	2EL	147,90	- 5,42	3,35	- 0,16	- 0,01	0,00	- 0,10	- 0,07	0,00
	3EL	60,40	- 3,41	4,22	0,12	- 0,18	0,04	0,02	0,03	0,00
	Appellation	37,63	- 3,75	- 0,28	- 0,05	- 0,13	0,01	- 0,15	0,05	0,00

TABLEAU IVb

Valeurs des concentrations en éléments, exprimées en données centrées par rapport aux moyennes présentées dans le tableau III pour les différents millésimes considérés, toutes parcelles confondues

Millésime	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Rb	Al	Sr
82	82,36	- 11,20	- 5,10	0,03	- 0,07	0,04	0,11	- 0,03	- 0,04
83	134,65	3,31	1,81	- 0,26	0,43	- 0,05	- 0,15	- 0,12	- 0,01
84	- 201,31	7,00	- 0,11	- 0,30	0,09	0,06	- 0,11	- 0,16	- 0,04
85	103,79	- 4,41	- 2,78	0,00	- 0,65	- 0,06	- 0,14	0,00	0,01
86	- 94,57	9,19	- 0,08	0,50	- 0,19	0,03	0,12	- 0,05	0,00
87	- 25,48	5,55	0,26	- 0,12	0,03	0,08	- 0,02	0,18	0,02
88	3,75	- 0,15	0,85	0,08	0,41	- 0,07	0,03	- 0,01	- 0,01
89	200,50	- 13,61	6,72	- 0,40	0,08	- 0,05	- 0,02	0,21	0,08

que dans le cas où la conduite de la vigne est similaire. Par contre les teneurs en strontium et rubidium semblent être des indicateurs valables pour les différents vignobles de la région.

Sur le plan géo-pédologique, on peut noter que les deux parcelles 1DOM et 1VAU qui ont des teneurs en strontium plus faibles que celles des autres parcelles, appartiennent aussi à des séquences bien caractéristiques : 1DOM est un sol calcique sableux et 1VAU un sol limono-argileux caillouteux. Il est à remarquer qu'une étude géochimique multi-élémentaire réalisée (LAVILLE-TINSIT et *al.*, 1991) dans diverses zones viticoles, a montré que le sol de l'appellation 1VAU et 1DOM se caractérise aussi par des teneurs en strontium plus faibles qu'ailleurs. Malheureusement, le rubidium n'a pas été analysé par ces auteurs dans le sol. De même, les deux parcelles 2 et 3EL, plus riches en magnésium que 1CHA, 1DAM, 1POY, 1TUR, ont aussi des caractéristiques pédologiques différentes. Il faut noter que 2EL et 3EL ont montré des teneurs en magnésium des feuilles parmi les plus élevées de l'ensemble de l'essai. Cela peut donc expliquer les quantités plus élevées dans les vins de ces deux parcelles et dans celui de 2DAM.

Il est aussi remarquable sur le plan géologique que les vins de la plupart des parcelles 1CHA, 1 et 2DAM, 1POY, 1TUR et EL soient notablement appauvris en rubidium (0,6 mg/l) par rapport à ceux des autres parcelles (1 mg/l). Les teneurs en Rb permettent de distinguer clairement l'appellation Saumur-Champigny des deux autres.

TABLEAU Va

Valeurs des rapports isotopiques de l'éthanol et de l'eau de vin, exprimées en données centrées par rapport aux moyennes présentées dans le tableau III, pour les vins de différentes parcelles des trois appellations considérées, tous millésimes confondus

Appellation	Parcelle	(D/H)1o (ppm)	(D/H)2o (ppm)	^{13}Co (‰)	$(D/H)_{wq}o$ (ppm)	$^{18}O_{wq}$ (‰)
Bourgueil	1BOIS	0,06	0,24	- 0,61	- 0,26	- 0,29
	1BEN	- 0,06	- 0,81	- 0,07	- 0,34	- 0,13
	2BOUR	0,18	- 1,04	0,31	- 0,35	0,08
	1FON	0,54	0,68	1,34	0,71	1,12
	1GAR	0,14	- 0,74	- 0,42	- 0,73	- 0,89
	1ING	- 0,22	- 0,57	0,30	- 0,57	- 0,20
	2ING	- 0,03	- 0,19	- 0,19	- 0,41	- 0,30
	Bourg	0,18	0,00	0,29	- 0,12	0,14
Chinon	1DOM	0,35	0,59	- 0,03	- 0,26	0,34
	1BEAU	1,96	- 1,13	0,74	- 0,62	0,89
	2BEAU	0,65	- 0,56	0,59	- 0,37	- 0,36
	1ROC	- 0,90	- 1,08	- 0,02	- 0,24	- 1,72
	1VAU	- 0,35	- 0,54	0,61	- 0,74	- 0,19
	Chinon	- 0,07	- 0,09	0,35	- 0,55	0,02
Saumur Champigny	1CHA	- 0,20	0,26	0,52	- 0,12	- 0,33
	1DAM	- 0,20	0,60	- 0,71	0,82	0,35
	1PER	- 0,02	- 0,86	0,10	- 0,95	- 0,41
	1POY	0,75	0,82	0,15	0,48	0,60
	1TUR	0,76	0,64	- 0,49	0,43	0,20
	2DAM	- 0,25	- 0,91	- 0,06	- 0,32	- 0,19
	2EL	- 0,28	0,12	- 0,98	0,36	0, 25
	3EL	- 0,21	0,02	0,26	0,19	- 0,03
	4EL	- 0,91	- 0,66	- 0,40	- 0,58	- 0,43
	SauCha	- 0,02	0,01	- 0,09	0,08	- 0,03

TABLEAU Vb

Valeurs des rapports isotopiques de l'éthanol et de l'eau de vins, exprimées en données centrées par rapport aux moyennes présentées dans le tableau III pour les vins des différents millésimes considérés, toutes parcelles confondues

Millésime	(D/H)1o (ppm)	(D/H)2o (ppm)	$\delta^{13}Co$ (‰)	$(D/H)_{wq}o$ (ppm)	$\delta^{18}O_{wq}$ (‰)
1982	0,35	- 0,89	0,48	- 0,66	0,387
1983	0,98	1,57	- 1,40	1,16	0,40
1984	- 0,59	- 1,09	- 0,83	- 2,35	- 3,06
1985	0,12	0,31	0,77	0,21	2,01
1986	0,34	- 1,62	- 0,61	- 1,27	- 0,94
1987	- 0,73	- 2,41	- 0,14	- 1,00	- 2,06
1988	0,74	2,69	- 0,73	- 0,85	- 1,10
1989	- 0,55	0,94	0,73	2,25	1,39
1990	- 0,65	0,49	1,732	2,51	2,97

II — INFLUENCE DU TYPE DE PARCELLE ET DU MILLÉSIME SUR LA COMPOSITION EN ISOTOPES STABLES DES VINS

L'examen des tableaux III et V montre que toutes parcelles confondues, les vins des trois appellations ne se distinguent pas significativement par leurs paramètres isotopiques.

Cette constatation est en accord avec l'homogénéité climatique de la région de la moyenne Vallée de la Loire et présente le grand intérêt de pouvoir caractériser les vins de cette partie de la France par rapport à ceux d'autres grandes régions viticoles (DAY et *al.*, 1994 et 1995).

Cependant, un examen plus fin de l'influence du facteur temporel permet de mettre en évidence des comportements secondaires intéressants. En effet, si la nature de la parcelle ne se traduit pas très distinctement sur les paramètres isotopiques, le millésime a un effet très significatif.

Si les trois appellations ont des comportements isotopiques très voisins, on peut observer quelquefois des différences significatives entre deux parcelles d'une même appellation.

Par exemple, la parcelle 1GAR de Bourgueil donne des vins relativement allégés en isotopes lourds par rapport à ceux de la parcelle 1FON et il en est de même pour 1PER par rapport à 1DAM ou pour 4EL par rapport à 2 et 3EL du Saumur-Champigny. L'explication de ces comportements peut être recherchée dans une alimentation en eau différente des parcelles plutôt que dans l'existence de micro-climats. En effet 1FON a une alimentation en eau plus difficile que 1GAR et l'eau des vins correspondant s'en trouve enrichie par suite d'une évapotranspiration résultant d'un séjour prolongé de l'eau dans les feuilles.

Cependant, si de tels comportements sont intéressants à noter, dans des cas particuliers, il n'est pas possible de les généraliser. En effet, une analyse de la variance réalisée sur les différentes parcelles des trois appellations ne permet pas d'observer un effet significatif à plus de 90 p. cent de la parcelle sur les paramètres isotopiques. Il a été montré (MARTIN et *al.*, 1989) que le fractionnement isotopique dans les sols est négligeable devant celui qui est induit par l'évapotranspiration.

En prenant le problème d'une autre façon, il est possible de regrouper les parcelles dont les vins présentent un déficit notable en isotopes lourds et celles qui produisent des vins enrichis, sans tenir compte de leur appartenance à une appellation. Cette approche conduit à des résultats intéressants car on peut effectuer les regroupements suivants :

- parcelles caractérisées par un déficit en isotopes lourds : 1ROC > 1GAR > 1PER > 1VAU > 4EL > 1ING > 2BEAU > 2ING > 1BOIS

- parcelles caractérisées par un excès en isotopes lourds : 1FON > 1POY > 1TUR > 1DAM > 2EL

Ainsi les parcelles 1ROC et 1FON sont les plus dissemblables sur le plan de la discrimination isotopique et une analyse de la variance réalisée sur les deux groupes de parcelles indique que les paramètres $(D/H)_{WQ}$, $\delta^{18}O_{WQ}$ et $(D/H)_{II}$ sont significatifs à plus

de 99,9 p. cent. Il est donc clair que les vins de ces parcelles se distinguent par la teneur isotopique de leur eau, c'est-à-dire en fait, par la capacité de la parcelle à retenir les eaux des précipitations et de permettre à la vigne de les incorporer.

Nous avons vu que les profils météorologiques annuels ne présentent pas de grandes différences entre les parcelles de la région de la moyenne vallée de la Loire, et on peut en conclure que la capacité du sol à retenir ou à laisser écouler les eaux de précipitations et aussi à alimenter la plante en eau conditionnera en partie les variations de paramètres $(D/H)_{WQ}$, $\delta^{18}O$ et $(D/H)_{II}$.

Nous pouvons effectivement confirmer ces prévisions en considérant notamment le cas des parcelles 1VAU (vins à faible teneur en ^2H et ^{18}O) et 1DAM, 1FON (vins à forte teneur en ^2H et ^{18}O) :

	$\Delta(D/H)_{WQ}$	$\Delta\delta^{18}O_{WQ}$	$\Delta(D/H)_{II}$
1VAU	- 0,74	- 0,19	- 0,54
1DAM	+ 0,82	+ 0,35	+ 0,60
1FON	+ 0,71	+ 1,12	+ 0,68

décrites en détail par JOURJON et *al.* (1991). Ces auteurs notent effectivement que dans les sols sablo-caillouteux (1FON), l'alimentation hydrique est déficitaire alors que, dans les sols limoneux et argileux, la vigne dispose d'un réservoir d'eau important.

Il est intéressant maintenant d'analyser les effets du millésime sur la composition isotopique des vins (tableau Vb et figure 1).

1) Interprétation climatique du comportement des isotopes lourds de l'eau des vins ($(D/H)_{WQ}$, $^{18}O_{WQ}$)

On sait que les variations isotopiques des eaux de pluie obéissent à la loi empirique suivante, calculée à partir des relevés isotopiques réalisés dans 74 stations de l'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique de Vienne (YURTSEVER et GAT, 1981) :

$$\delta^2H\ (‰) \wedge -86 + 3{,}4T(°C) - 0{,}07\ P\ (mm) \qquad \text{(eq. 3a)}$$

$$\delta^{18}O\ (‰) \wedge -11{,}8 + 0{,}42T(°C) - 0{,}0085\ P(mm) \qquad \text{(eq. 3b)}$$

Dans le cas de la région d'Angers, on observe le même comportement pour les eaux pluviales et les eaux des vins mesurées entre 1982 et 1990. Les coefficients relatifs aux températures et aux précipitations valent respectivement 0,65 et - 0,07 pour l'oxygène 18 par exemple.

Il apparaît clairement qu'un abaissement de la température T ou une augmentation de la pluviosité P provoque une diminution de la teneur en ^2H et ^{18}O de l'eau des vins : ces phénomènes peuvent se renforcer ou se compenser partiellement selon que P et T ont une covariance négative ou positive respectivement.

Par exemple, en 1985, la pluviosité et la température relativement faibles conduisent à un léger excès en isotopes lourds alors qu'en 1987 une forte pluviosité pendant la période de mai à octobre associée à une déficience thermique provoquent un net appauvrissement en ^2H et ^{18}O de l'eau du vin. Par contre, les vins des années 1989 et 1990, sèches et chaudes, sont caractérisés par des forts excès en isotopes lourds.

Ces observations peuvent être représentées par des corrélations linéaires significatives :

$(D/H)_{WQ}$ et $\delta^{18}O$ sont exprimés en ppm et ‰ respectivement et T, P représentent les moyennes de mai à octobre (données centrées) :

$$\Delta(D/H)_{WQ} = 1{,}26\ \Delta T(°C) - 0{,}03\ \Delta P(mm)$$
$$99\ \%\ (r = 0{,}87) \qquad \text{(eq. 4a)}$$

$$\Delta(\delta^{18}O)_{WQ} = 0{,}85\ \Delta T(°C) - 0{,}05\ \Delta P(mm)$$
$$95\ \%\ (r = 0{,}74) \qquad \text{(eq. 4b)}$$

Plus généralement, on observe une bonne relation canonique entre $(D/H)_{WQ}$ et $\delta^{18}O_{WQ}$ d'une part et T et P d'autre part :

$$1{,}32\ \Delta(D/H)_{WQ} - 0{,}39\ \Delta(^{18}O)_{WQ} = 0{,}86\ \Delta T - 0{,}27\ \Delta P\ \ 95\%\ (r = 0.91) \qquad \text{(eq. 5)}$$

et les différents millésimes sont représentés dans le plan de ces deux groupes de variables dans la figure 2. On peut noter l'analogie entre les vins de 1989 et 1990, 1982 et 1988, et 1984, 1986. Toutes choses étant égales par ailleurs, l'axe canonique climatique représente aussi un axe de qualité des vins.

2) Comportement des isotopes lourds de l'éthanol des vins ($(D/H)_I$, $(D/H)_{II}$, ^{13}C)

Compte tenu de la relation positive existant entre $(D/H)_{II}$ et le rapport $(D/H)_{WQ}$ de l'eau du vin, un appauvrissement de l'eau en ^2H peut s'accompagner d'un appauvrissement analogue de $(D/H)_{II}$. Cependant, d'autres facteurs tels que les conditions de vinification et la richesse en sucre des moûts peuvent aussi influencer ce paramètre.

La région de production considérée présente une bonne homogénéité climatique et les variations de $(D/H)_I$, $(D/H)_{II}$ et $\delta^{13}C$ avec le climat observées au niveau de la France (DAY et *al.*, 1994 et 1995) sont pratiquement nivelées au niveau de la région de Saumur.

Par contre un phénomène intéressant est constaté pour $\delta^{13}C$ et peut être mis en relation avec la forte sécheresse de 1990 (MORLAT et *al.*, 1992). En effet, les teneurs ^{13}C des vins du millésime 1990 sont fortement enrichis en ^{13}C (+1,7 ‰ en moyenne). D'une façon plus générale on peut observer la relation suivante entre $\delta^{13}C$ et P(mm) dans laquelle $\Delta(^{13}C)$ et ΔCPI représentent les écarts à la moyenne des rapports isotopiques ^{13}C et des précipitations :

$$\Delta(^{13}C) = -0{,}08\ \Delta P(mm) \quad 98{,}8\ \% \quad (r = 0{,}82)$$

L'augmentation de $\delta^{13}C$ avec la sécheresse est clairement à mettre en relation avec le « stress » hydrique que subit la vigne dans ces conditions. Pour les plantes de métabolisme photosynthétique C3, le fractionnement $^{13}C/^{12}C$ observé au cours de la photosynthèse résulte de la compétition entre l'étape de diffusion du CO_2 à travers les stomates de la feuille et l'étape de carboxylation par la ribulose biphosphate carboxylase. En période de températures élevées, de sécheresse intense et de faible humidité, la diffusion du CO_2 tend à devenir l'étape limitante de la photosynthèse et la teneur en ^{13}C d'une plante C3 augmente (FARQUHAR, 1982). Dans ces conditions la température ambiante joue un rôle important en conditionnant notamment le comportement physiologique des feuilles. Une observation analogue a été faite sur d'autres plantes C3 (blés, pois ...) (ZHANG et *al.*, 1991 ; KNIGHT et *al.*, 1994) mais ne semble pas avoir été signalée pour la vigne. Quoiqu'il en soit, ce comportement est important, notamment dans les cas de recherches d'enrichissement du vin par des sucres de plantes C4 (glucose, saccharose).

En effet, un vin issu de vignes non irriguées, situées en régions arides peut être caractérisé par une valeur $\delta^{13}C$ de l'ordre de - 24 ‰ qui pourrait le faire soupçonner d'enrichissement par un sucre C4. Il est donc impératif de considérer soigneusement les valeurs des rapports isotopiques (D/H) et $\delta^{13}C$ de l'éthanol et $(D/H)_{WQ}$, $\delta^{18}O_{WQ}$ de l'eau avant de se livrer à un diagnostic d'enrichissement.

CONCLUSION

Cette étude met en évidence le rôle prépondérant du climat sur la répartition isotopique dans un vin. Les variations de climat entre les régions de production et entre les années d'une même région se traduisent par des variations isotopiques significatives qui peuvent être utilisées pour authentifier l'origine d'un vin avec l'aide d'autres critères analytiques. En ce qui concerne les isotopes stables, le rôle de la parcelle est notamment fonction de son aptitude plus ou moins grande à retenir l'eau d'alimentation. Ainsi grâce à la détermination de la teneur en isotopes lourds comme le ^{13}C dans l'éthanol des vins, il semble possible d'estimer les conditions d'alimentation en eau de la vigne pour le millésime considéré et de différencier les parcelles d'une même appellation ou les différentes appellations d'une même région en considérant les teneurs en cer-

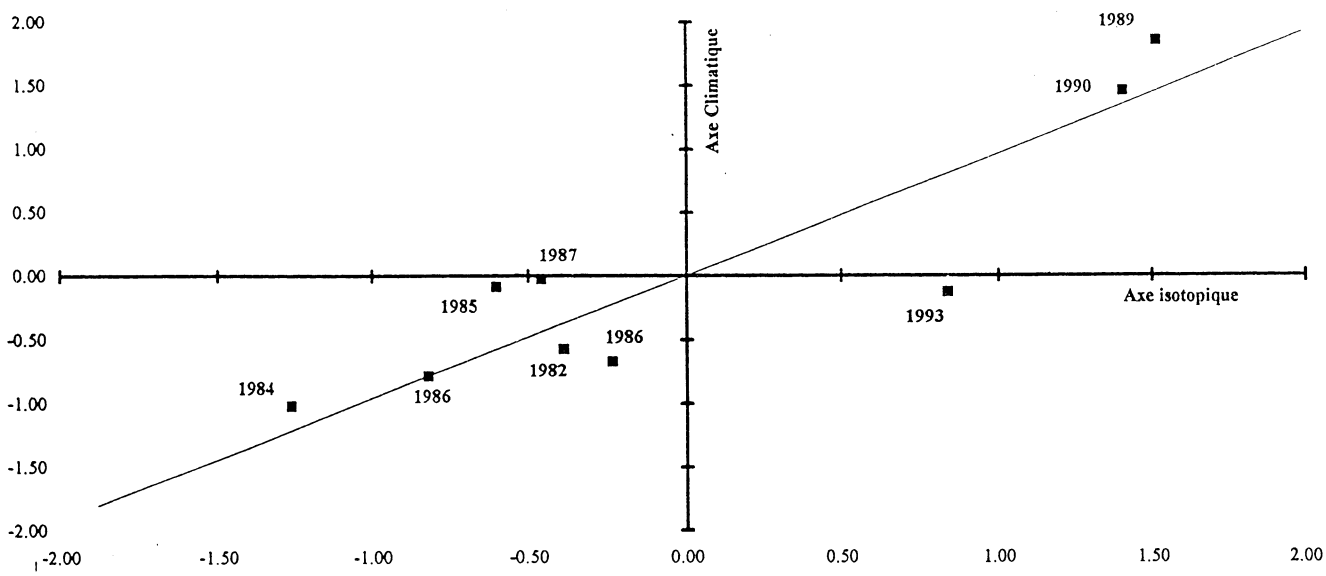


Fig. 2 — Corrélations canoniques entre deux variables isotopiques $(D/H)_{wq}$, $\delta^{18}O_{wq}$ et deux variables météorologiques Tn, Pn. La première variable canonique est significative à 95 p. cent (R = 0,91 et $\chi 2$=9,5 pour 4 degrés de liberté)

tains éléments caractéristiques, peu sujets à des pollutions anthropogéniques. Ainsi, l'utilisation conjointe de l'analyse élémentaire et isotopique pourrait permettre de caractériser de l'origine géographique et l'année de production d'un vin, puisque la méthode de datation à cout terme fondée sur la mesure du carbone 14 n'est plus applicable à partir de 1990. Il faut cependant noter que le nombre de facteurs inconnus ne doit pas dépasser celui des variables discriminantes indépendantes et que dans l'ignorance totale de la provenance d'un vin et des pratiques œnologiques qu'il a subi, les méthodes isotopiques et élémentaires ne pourront donner qu'une fourchette d'estimation plus ou moins étendue.

Lorsque les relations entre l'environnement climatique de la vigne et la distribution en isotopes stables dans l'eau et l'éthanol des vins auront été affinées, il sera possible de prévoir avec une bonne approximation les caractéristiques isotopiques d'un vin d'une région et d'un millésime donnés à partir des données météorologiques correspondantes. Cette approche devrait permettre de faciliter la démarche de l'Union Européenne en vue de constituer une banque de données sur les vins des différents États Membres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASSELIN C., MORLAT R., LÉON H., ROBICHET J. REMOUÉ M. et SALETTE J., 1983. Méthode d'analyse sensorielle adaptée à la caractérisation des vins rouges issus de terroirs différents. *Sci. Alim.*, n°3, 245-263.

CAER V., TRIERWEILER M., MARTIN G.J. and MARTIN M.L., 1991. Determination of site-specific carbon isotope ratios at natural abundance by ^{13}C-NMR spectroscopy. *Anal. Chem.*, **63**, 2306-2313.

CHAMPAGNOL F., 1984. *Éléments de physiologie de la vigne et de la viticulture générale*. Ed. Champagnol Saint-Gely-du-Fesc.

CRAIG H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometry analysis of carbon dioxyde. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **12**, 133-149.

CRAIG H., 1961. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science* (USA), **133**, 1833-1834.

DAY M.P. , ZHANG B.L. and MARTIN G.J., 1994. The use of trace element data to complement stable isotope methods in the caracterization of grape musts. *Am. J. Enol. Vitic.*, **45**, 79-85.

DAY M.P. , ZHANG B.L. and MARTIN G.J., 1995. Determination of the geographical origin of wine using joint analysis of elemental and isotopic composition. II - Differentiation of the principal production zones in France for the 1990 vintage. *J. Sci. Food Agric.*, **67**, 113-123.

FARQUHAR J.D., O'LEARY M.H. and BERRY J.A., 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Aust. J. Plant Physiol.*, **9**, 121-37.

GONFIANTINI R., 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature*, **271**, 534-536.

HAGEMAN R., NIEF G. and ROTH E., 1970. Absolute isotopic scale for deuterium analysis of natrual waters. Absolute (D/H) ratio for SMOW. *Tellus*, **6**, 712-715.

HUGLIN P., 1972. Caractéristiques écologiques des cépages et des vignobles. *Bull. O.I.V.*, 7-25.

JOURJON F., MORLAT R. ET SEGUIN G., 1991. Caractérisation des terroirs viticoles de la moyenne vallée de la Loire. Parcelles expérimentales, climat, sols et alimentation en eau de la vigne. *J. Intern. Sciences Vigne Vin*, **25**, n°4, 179-202.

KNIGHT J.D., LIVINGSTON N.J. and VAN KESSEL C., 1994. Carbon isotope discrimination and water-use efficiency of six crops grown under wet and dryland conditions. *Plant, Cell and Environment*, **17**, 173-179.

LAVILLE-TINSIT L. ,LECOMTE P. et MORLAT R., 1991. Apport de la géochimie multi-élémentaire à l'étude des terrains viticoles en Val-de-Loire *Rapport MRT*, 80 p.

LEES M., GUILLOU C. et MARTIN G.J., 1993. Analyse des sources d'erreurs expérimentales du procédé SNIF-NMR et de leur influence sur la mesure des rapports isotopiques. *O.I.V.*, FV N°963.

MARTIN G.J., ZHANG B.L., NAULET N. and MARTIN M.L., 1986. *Deuterium* transfer in the Bioconversion of glucose to ethanol studied by specific isotope labelling at the natural abundance level. *J. Am. Chem. Soc.*, **108**, 5116-5122.

MARTIN G.J. and MARTIN M.L., 1988. The Site-specific Natural Isotope Fractionation-NMR method applied to the study of wines. *Modern methods of Plant Analysis*, Vol. 6, Springer Heidelberg, 258-275.

MARTIN G.J., GUILLOU C., MARTIN M.L. CABANIS M.T., TEP Y. and AERNY J., 1988. Natural factors of isotope fractionation and the characterization of wines. *J. Agricult. Food Chem.*, **36**, 316-322.

MARTIN G.J, ODIOT D., GODINEAU V., NAULET N., MORLAT R., ASSELIN C. and ROBICHT J., 1989. Natural Isotope Tracers and Water filiation in the vine ecosystem. *Applied Geochemistry*, **4**, 1-11

MARTIN M.L. and MARTIN G.J., 1990. *Deuterium* NMR in the study of Site-specific Natural Isotope Fractionation (SNIF-NMR). NMR Basic Principles and Progress, Ed. H. Günther, *Springer-Verlag*, Heidelberg, **23**, 1-61.

MARTIN G.J., MARTIN M.L. and ZHANG B.L., 1992. Site-specific natural isotope fractionation of hydrogen in plant products studied by nuclear magnetic resonance. *Plant, Cell, Environment*, **15,** 1037-1050.

MARTIN G.J., ZHANG B.L., DAY M.P. et LEES M., 1993. Authentification des vins et des produits de la vigne par utilisation conjointe des analyses élémentaire et isotopique. *O.I.V.*, FV N°917 : 1953/220792 .

MORLAT R., 1978. Contribution à l'étude des séquences géopédologiques sédimentaires du vignoble Saumurois. Essai sur une méthodologie pour la caractérisation d'un milieu viticole de cru. *Connaissance Vigne Vin*, **12**, n°4, 219-243

MORLAT R., ASSELIN C., PAGES P., LÉON H., ROBICHET J., REMOUE M., SALETTE J. et CAILLE M., 1983. Caractérisation intégrée de quelques terrains du Val-de-Loire. *Connaissance Vigne Vin*, **17**, n°4, 219-246.

MORLAT R., 1989. Le terrain viticole : contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de moyenne vallée de la Loire. *Thèse d'Etat*, Université de Bordeaux II.

MORLAT R., PENAVAYRE M., JACQUET A., ASSELIN C. et LEMAITRE C., 1992. Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. *J. Intern. Sci. Vigne Vin*, **26**, n°4, 197-220.

REGLEMENT CEE n° 2676/90 de la Commission du 17 septembre 1990 déterminant des méthodes d'analyse communautaires applicables dans le secteur du vin. *J.O. des Communautés Européennes L272.*

RIBÉREAU-GAYON J., PEYNAUD E., SUDRAUD P. et RIBÉREAU-GAYON P., 1982. *Analyse et contrôle des vins. Traité d'œnologie, Science et Techniques du vin*, 1.

YUNIANTA, ZHANG B.L., MARTIN G.J., ASSELIN C. et SCHAEFFER M.,1995. Essai de caractérisation du cépage des vins par analyse isotopique des éléments légers. *J. Intern. Sci.Vigne Vin*, **29**, n°, 89-98.

YURTSEVER Y. and GAT J.R., 1981. Atmospheric waters in stable isotope hydrology. *Technical Reports series n° 210.* Ed. Gat J.R. Gonfiantini R., IAEA Vienna.

ZHANG B.L., EMERIAU L. et MARTIN G.J., 1991. Comportements isotopiques comparés de constituants de légumineuses. Caractérisation de lentilles. *Sci. Alim.*, **11**, 291-304.

Manuscrit reçu le 15 novembre 1994 ;
accepté pour publication le 28 avril 1995