

LES ACIDES GRAS DES PÉPINS DANS LE GENRE *VITIS* (TOURNEFORT) L.

Monique CHERRAD et J.J. LAVAUD

Institut de la Vigne de Bordeaux
Laboratoire des Sciences de la Vigne, Université Bordeaux I
Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex (France)

Résumé : La teneur en acides gras des pépins n'est pas la même pour les 4 groupes de vignes étudiées. Les pépins les plus riches sont ceux des vignes américaines, puis ceux des lambrusques et des vignes asiatiques et enfin ceux des variétés cultivées de *Vitis vinifera*. En revanche, les proportions des 4 principaux acides gras, palmitique, stéarique, oléique et linoléique, sont très comparables dans la plupart des cas étudiés. L'acide linoléique, largement prédominant, représente environ 73,5 p.cent de l'ensemble des acides gras. L'acide linoléique est toujours à l'état de traces.

INTRODUCTION

A la suite d'un travail précédent où nous avons donné la composition en acides gras des pépins de 24 cépages blancs et noirs de *Vitis vinifera* L. (CHERRAD et LAVAUD, 1991), nous avons voulu voir si les teneurs et les pourcentages des acides gras des pépins de ces cépages cultivés étaient différents de ceux des pépins des lambrusques (formes sauvages de *Vitis vinifera*), des vignes américaines et des vignes asiatiques. A notre connaissance, en effet, aucune recherche de ce type ne semble avoir été effectuée jusqu'ici sur les espèces asiatiques et les lambrusques ; quant aux vignes américaines, une seule étude portant sur dix variétés de *Vitis labrusca* (MATTICK et RICE, 1976) a été réalisée.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les pépins ont été récoltés à maturité en 1989 et en 1992, à partir de grappes de rang 1, provenant de rameaux principaux de différentes espèces situées dans la même parcelle :

- *Vitis vinifera* : Le choix des cépages étudiés, Baroque, Grenache noir, Malbec, Sauvignon blanc et Valdiguiet a été effectué en fonction des résultats obtenus dans l'étude précédemment citée, car il reflète un échantillonnage suffisamment représentatif quant à la variabilité du poids des pépins et de leur composition en acides gras.

- lambrusques : les échantillons analysés sont répertoriés dans la collection par les numéros : 14 (originaire de la forêt de Grésigne dans l'Aveyron), 32, 34, 68 et 73 (originaires d'Euskadi en Espagne).

- espèces américaines :

Vitis candicans Engelm., clone INRA 10096, originaire du Texas-Oklahoma,
Vitis Champinii Planchon, clone INRA 10092, originaire du Texas,
Vitis Champinii Planchon, clone INRA 10180, originaire du Texas,
Vitis labrusca L., clone INRA Bx 10, originaire du nord-est des USA,
Vitis Lincecumii Buckley, clone INRA 2162, originaire du sud-est des USA,
Vitis riparia Michaux, clone INRA 10202, originaire des USA, au sud du Canada.

- espèces asiatiques :

Vitis amurensis Ruprecht, clone INRA 8089, originaire du nord-est de la Chine,
Vitis Coignetiae Pulliat, clone INRA 2249, originaire du Japon.

Les pépins de *V. labrusca*, *V. amurensis* et *V. Coignetiae* n'ont pu être prélevés qu'en 1989.

L'analyse a porté uniquement sur des pépins de type 1 (BOUARD, 1978), c'est-à-dire provenant de baies qui n'en contenaient qu'un. L'extraction a été réalisée selon la méthode de BLIGH et DYER (1959) adaptée aux organes de la vigne (DARNÉ et MADERO, 1979). Le dosage des acides gras saponifiés et méthylés a été effectué par chromatographie en phase gazeuse suivant la technique décrite par METCALFE et al. (1966), modifiée par ATALAY (1975). Les quatre acides gras principaux, palmitique, stéarique, oléique et linoléique ont été analysés (LAVAUD et CHERRAD, 1980). L'acide linoléique n'est présent dans les pépins qu'à l'état de traces.

RÉSULTATS

I — TENEURS EN ACIDES GRAS

L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le tableau I qui donne, pour les 4 groupes de vignes étudiées, les valeurs moyennes correspondant aux années 1989 et 1992.

Sur les figures 1 et 2, les variétés et les espèces ont été classées en fonction de leurs teneurs moyennes en acides gras totaux. Une différence entre les valeurs obtenues pour les 2 années est significative lorsqu'elle se situe au-delà de 10 p.cent par rapport à la teneur moyenne.

Par ailleurs, afin d'établir des comparaisons entre les différents groupes de vignes, nous avons effectué, pour chacun d'eux, la moyenne des teneurs en acides gras (tableau II).

TABEAU I

Poids sec et teneurs en acides gras totaux des pépins des variétés cultivées de *Vitis vinifera*, des lambrusques, des vignes américaines et des vignes asiatiques

Groupes de vignes	Espèce ou cépage	Poids sec d'un pépin (mg)	Acides gras totaux (mg/g M.S.)	Acides gras totaux (mg/pépin)
<i>Vitis vinifera</i>	Baroque	24,0	144	3,4
	Grenache noir	19,6	193	3,8
	Malbec	29,4	142	4,1
	Sauvignon blanc	30,8	155	4,8
	Valdiguier	28,0	151	4,2
Lambrusques	n°14	25,5	199	5,1
	n°32	36,3	207	7,7
	n°34	32,0	233	7,7
	n°68	36,3	250	8,9
	n°73	38,3	188	7,3
Vignes américaines	<i>V. candicans</i> 10096	40,9	216	8,7
	<i>V. Champinii</i> 10092	48,7	188	9,3
	<i>V. Champinii</i> 10180	60,5	197	12,0
	<i>V. labrusca</i>	49,2	162	8,0
	<i>V. Lincecumii</i> 2162	31,4	203	6,4
	<i>V. riparia</i> 10202	37,2	245	8,9
Vignes asiatiques	<i>V. amurensis</i> 8089	25,2	230	5,4
	<i>V. Coignetiae</i> 2249	28,8	171	4,6

1) Variations des teneurs suivant les espèces et les cépages

a) par rapport à la matière sèche

Pour les pépins de *V. vinifera*, les valeurs s'échelonnent de 142 mg/g d'acides gras (Malbec) à 193 mg/g (Grenache noir) et la moyenne globale (tableau II) est de 156 mg/g. Pour les 5 lambrusques, les teneurs varient de 188 à 250 mg/g, avec une moyenne générale de 215 mg/g. Pour les différentes espèces de vignes américaines, les fluctuations sont comprises entre 162 mg/g (*V. labrusca*) et 245 mg/g (*V. riparia*) et la moyenne pour le groupe est de 202 mg/g. Dans le cas des 2 espèces asiatiques étudiées, la moyenne correspond à 201 mg/g. En fonction de leurs teneurs en acides gras par rapport à la matière sèche, les vignes étudiées se classent donc dans l'ordre suivant :

Vitis vinifera < lambrusques = espèces américaines = espèces asiatiques

Ces résultats montrent qu'à l'exception du Grenache noir la synthèse lipidique est plus faible dans les pépins de *V. vinifera* que dans ceux des autres vignes.

b) par rapport à un pépin

Pour *V. vinifera*, les quantités d'acides gras présentes dans les pépins varient de 3,4 mg (Baroque) à 4,8 mg (Sauvignon), avec une moyenne de 4 mg pour les 5 cépages (tableau II). Les pépins des vignes asiatiques en renferment une quantité plus élevée, 5 mg.

Ceux des lambrusques étudiées contiennent davantage d'acides gras, et les valeurs fluctuent de 5,1 mg (n°14) à 8,9 mg (n°68), avec une moyenne générale de 7,3 mg.

Les teneurs en acides gras des pépins des vignes américaines varient de 6,4 mg (*V. Lincecumii*) à 12,0 mg (*V. Champinii* 10180). La moyenne pour ce groupe est de 8,9 mg.

Ces résultats montrent que ce sont les pépins de l'espèce européenne qui possèdent la plus faible teneur en acides gras, alors que la plus forte se trouve dans les pépins des vignes américaines.

Les pépins des vignes asiatiques et des lambrusques contiennent donc des quantités intermédiaires et le classement de toutes ces vignes en fonction de leur teneur en acides gras par pépin est le suivant :

Vitis vinifera < espèces asiatiques < lambrusques < espèces américaines

En définitive, quel que soit le groupe de vignes étudié, les teneurs moyennes en acides gras totaux des pépins varient selon les espèces ou les cépages.

2) Variations des teneurs suivant l'année

a) par rapport à la matière sèche

A une exception près (*V. Champinii* 10180), où la teneur en acides gras totaux est plus forte dans les pépins récoltés en 1992 qu'en 1989, les valeurs obtenues sont soit plus faibles cette année là dans 6 cas : 3 cépages de *V. vinifera* (Malbec, Sauvignon et Valdiguié), 2 vignes américaines (*V. candicans* et *V. Lincecumii*) et une lambrusque (n° 14), soit pratiquement identiques pour les 2 années étudiées dans les 8 autres cas.

b) par rapport à un pépin

Ces teneurs sont à peu près les mêmes les 2 années chez le Grenache noir et le Valdiguié, *V. riparia* et *V. Champinii* 10092 et les 5 lambrusques. Elles sont plus fortes en 1992 chez le Baroque, *V. candicans* et *V. Champinii* 10180 et plus faibles en 1992 aussi chez le Malbec, le Sauvignon et *V. Lincecumii*.

Il ressort de ces résultats que l'incidence de l'année s'est montrée différente suivant les espèces et les variétés.

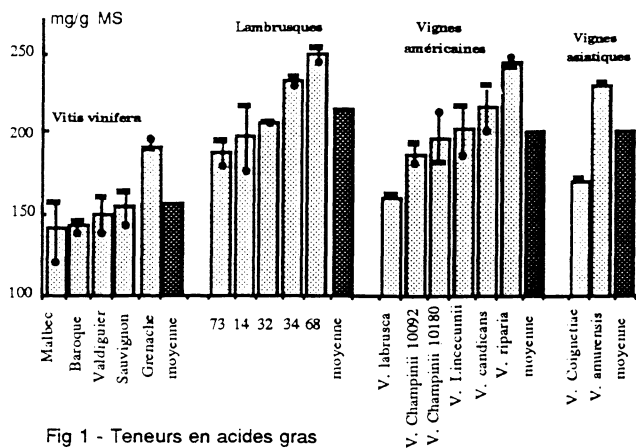


Fig 1 - Teneurs en acides gras

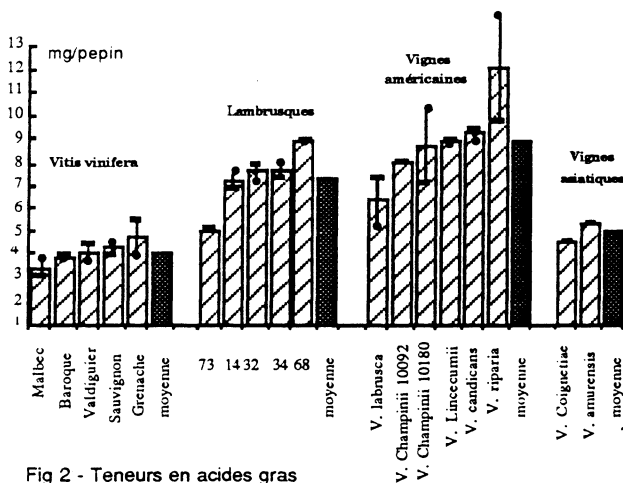


Fig 2 - Teneurs en acides gras

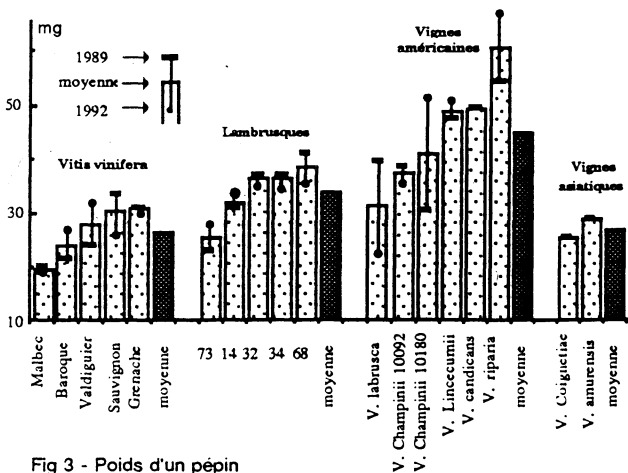


Fig 3 - Poids d'un pépin

TABLEAU II

Proportions relatives des acides palmitique (C16:0), stéarique (C18:0), oléique (C18:1) et linoléique (C18:2) et rapport acides gras insaturés/acides gras saturés (A.G.I./A.G.S.) des pépins de *Vitis vinifera*, des lambrusques, des vignes américaines et des vignes asiatiques

Groupes de vignes	Espèce ou cépage	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	$\frac{\text{A.G.I.}}{\text{A.G.S.}}$
<i>Vitis vinifera</i>	Baroque	7,5	3,0	15,0	74,5	8,5
	Grenache noir	6,0	2,0	23,0	69,0	11,5
	Malbec	7,0	3,0	18,0	72,0	9,1
	Sauvignon blanc	6,0	5,0	13,0	76,0	8,1
	Valdiguier	7,0	3,0	17,0	73,0	9,0
Lambrusques	n°14	7,0	3,0	13,0	77,0	9,0
	n°32	7,0	4,0	20,0	69,0	8,1
	n°34	6,5	3,5	13,5	76,5	9,0
	n°68	6,5	3,0	14,0	76,5	9,5
	n°73	6,5	2,5	15,0	76,0	10,1
Vignes américaines	<i>V. candicans</i> 10096	8,0	4,5	18,5	69,0	7,0
	<i>V. Champinii</i> 10092	6,5	3,0	12,0	78,5	9,5
	<i>V. Champinii</i> 10180	6,5	2,5	14,0	77,0	10,1
	<i>V. labrusca</i>	6,5	2,5	21,0	70,0	10,1
	<i>V. Lincecumii</i> 2162	6,0	3,0	14,5	76,5	10,1
	<i>V. riparia</i> 10202	6,5	3,0	14,5	76,0	9,5
Vignes asiatiques	<i>V. amurensis</i> 8089	5,5	1,5	14,0	79,0	13,3
	<i>V. Coignetiae</i> 2249	6,0	2,0	24,5	67,5	11,5

II — PROPORTIONS RELATIVES DES ACIDES GRAS

Les valeurs moyennes correspondant aux 2 années étudiées sont présentées dans le tableau III. Le pourcentage moyen des différents acides gras, calculé pour chaque groupe de vignes, figure dans le tableau II.

1) Acides gras saturés

Quelle que soit la vigne étudiée, les acides palmitique et stéarique représentent moins de 12,5 p.cent des acides gras totaux des pépins. Ils varient en effet de 7 à 8 p.cent pour les vignes asiatiques, de 8 à 11 p.cent chez *V. vinifera*, de 9 à 11 p.cent dans le cas des lambrusques, de 9 à 12,5 p.cent chez les vignes américaines. *V. vinifera* et les lambrusques se situent donc entre les vignes américaines et les vignes asiatiques.

Dans les différentes vignes étudiées, c'est l'acide palmitique qui est le plus fortement représenté. Sa proportion moyenne est en effet de 7 p. cent des acides gras totaux, tandis que celle de l'acide stéarique n'est que de 3 p.cent environ. Aucune différence notable n'apparaît donc entre les 4 groupes de vignes. Il semble cependant que les proportions des acides gras insaturés des pépins des vignes asiatiques aient tendance à être un peu plus faibles.

2) Acides gras insaturés

Les acides oléique et linoléique constituent la majeure partie des acides gras des pépins (87 à 93 p.cent) des 4 ensembles de vignes. L'acide linoléique, à lui seul, représente plus de 67,5 p.cent des acides gras totaux, quelle que soit la vigne étudiée.

L'étude des proportions relatives des 2 acides gras insaturés (tableau II) a permis de montrer qu'il existe dans chaque ensemble de vignes une ou deux espèces ou variétés qui se distinguent par des pourcentages en acide linoléique (67,5 à 70 p.cent) nettement plus faibles que les autres, et par conséquent par des pourcentages en acide oléique nettement plus élevés (18,5 à 24,5 p.cent). Il s'agit du Grenache noir chez *V.vinifera*, de la lambrusque n° 32, de *V.candicans* et *V.labrusca* pour les espèces américaines et de *V.Coignetiaë* pour les espèces asiatiques.

Les proportions des acides gras insaturés examinées globalement (tableau III) sont pratiquement similaires entre les pépins des cépages cultivés de *V.vinifera*, des lambrusques et des vignes américaines. Celles des vignes asiatiques étudiées tendent à être un peu plus élevées, semble t-il.

TABLEAU III

Teneurs moyennes en acides gras totaux, pourcentages moyens des acides gras et rapports moyens acides gras insaturés / acides gras saturés (A.G.I./A.G.S.) établis pour chaque groupe de vignes

	<i>Vitis vinifera</i>	Lambrusques	Espèces américaines	Espèces asiatiques
Poids d'un pépin (mg)	26,3	33,7	44,7	27,0
Acides gras totaux (mg/g M.S.)	156	215	202	201
Acides gras totaux (mg/pépin)	4,0	7,3	8,9	5,0
C16: 0 (p.cent)	7,0	7,0	7,0	6,0
C18: 0 (p.cent)	3,0	3,0	3,0	2,0
C18: 1 (p.cent)	17,0	15,0	15,5	19,0
C18: 2 (p.cent)	73,0	75,0	74,5	73,0
A.G.I./A.G.S.	9,0	9,0	9,0	11,5

3) Rapport acides gras insaturés/acides gras saturés

Le tableau II montre que le rapport moyen entre les acides gras insaturés et saturés, correspondant aux 2 années 1989 et 1992 est plus élevé pour les vignes asiatiques (11,5) que pour les autres vignes (9). Mais il varie de 8,1 (Sauvignon) à 11,5 p.cent (Grenache noir) pour *V. vinifera*, de 8,1 (lambrusque n°32) à 10,1 (lambrusque n°73) pour l'ensemble des lambrusques et de 7 (*V. candicans*) à 10,1 (*V. Champinii* 10180) pour les espèces américaines. Dans le cas des espèces asiatiques les variations sont comprises entre 11,5 et 13,3.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons tenu compte uniquement des 4 acides gras les plus abondants dans les pépins, les 8 autres (caprique, laurique, myristique, palmitoléique, linoléique, arachidique, eicosénoïque et béhénique) mis en évidence par MIELE (1986) n'existant qu'à l'état de traces. Les résultats que nous avons obtenus nous amènent à discuter des deux points suivants :

1) Existe-t-il un contenu en acides gras caractéristique des pépins des différentes espèces du genre *Vitis* ?

En ce qui concerne tout d'abord la teneur en acides gras des pépins, nous avons vu qu'elle varie suivant les espèces et les variétés de vignes. Mais si l'on compare chaque groupe de vignes, on constate que la synthèse des acides gras est plus intense (environ 200mg/g de matière sèche) dans les pépins des lambrusques, des espèces américaines et des espèces asiatiques que dans ceux des variétés cultivées de *Vitis vinifera* (157 mg/g de matière sèche).

Pour ce qui est du pourcentage des acides gras, c'est toujours l'acide linoléique qui est prédominant (environ 73,5 p.cent des acides gras totaux). Les 3 autres acides, oléique, palmitique et stéarique, représentent respectivement et en moyenne 16,5 p.cent, 7 p.cent et 3 p.cent des acides gras totaux quelle que soit l'espèce ce vignes.

En outre, comme nous l'avons signalé précédemment (CHERRAD et LAVAUD, 1991) pour le Grenache noir, les pépins de 1 ou 2 espèces de chaque groupe se différencient par une composition plus basse (69 p.cent) en acide linoléique et plus forte en acide oléique (21 p.cent). Autrement dit, certaines espèces sont caractérisées par des pépins chez lesquels, lors de la biosynthèse des réserves lipidiques, le processus de désaturation est moins accentué.

Par ailleurs, les résultats que nous avons obtenus en ce qui concerne les acides gras des pépins de *Vitis labrusca*, qu'il s'agisse des teneurs ou des proportions, sont tout à fait comparables à ceux donnés par MATTICK et RICE (1976) pour des échantillons de cette même espèce provenant de vignes cultivées dans l'Est des Etats-Unis.

L'ensemble de nos résultats montre donc qu'il existe une grande similitude dans le métabolisme des acides gras des pépins des différentes espèces de vigne.

Finalement, on peut dire que les pépins des vignes étudiées, qu'il s'agisse des variétés cultivées de *Vitis vinifera*, des lambrusques, des vignes américaines et des vignes asiatiques, présentent une composition en acides gras comprise dans les limites de variations suivantes:

- acide stéarique : 1,5 à 5 p.cent
- acide palmitique : 5,5 à 8 p.cent
- acide oléique : 12 à 24,5 p.cent
- acide linoléique : 67,5 à 79 p.cent

L'acide linoléique existe toujours à l'état de traces.

Cette composition en acides gras des pépins pourrait donc être commune aux différentes espèces du genre *Vitis*. Elle est très différente des pourcentages signalés pour d'autres graines (HILDITCH et WILLIAMS, 1964.), celles du lin, par exemple, dans lesquelles l'acide gras prédominant est l'acide linoléique (47 p.cent) ou encore celles de l'arachide, beaucoup moins riches en acides gras insaturés et où l'acide gras le plus abondant est l'acide oléique (56 p.cent).

2) Existe-t-il une relation entre la teneur en acides gras des pépins des différentes espèces et leur poids sec ?

On peut se demander si la teneur en acides gras des pépins des différentes espèces et variétés étudiées est en relation avec les différences de poids de ces pépins ou si ces différences de poids sont dues à d'autres constituants.

Le poids moyen d'un pépin, calculé pour les 2 années (tableau I et figure 3) subit des variations en fonction des espèces ou des variétés. Le poids d'un pépin de *V. vinifera* fluctue de 19,6 mg (Grenache noir) à 30,3 mg (Sauvignon) avec une valeur moyenne de 23,6 mg. Le poids moyen d'un pépin des vignes asiatiques, 27 mg, s'écarte peu de celui des cépages de *V. vinifera*. Chez les lambrusques, le poids d'un pépin est plus élevé : il se situe entre 25,5 mg (n° 14) à 38,4 mg (n° 73) avec une valeur moyenne de 33,7 mg.

Les vignes américaines dont les pépins sont les plus gros ont un poids qui varie de 31,4 mg (*V. Lincecumii*) à 60,5 mg (*V. Champinii* 10180) et la valeur moyenne est de 44,7 mg. On peut donc classer les espèces étudiées en fonction du poids des pépins de la façon suivante :

Vitis vinifera = espèces asiatiques < lambrusques < espèces américaines

Ce classement est le même que celui qui a été donné en fonction de la teneur des pépins en acides gras. Autrement dit, les pépins des variétés cultivées de *Vitis vinifera* qui sont petits, de même que ceux des vignes asiatiques, contiennent moins d'acides gras que les pépins des lambrusques (sauf la n°14) et des vignes américaines dont les pépins sont généralement les plus gros.

D'une manière générale, il semble donc exister une relation nette entre l'accumulation des acides gras dans les pépins et leur poids sec. Par contre, comme nous l'avons signalé

précédemment (CHERRAD et LAVAUD, 1991), l'intensité de la synthèse lipidique paraît indépendante de la grosseur du pépin, puisque de petits pépins comme ceux du Grenache noir, de la lambrusque n°14 ou de *V.amurensis* sont le siège d'une lipidosynthèse intense, alors que celle de pépins beaucoup plus lourds comme ceux de *V.labrusca* ou *V.Champinii* 10180 est plus faible.

Si l'on compare à présent les 2 années étudiées, on remarque que la teneur plus importante en acides gras observée dans certains cas en 1992 est liée, soit uniquement à l'augmentation pondérale des pépins (Baroque et *V.candicans*), soit à l'augmentation concomitante du poids des pépins et de l'intensité de la synthèse lipidique (*V.Champinii* 10180). La faible teneur en acides gras par pépin notée en 1992 pour 2 cépages de *V.vinifera* et pour *V.Lincecumii* s'explique à la fois par une diminution de poids du pépin et de sa capacité de synthèse lipidique.

En définitive, la teneur en acides gras et l'intensité de la synthèse lipidique des pépins varient suivant les vignes. Les pépins des cépages cultivés de *Vitis vinifera* dont la teneur en acides gras est la plus faible et l'intensité de la synthèse lipidique moindre se distinguent de ceux des espèces asiatiques, des lambrusques et des vignes américaines qui sont respectivement de plus en plus riches en acides gras, pour une intensité de synthèse lipidique comparable. Il existe donc des différences de teneurs en acides gras entre les pépins des diverses espèces de vignes, mais il n'en est pas de même pour ce qui est de leurs proportions. En effet, quelle que soit l'espèce de vigne, les pépins présentent une composition dont les limites de variations en acides gras, remarquablement comparables, paraissent communes aux espèces du genre *Vitis*.

Manuscrit reçu le 2 février 1993; accepté pour publication le 5 avril 1993

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATALAY D., 1975. Recherches sur l'évolution des principaux acides gras des sarments de vigne au cours du cycle végétatif et des boutures au cours de la rhizogenèse. *Thèse Docteur-Ingénieur*, Bordeaux.
- BLIGH E. et DYER W.S., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biophys*, **37**, 911-917.
- BOUARD J., 1978. *Développement des ovules et qualité des pépins. Génétique et Amélioration de la vigne*, 59-67, I.N.R.A., ed. Paris, 472 p.
- CHERRAD M. et LAVAUD J.J., 1991. Comparaison de la teneur en acides gras des pépins de 24 cépages de *Vitis vinifera* L. *J. Intern. Sc. Vigne et Vin*, **25**, n°1, 51-62.
- DARNE G. et MADERO J., 1979. Mise au point d'une méthode d'extraction des lipides solubles totaux, des glucides solubles totaux et des composés phénoliques solubles totaux des organes de la vigne. *Vitis*, **18**, 221-228.

- HILDITCH T.P. et WILLIAMS P.M., 1964. *The Chemical Constitution of Natural Fats*, 4e édition. John Wiley and Sons, New York, 745 p., in MAZLIAK, 1968.
- LAVAUD J.J. et CHERRAD M., 1980. Les lipides des différentes catégories de pépins de Cabernet Sauvignon au moment de la véraison. *Connaissance Vigne Vin*, **14**, n°3, 147-153.
- MATTICK L.R. et RICE A.C., 1976. Fatty acid composition of grape seed oil from native américain and hybrid grape varieties. *Am. J. Enol. Viticult.*, **27**, n°2, 88-90.
- MAZLIAK P., 1968. *Le métabolisme des lipides dans les plantes supérieures*. Masson et Cie éditeurs, Paris, 219 p.
- METCALFE L.P., SCHMIDT A.A. et PELKA J.P., 1966. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Ann. Chem.*, **38**, 514-515.
- MIELE A., 1986. Recherches sur la composition en acides aminés et en acides gras des feuilles et des raisins de *Vitis vinifera* L. CV. Cabernet Sauvignon pendant la période de maturation et en fonction du système de conduite. *Thèse d'Université*, Bordeaux II.