ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE ET COMPOSITION CHIMIQUE DES MOUTS DANS LES GRANDS CRUS DU MEDOC. PHENOMENES DE REGULATION

G. SEGUIN

Institut d'Œnologie, Université de Bordeaux II
351, cours de la Libération, 33405 Talence (France)

I. — ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE DANS LES GRANDS CRUS DU MEDOC

1. — Répartition dans l'espace du système racinaire de la vigne.

Dans les sols établis sur les nappes alluviales de la Garonne, l'enracinement de la vigne est caractérisé par sa **profondeur** (jusqu'à 5 mètres en Médoc où elle est très souvent limitée par la plus ou moins grande proximité de la nappe phréatique) et par **l'inégalité de la répartition verticale des racines** suivant les propriétés physiques et chimiques des sols. Il est donc nécessaire d'étudier la nutrition minérale et l'alimentation en eau de la vigne sur toute la profondeur exploitée par les racines. Cela permet de comprendre, entre autres choses, que la vie d'un végétal comme la vigne soit possible dans des sols apparemment aussi pauvres et aussi secs.

2. — Mesure de l'humidité des sols : l'humidimètre à neutrons.

L'alimentation en eau de la vigne est étudiée à l'aide d'un humidimètre à neutrons qui permet d'établir des profils hydriques donnant les pourcentages d'humidité volumique du sol en fonction de la profondeur. Le principe de cet appareil repose sur le ralentissement des neutrons par l'hydrogène, notamment par l'hydrogène de l'eau : d'une mesure à l'autre, les variations du flux de neutrons thermiques sont proportionnelles aux variations de la teneur en eau du sol. Cet appareil présente de nombreux avantages : les mesures étant effectuées dans un tube placé en permanence dans le sol, il permet de déterminer l'humidité jusqu'à de grandes profondeurs, directe-

ment sur le sol en place, trés rapidement, aussi fréquemment et aussi longtemps qu'on le désire, toujours aux mêmes niveaux et sans aucune pertubation du sol et du système racinaire des végétaux. Comme les résultats sont exprimés en humidité volumique, il est possible d'établir directement des bilans hydriques sans qu'il soit nécessaire de connaître la densité apparente du sol en place. (ANDRIEUX et al., 1962).

3. — **Alimentation en eau de la vigne avant la véraison du raisin.**

Les études poursuivies depuis 1966 dans certains grands crus classés du Haut-Médoc (SEGUIN, 1969, 1970, 1971, 1973) ont permis de préciser le mode d'alimentation en eau de la vigne. Jusqu'au début du mois d'août, alors que la vigne est en pleine croissance, les radicelles se développent dans la zone d'abaissement de la nappe phréatique. Les racines absorbent l'eau capillaire dans les couches supérieures du sol, cette eau étant plus ou moins réapprovisionnée par les pluies ; elles puisent également l'eau laissée dans le sol par la nappe phréatique tandis qu'elle s'abaisse au cours du printemps et de l'été ; elles disposent enfin d'une eau facilement utilisable qu'elles peuvent absorber à la limite supérieure de la frange capillaire (qui est une zone suffisamment aérée puisque la teneur en eau y est égale à la capacité de rétention). Pendant la première partie du cycle végétatif, l'alimentation en eau des vignes à enracinement profond se fait toujours dans de bonnes conditions, même pendant les périodes prolongées de sécheresse. Par contre les plants à enracinement superficiel, notamment les plus jeunes, souffrent du manque d'eau lorsque les mois de juin et juillet sont caractérisés par une forte aridité.

4. — **Alimentation en eau de la vigne durant la maturation du raisin.**

Généralement, à partir du mois d'août (début de l'aoûtement de la vigne et de la véraison du raisin), la croissance de la vigne s'arrête. L'abaissement de la nappe phréatique qui se poursuit n'est plus compensé par une poussée correspondante des radicelles (des forages profonds ont montré que les radicelles ne descendent pas plus bas que le niveau où se trouve la partie supérieure de la frange capillaire au début de la véraison). Le rôle de la nappe phréatique et de sa frange capillaire est donc de plus en plus réduit ; l'alimentation en eau de la vigne dépend alors de la réserve en eau utile (liée à la teneur en eau du sol et à la profondeur exploitée par les racines), du potentiel capillaire (qui représente l'énergie avec laquelle l'eau est retenue par les micropores) et enfin de la pluviosité (répartition et intensité).

5. — **Régulation de l'alimentation eau de la vigne.**

Compte-tenu de ce qui précède et notamment de la profondeur de sol exploitée par les racines, on comprend que les vieilles vignes à **enracinement profond** souffrent assez peu de la sécheresse, même pendant la période de maturation où la nappe phréatique ne joue plus aucun rôle dans l'alimentation en eau de la vigne.

Inversement, lorsque les précipitations sont particulièrement abondantes comme en 1968 et 1969 (tableau I), elles sont peu sensibles aux excès d'humidité. Ces sols de grands crus sont en effet caractérisés par une perméabilité remarquablement élevée : **moins de 24 heures** après de fortes pluies, la teneur en eau du sol est voisine de la capacité de rétention (on observe un très léger excès d'eau libre en profondeur mais qui est loin d'atteindre la saturation complète définie par le profil hydrique de la nappe phréatique) (SEGUIN, 1969, 1970). Il faut ajouter que, grâce à la position topographique des grands crus, sur des croupes dominant la Gironde ou ses petits affluents (les jalles), les eaux de drainage sont facilement évacuées.

On peut également noter qu'après de fortes précipitations (mais n'atteignant pas des valeurs aussi élevées qu'en 1968 et 1969), l'eau apportée par les pluies reste localisée dans les couches superficielles du sol. Les taux d'humidité étant plus forts, le potentiel capillaire diminue ce qui facilite l'absorption de l'eau par les racines. Dans le cas d'un enracinement superficiel, toutes les racines se trouvent dans la zone humectée par la pluie : l'absorption d'eau est brutale et importante. Dans les sols à enracinement profond, les racines se répartissent plus ou moins inégalement sur toute la hauteur du profil si bien que la densité des radicelles (et par conséquent **les surfaces absorbantes)** se trouvant dans la couche superficielle humectée par la pluie est beaucoup plus faible que dans le cas précédent : l'absorption d'eau y est limitée et surtout très progressive. Cette absorption est également réduite dans les couches profondes **plus sèches** car l'eau y est retenue d'une manière plus énergique. En définitive, il a été démontré par des déterminations chiffrées que l'évapotranspiration réelle **après une pluie** est nettement plus faible dans les sols perméables à enracinement profond (SEGUIN, 1970). En plus de cet effet régulateur qui est un caractère essentiel des grands crus médocains, cette particularité présente l'avantage de limiter l'afflux d'eau dans les baies et leur éclatement qui est généralement la cause de leur invasion par la pourriture grise (SEGUIN, 1969 ; SEGUIN et COMPAGNON, 1970).

TABLEAU I

CONDITIONS CLIMATIQUES MOYENNES DURANT LA MATURATION DU RAISIN

	Tm. Max.	Tm. Min.	T. Moy.	Pluviosité	Ensoleil-lement
1966 17. VIII- 21. IX	24,8	11,9	18,35	24,4	7,7
1967 17. VIII- 21. IX	25,0	11,0	18,0	42,2	7,6
1968 26. VIII- 23. IX	22,2	12,7	17,45	264,2	5,1
1969 26. VIII- 22. IX	21,4	12,8	17,10	283,0	
1970 19. VIII- 21. IX	24,0	10,7	17,35	66,2	7,3
1971 18. VIII- 23. IX	25,0	11,9	18,45	76,5	
1972 2. IX - 6. X	20,7	8,8	14,75	19,7	
1973 21. VIII- 25. IX	24,8	12,7	18,75	68,0	

Les températures (°C) ont été relevées sous abri à 2 m du sol.

Tm Max = moyenne des températures maximales

Tm Min = moyenne des températures minimales

T. Moy = températures moyennes

La pluviosité est exprimée en mm de hauteur d'eau. Les durées d'ensoleillement (moyennes en heures par jour) ont été relevées à la Station météorologique de Bordeaux-Mérignac.

Les dates de demi-véraison (moyenne) et du début des vendanges sont indiquées sous les années.

Tous ces phénomènes limitant les effets d'une forte sécheresse comme d'une pluviosité excessive, on comprend que le vin produit soit encore de bonne qualité lorsque l'été est caractérisé par des conditions climatiques extrêmes.

II. — INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA MATURATION DU RAISIN : TECHNIQUES D'ETUDES ET RESULTATS

Les études ont été faites, à Cantenac et Saint-Julien, sur quatre sols, (3 en 1966 et 2 en 1973) caractéristiques des grands crus médocains dont la profondeur d'enracinement varie de 100 cm à 500 cm. Sur chacun des sols, les grains de raisins (Merlot noir) ont été prélevés régulièrement (toutes les semaines à partir de la demi-véraison), selon une technique qui permet d'obtenir un échantillon représentatif de la population (RIBÉREAU-GAYON et PEYNAUD, 1960).

La composition chimique des jus de raisins, indiquée dans le tableau II, correspond à la valeur moyenne des résultats obtenus, à partir des baies récoltées **au début des vendanges** (et le même jour), sur chacun des sols.

La durée de maturation (nombre de jours de la demi-véraison au début des vendanges) a varié, suivant les années, de 33 à 36 jours, à l'exception de 1968 (28 jours) et de 1969 (27 jours) où le Merlot a été vendangé prématurément (en raison d'une attaque importante de pourriture grise) alors qu'il n'avait pas atteint un degré suffisant de maturité. Ces deux années ayant été caractérisées par une pluviosité estivale anormalement élevée (tableau I), l'alimentation en eau de la vigne a dû se faire dans d'excellentes conditions mais l'évapotranspiration réelle n'a pas été chiffrée avec précision (une partie de l'eau de pluie a rejoint les nappes phréatiques, dont les niveaux ont remonté, échappant ainsi à notre contrôle). Les résultats concernant ces deux années ont été indiqués à part dans le tableau II et n'ont pas été pris en compte lors de l'analyse statistique.

Les différentes années ont été classées suivant la " qualité " de l'alimentation en eau de la vigne qui est appréciée par le pourcentage de l'évapotranspiration réelle (ETR) par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP). L'ETP a été caculée par la formule de THORNTHWAITE dans laquelle seule la température de l'air est prise explicitement en compte ; cette température a été relevée dans des abris météorologiques installés à proximité des points d'étude. L'évapotranspiration réelle a été déterminée à l'aide des profils hydriques (la quantité d'eau perdue ou gagnée par le sol est proportionnelle à la surface comprise entre deux profils hydriques). Pour établir les bilans hydriques, il faut tenir compte de la pluviosité locale (mesurée avec un pluviomètre).

TABLEAU II

QUALITE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE ET CONSTITUTION CHIMIQUE DES JUS DE RAISINS AU DEBUT DES VENDANGES (Merlot noir)

	$\frac{ETR.100}{ETP}$ (%)	Sucres réducteurs (g/l)	Acide tartrique (mEq/l)	Acide malique (mEq/l)	AT+AM (mEq/l)	$\frac{AM}{AT}$
1966	42	200	99	19	118	0,19
1973	69	198	113	14	127	0,12
1971	73	212	110	20	130	0,18
1967	77	202	97	38	135	0,39
1970	86	203	106	33	139	0,31
1972	90	209	114	57	171	0,50
r			0,47	0,69	0,79	0,65
s. p.			0,3-0,4	0,1-0,2	0,05-0,1	0,1-0,2
1968		167	100	42	142	0,42
1969		181	128	40	168	0,31

(r) = coefficient de corrélation — (s.p.) = seuil de probabilité (STUDENT-FISHER) — L'analyse statistique ne porte que sur les six premières années.

En 1972, la maturation a été très tardive (retard d'environ deux semaines par rapport à la normale) si bien que les températures moyennes ont été basses et les valeurs d'ETP beaucoup plus faibles que les autres années ; comme cette année-là on avait observé des précipitations considérables (140 mm) vers le 15 août, l'alimentation en eau de la vigne s'est faite dans d'excellentes conditions. D'autre part, en fin de maturation, les pédicelles étaient desséchés et le raisin a subi une légère surmaturation qui a abouti à une concentration de ses divers constituants.

En 1973, la maturation du raisin a été caractérisée par de nombreuses anomalies et de grandes variations suivant les régions viticoles et le type de sol (SEGUIN, 1973).

Les études n'ont pas été poursuivies au-delà de 1973 (détérioration de deux tubes de mesure).

La formule de THORNTHWAITE sous-estime parfois les valeurs de l'ETP, notamment les jours de vent et ceux où l'humidité relative de l'air est basse, si bien que les pourcentages de ETR par rapport à ETP, indiqués dans le tableau II, sont sans doute plus élevés qu'ils ne l'ont été réellement ; cela permet néanmoins de comparer les années entre elles. Ces pourcentages représentent une valeur moyenne calculée sur toute la durée de maturation ; ils peuvent donc correspondre, comme en 1970, à des alternances de mauvaise et de très bonne alimentation en eau. On pourra trouver une analyse détaillée de ces résultats dans diverses publications (SEGUIN, 1969, 1970, 1971, 1973).

Les sucres réducteurs ont été dosés par la méthode de BERTRAND.

L'acide tartrique a été dosé par la méthode au racémate de KLING-PEYNAUD et, pour 1973, par la méthode de l'OIV.

La teneur en acide malique a été déterminée par un dosage microbiologique avec Schizosaccharomyces.

Remarque : Il est évident, que d'autres facteurs (températures, ensoleillement, richesse chimique du sol, etc) interviennent dans la maturation du raisin mais, pour cette étude, seule l'influence de l'alimentation en eau de la vigne sera envisagée, dans la mesure où il est possible de la considérer indépendamment des autres facteurs naturels.

III. — INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA TENEUR EN SUCRES REDUCTEURS DES JUS DE RAISINS

On sait (INRA, 1964) que la photosynthèse dépend, pour une très grande part, de l'alimentation en eau des végétaux. Si le débit d'eau que le " système sol-plante " est capable d'évapotranspirer est insuffisant pour satisfaire la demande climatique (évapotranspiration potentielle), les stomates se ferment plus ou moins, ce qui permet au végétal de conserver une teneur en eau compatible avec la vie. Mais lorsque les stomates sont fermés, le gaz carbonique ne pénètre plus dans les feuilles et la photosynthèse s'arrête : la production des glucides est liée à la qualité de l'alimentation en eau.

Il est donc assez surprenant de constater (tableau II) que la teneur en sucres réducteurs des jus de raisins varie peu d'une année à l'autre ($\pm$ 4 p. 100) et cela pour des durés de maturation à peu près semblables. Mais les mesures de rendement que nous avons faites confirment cette théorie : les quantités de sucres produites par hectare dépendent, pour

une part, de l'alimentation en eau de la vigne, sans qu'il y ait toutefois une bonne corrélation en raison de l'imbrication de nombreux autres facteurs (gel, coulure, millerandage, ensoleillement, températures, etc...).

Si l'on considère des **années comparables** où, durant la maturation du raisin, les sommes des températures moyennes et des durées d'ensoleillement (tableau I) ont été semblables (écarts inférieurs à 2 p. 100), on constate qu'en 1966 (année de mauvaise alimentation en eau) et en 1967 (année de bonne alimentation en eau) les teneurs en sucres des jus de raisins ont été équivalentes (tableau II) mais les rendements furent, en 1967, supérieurs de 30 p. 100 à ceux de 1966.

Il existe donc des phénomènes de régulation mais dont les mécanismes sont mal connus. Il faut souligner que dans d'autres régions viticoles et notamment dans celles où l'on produit des vins de consommation courante, les teneurs en sucres des moûts varient dans de larges proportions suivant les années.

On notera que, dans le cadre de cette étude, les baies ayant été prélevées au tout début des vendanges (et quelquefois deux ou trois jours avant), les raisins qui restent sur souche continuent à s'enrichir en glucides si bien que les moûts entrant dans les cuves de fermentation sont encore plus sucrés que ne l'indique le tableau II.

IV. — INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA TENEUR EN ACIDE TARTRIQUE DES JUS DE RAISINS

La vigne est l'un des rares végétaux qui synthétisent de l'acide tartrique en grande quantité. Il a été démontré, en utilisant des molécules marquées au ^{14}C (RIBÉREAU-GAYON, 1966) que sa biosynthèse est généralement nulle durant la maturation du raisin puisque ne pouvant se faire que dans des organes jeunes en cours de croissance. Durant la maturation du raisin, sa teneur dans les jus diminue en raison de la dilution ; mais si l'on rapporte les valeurs trouvées à 1000 grains par exemple, on constate que, pour des **conditions climatiques normales,** elles varient peu de la véraison à la maturité des baies.

PEYNAUD (1946) a observé cependant des diminutions par combustation respiratoire au cours des périodes de forte chaleur et, inversement, des apports à la suite de pluies importantes " qui augmentent la circulation de l'eau dans la souche ". Les études que nous avons faites par la suite ont permis de préciser que ces variations dépendaient de la

réserve en eau utile du sol et **étaient liées aux valeurs de l'ETR.** L'hypothèse proposée pour expliquer les apports d'acide tartrique au raisin, à un moment où sa biosynthèse est en principe nulle, est que cet acide accumulé dans les racines (RIBÉREAU-GAYON, 1966) serait transporté jusqu'aux baies par la circulation ascendante de l'eau. Il s'agit vraisemblablement d'un phénomène continu mais qui n'apparaît nettement qu'après une période de forte pluviosité.

Or on constate dans le tableau II que la teneur en acide tartrique des moûts est relativement indépendante de la qualité de l'alimentation en eau (très mauvaise corrélation) et présente une certaine constance ($\pm$ 9 p.100) Ce phénomème de régulation s'explique assez facilement. Lorsque les températures sont élevées, les dégradations par combustion respiratoire sont importantes ; mais si les températures sont élevées, l'ETP l'est également, de même que l'ETR dont la valeur est proche de celle d'ETP dans la mesure où le sol est bien pourvu en eau : les apports d'acide tartrique au raisin sont alors plus importants et compensent les fortes pertes par combustion respiratoire. Inversement, si les températures sont basses, les pertes par combustion respiratoire sont limitées ; mais alors l'ETP est faible et l'ETR également. Les apports réduits d'acide tartrique compensent les faibles pertes par combustion respiratoire. Cela permet de comprendre que les **quantités** d'acide tartrique contenues dans les baies varient peu de la véraison à la maturité du raisin.

Il reste à expliquer les cas extrêmes où l'on peut observer des diminutions ou des augmentations notables. Les augmentations sont quelquefois appréciables, même lorsque l'on considère les teneurs par litre de jus de raisins et cela malgré le phénomène de dilution (il ne s'agit pas ici d'une surmaturation).

Après une période de sécheresse, la réserve en eau utile diminue et le potentiel capillaire augmente. Par suite de la régulation stomatique, l'ETR est alors très réduite et présente un déficit important par rapport à une ETP élevée correspondant à **de fortes températures :** les pertes par combustion respiratoire sont supérieures aux apports.

Au cours d'une période de forte pluviosité, les températures sont généralement basses et les combustions respiratoires très réduites ; mais la pluie rétablit dans le sol une teneur en eau voisine de la capacité de rétention si bien que l'alimentation en eau de la vigne est alors optimale. Bien que les valeurs de l'ETP soient faibles, celles de l'ETR sont relativement élevées puisque peu différentes de l'ETP. Les apports d'acide tartrique au raisin sont alors supérieurs aux pertes par combustion respiratoire.

V. — INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA TENEUR EN ACIDE MALIQUE DES JUS DE RAISINS.

L'acide malique est beaucoup moins stable que l'acide tartrique et sa dégradation par combustion respiratoire (PEYNAUD, 1946) ou par transformation en glucides (RIBÉREAU-GAYON, 1966) l'emporte toujours sur les gains. Que l'on considère les quantités contenues dans 1000 baies et à plus forte raison la teneur dans les jus de raisins, elles diminuent constamment de la véraison à la maturité du raisin.

Le tableau II montre que les moûts sont d'autant plus riches en acide malique que l'alimentation en eau de la vigne se fait dans de bonnes conditions mais sans qu'il y ait cependant une très bonne corrélation en raison de l'influence prépondérante des températures sur les phénomènes de combustion respiratoire.

On pourrait objecter que les années de bonne alimentation en eau sont souvent des années pluvieuses où les températures sont plutôt basses. Ce n'est pas le cas ici : il se trouve, qu'en Haut-Médoc, durant la maturation du raisin, la pluviosité a été inférieure à la normale saisonnière en 1967 (42 mm), 1970 (66 mm) et 1972 (20 mm) alors que les températures avaient été très proches de la normale en 1967 et 1970 (tableau I).

On peut également constater que, pour une année donnée, l'acide malique est toujours plus abondant dans les raisins récoltés sur des sols humides.

Il n'y a donc pas de phénomène de régulation aussi marqué que pour l'acide tartrique. La biosynthèse de l'acide malique qui, à l'inverse de celle de l'acide tartrique, se poursuit durant la maturation du raisin, semble d'autant plus importante que l'alimentation en eau permet un meilleur fonctionnement physiologique de la vigne.

VI. — INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR L'ACIDITE TOTALE DES JUS DE RAISINS

On peut voir dans le tableau II que la somme acide tartrique (AT) plus acide malique (AM) est d'autant plus élevée que l'alimentation en eau de la vigne se fait dans de bonnes conditions (corrélation significative au seuil de 5 p. 100). On doit cependant noter que les différences d'une année à l'autre viennent davantage de l'acide malique que de

l'acide tartrique (voir rapport acide malique/acide tartrique) et que ces acides sont plus ou moins salifiés.

La qualité de l'alimentation en eau a donc des répercussions importantes sur l'acidité des moûts mais une influence plus réduite sur l'acidité du vin puisqu'il y a perte d'une fonction acide lors de la transformation de l'acide malique en acide lactique (fermentation malolactique).

CONCLUSION

Au cours de cette étude nous avons essayé de mettre en évidence des corrélations chiffrées entre la qualité de l'alimentation en eau de la vigne (ETR/ETP) et la constitution chimique des moûts. Malgré l'interférence d'autres facteurs naturels (températures, ensoleillement, nature des sols, etc...), il apparaît que la richesse en acides des moûts (et notamment la teneur en acide malique) est d'autant plus grande que l'alimentation en eau de la vigne se fait dans de bonnes conditions (il s'agit ici de la **qualité de l'alimentation en eau et non de la pluviosité** puisque nous avons eu l'occasion de souligner qu'il pouvait y avoir une très bonne alimentation en eau de la vigne avec de faibles précipitations).

Concernant les teneurs en sucres réducteurs et en acide tartrique (qui est le principal acide du moût et du vin), il intervient des phénomènes de régulation qui, **dans ces grands crus médocains,** permettent d'obtenir un vin dont les deux principaux constituants varient dans des marges relativement étroites d'une année à l'autre.

Manuscrit reçu le 27 février 1975.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDRIEUX C., BUSCARLET L., GUITTON J. et MERITE B., 1962. Mesure en profondeur de la teneur en eau des sols par ralentissement des neutrons rapides. **Industries atomiques 3-4,** 63-70 et **5-6,** 72-80.

COMPAGNON J., 1970. Alimentation en eau de la vigne dans quelques sols des Graves. Influence sur le raisin. **Thèse Doctorat 3e Cycle,** Bordeaux.

INRA, 1964. **L'eau et la production végétale,** 455 p., Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.

PEYNAUD E., 1946. Contribution à l'étude biochimique de la maturation du raisin et de la composition des vins. **Thèse Ingénieur-Docteur,** Bordeaux.

RIBÉREAU-GAYON J. et PEYNAUD E., 1960. **Traité d'œnologie,** 1818 p., 2 tomes, Béranger, Paris.

RIBÉREAU-GAYON G., 1966. Etude du métabolisme des glucides, des acides organiques et des acides aminés chez **Vitis vinifera** L., 148 p., **Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques,** INRA, Paris.

SEGUIN G., 1969. L'alimentation en eau de la vigne dans des sols du Haut-Médoc. **Conn. Vigne Vin, 2,** 93-141.

SEGUIN G., 1970. Les sols de vignobles du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. **Thèse Doctorat ès Sciences naturelles,** Bordeaux.

SEGUIN G., 1971. L'alimentation en eau de la vigne et la maturation du raisin en 1970 sur quelques sols typiques du Haut-Médoc. **Conn. Vigne Vin, 3,** 293-313.

SEGUIN G., 1973. Caractères particuliers de l'alimentation en eau de la vigne en 1973 dans un sol typique du Médoc. Conséquences sur la maturation du raisin. **C.R. Acad. Sci., 277 D,** 2493-2496.

SEGUIN G. et COMPAGNON J., 1970. Une cause du développement de la pourriture grise sur les sols gravelo-sableux du vignoble bordelais. **Conn. Vigne Vin, 2,** 203-214.