Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1994, **28**, N°2, 81-110

INCIDENCES DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE, APPRECIÉE PAR L'ETAT HYDRIQUE DU FEUILLAGE, SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'APPAREIL VÉGÉTATIF ET LA MATURATION DU RAISIN (*VITIS VINIFERA* VARIÉTÉ CABERNET FRANC, SAINT-EMILION 1990)

C. VAN LEEUWEN et G. SEGUIN

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

Résumé : *Dans huit parcelles de l'A.O.C. Saint-Emilion, dont certaines possèdent une nappe d'eau à portée des racines, nous avons étudié le régime hydrique par des mesures du potentiel hydrique foliaire au cours d'un été chaud et sec (1990) sur le cépage Cabernet franc. Ce potentiel est faiblement négatif sur les sols avec une nappe d'eau, ce qui indique que l'alimentation en eau de la vigne n'y est pas ou peu limitée. Il est fortement négatif à partir de la véraison sur les sols sableux à sous-sol très argileux et le plus fortement négatif sur un sol graveleux. Dans une parcelle située sur le calcaire à Astéries, le potentiel foliaire est assez fortement négatif au moment de la véraison, mais la diminution ne se poursuit pas jusqu'au moment des vendanges.*

La plupart des caractéristiques viticoles et oenologiques que nous avons mesurées sur les différentes parcelles sont corrélées avec les valeurs du potentiel foliaire. Sur les sols où l'alimentation en eau de la vigne est abondante, le cycle phénologique de la vigne est plus tardif, la vitesse de croissance et la longueur totale des rameaux sont plus importantes et le poids des bois de taille est plus élevé. En revanche, la puissance et la vigueur des souches sont plus faibles si l'alimentation en eau est limitée. Sur les sols avec une nappe d'eau, le poids des baies est plus élevé, les raisins sont moins riches en sucre, en anthocyanes et en composés phénoliques et plus riches en acide malique par rapport aux sols qui induisent un déficit hydrique. Cet état de fait traduit un potentiel oenologique moins intéressant.

Ces observations soulignent l'importance de l'alimentation en eau de la vigne, en zone tempérée, sur le comportement de la vigne et l'intérêt d'un régime hydrique modéré pour l'obtention d'un fruit de bonne qualité oenologique.

INTRODUCTION

Saint-Emilion, une des plus prestigieuses A.O.C. de vins rouges du Bordelais, couvre près de 5.400 ha sur la rive droite de la Dordogne, en amont de la ville de Libourne.

La morphologie du Saint-Emilionnais est le résultat de la succession d'une phase de "construction", la mise en place des molasses et des calcaires tertiaires, et d'une phase de

"destruction", le creusement des couloirs que constituent les vallées de l'Isle et de la Dordogne, accompagné de dépôts alluviaux (ENJALBERT, 1983). Sur des roche-mères variées, laissées à l'affleurement, divers processus pédologiques, ont abouti à une forte hétérogénéité des sols (GUILLOUX et *al.*, 1978 ; VAN LEEUWEN, 1989 ; VAN LEEUWEN et *al.*, 1989).

La vigne s'y présente à l'état de monoculture; l'encépagement est dominé par le Merlot noir, complété par le Cabernet franc et, dans de faibles proportions, par le Cabernet-Sauvignon et le Cot.

Depuis une quinzaine d'années, l'alimentation en eau de la vigne a été décrite dans ces divers sols à l'aide de profils et de bilans hydriques, établis par la méthode neutronique (DUTEAU, 1980, 1982, 1987). Le régime hydrique, mais aussi d'autres facteurs naturels, influent fortement sur la composition de la vendange (DUTEAU, 1981).

La cartographie pédologique du vignoble de Saint-Emilion a révélé l'existence de superficies importantes de sols possédant une nappe d'eau à portée des racines pendant au moins une partie du cycle végétatif (VAN LEEUWEN, 1989 ; 1991). A partir de ce constat, a priori surprenant, nous nous sommes proposés de préciser le fonctionnement hydrique de quatre sols et d'en étudier les conséquences sur la vigne et la maturation du raisin. La méthode neutronique ne permettant pas d'obtenir des bilans fiables en présence d'une nappe d'eau libre, nous avons effectué une autre approche par la mesure du potentiel hydrique foliaire (SCHOLANDER et *al.* 1965 ; SMART et COOMBE, 1983). Par la suite, nous avons tenté de correler l'état hydrique du feuillage avec le développement et la croissance de la plante puis avec la constitution des raisins (pulpe et pellicule). En tant que référence, nous avons étudié, par la même méthodologie, quatre autres sols, sans nappe d'eau, situés dans la même région: deux sols bruns sableux à sous-sol argileux mais avec un enracinement plus ou moins profond, un sol brun gravelo-sableux et un sol brun calcaire au-dessus du calcaire à Astéries, tous les quatre réputés pour la haute qualité du vin que l'on y produit.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I — CARACTÉRISTIQUES VITICOLES DES PARCELLES ÉTUDIÉES

A partir de 34 parcelles présélectionnées, nous en avons retenu 8 (figure 1) qui correspondaient aux types de sol, mentionnés ci-dessus, et qui présentaient par ailleurs la plus grande homogénéité possible : porte-greffe conférant une vigueur moyenne à faible au greffon (3309C ou 101-14MG ; 41B dans le sol calcaire), vigne d'une trentaine d'années, taille guyot simple, rognage de la végétation, destruction des mauvaise herbes par des travaux superficiels du sol, densité de plantation d'environ 6.000 pieds par hectare, vignes issues d'une sélection massale.

Afin de limiter l'incidence de rendements anormalement élevés, nous avons éliminé une partie des inflorescences, de manière à ne pas dépasser des charges supérieures à 10 grappes par pied. La diminution de la récolte, calculée en comparant le poids de vendange avec celui de ceps voisins non éclaircis, s'élève à 20 p. cent en moyenne (tableau I).

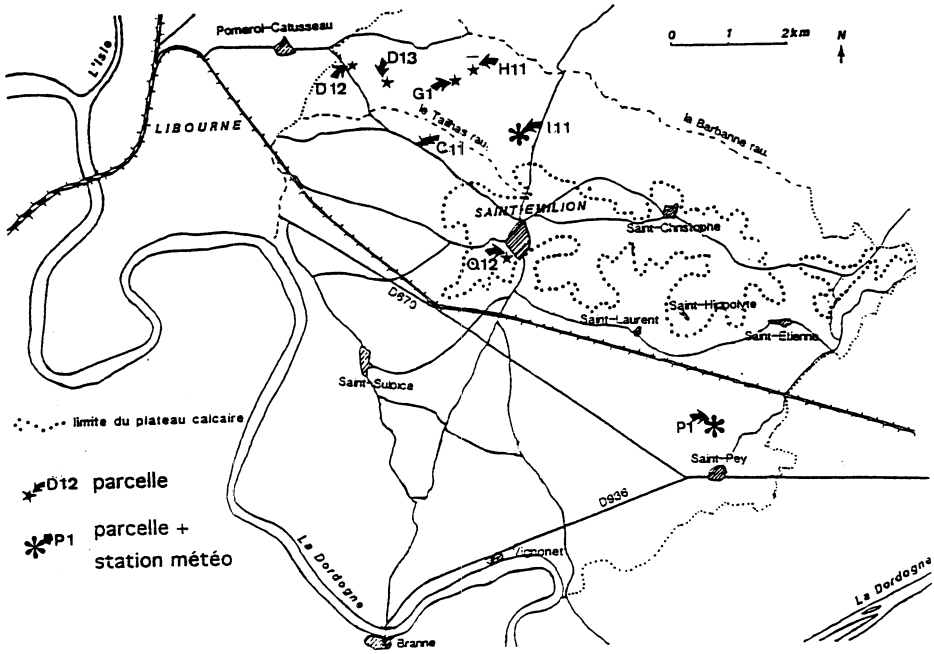


Fig. 1 — Emplacement des parcelles étudiées dans l'A.O.C. Saint-Emilion

TABLEAU I

Rendements sur les parcelles étudiées (kg/cep) après éclaircissage. Importance de la diminution de charge en pourcentage

	Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	Moyenne
Parcelles	P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	
Rendement après éclaircissage (kg/cep)	2,5	1,8	2,1	1,5	1,6	1,8	1,4	0,7	1,7
Diminution de rendement par rapport à un témoin non éclairci (%)	30	20	30	0	45	25	15	0	20

II — TYPES DE SOL ÉTUDIÉS

1°) Parcelles P1, G1, C11 et D13

Ces quatre parcelles se situent sur un sol sableux en surface mais plus ou moins argileux en profondeur (texture de la parcelle G1: figure 2); ces sols sont en outre caractérisés par la présence d'une nappe d'eau permanente ou quasi-permanente à portée des racines.

Bien que l'amplitude de battement de cette nappe soit importante si l'été est relativement peu pluvieux (figures 3a et 3b), elle doit intervenir dans l'alimentation en eau de la vigne, par le biais de sa frange capillaire.

Les horizons proches de la surface sont relativement riches en matière organique (tableau II) mais, en raison d'un rapport C/N élevé, les teneurs en azote total sont faibles. L'alimentation azotée de la vigne devrait être peu importante (en faisant abstraction d'éventuels apports sous forme minérale par les fumures). La quantité de phosphore assimilable est élevée à proximité de la surface.

La capacité d'échange cationique est faible dans les horizons sableux (0 à 90 cm) et un peu plus élevée en profondeur, dans le substrat sablo-argileux (90 à 180 cm). Le complexe adsorbant n'est pas toujours saturé et les pH sont proches de 6 ; les teneurs en potassium ne sont pas très élevées dans les horizons sableux, mais supérieures à celles en magnésium, ce qui pourrait induire une carence magnésienne.

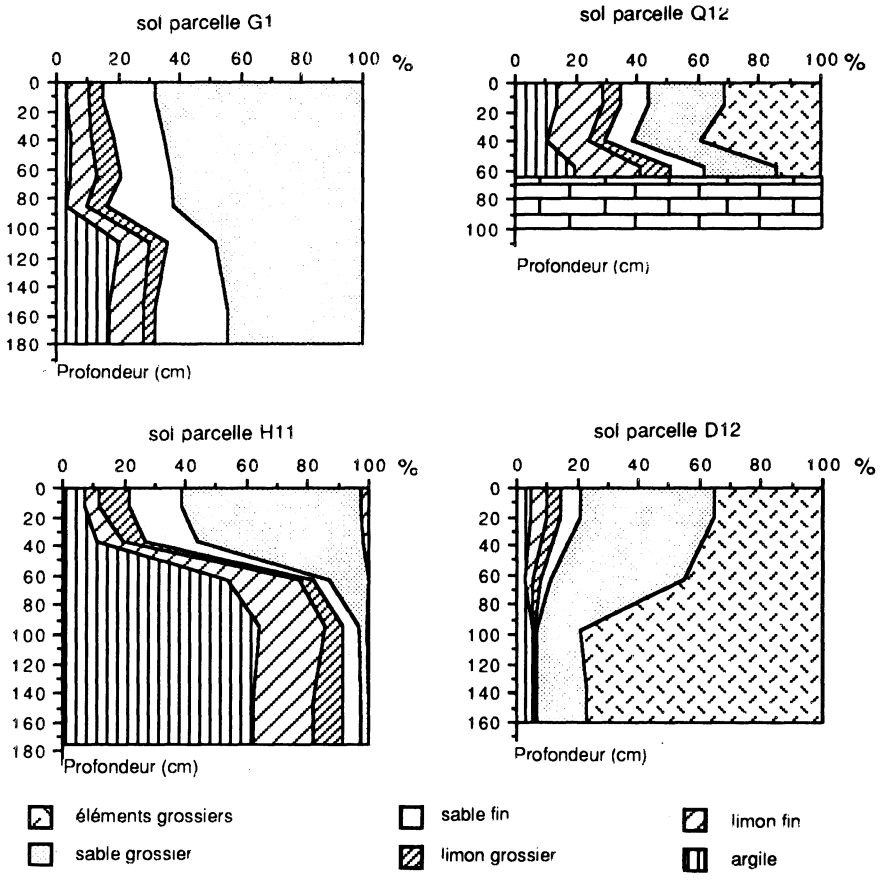


Fig.2 — Pourcentage des différentes fractions granulométriques de la terre brute en fonction de la profondeur des parcelles G1, Q12, H11 et D12

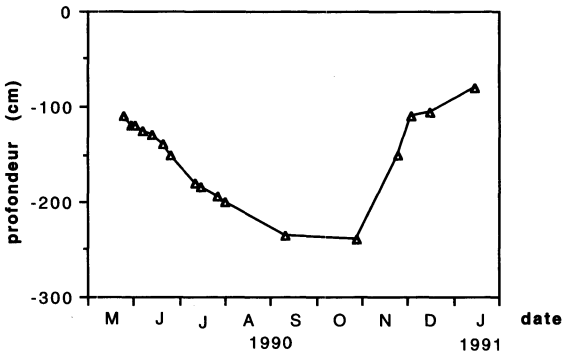


Fig. 3a — Evolution de la profondeur de la nappe d'eau en 1990 dans la parcelle G1

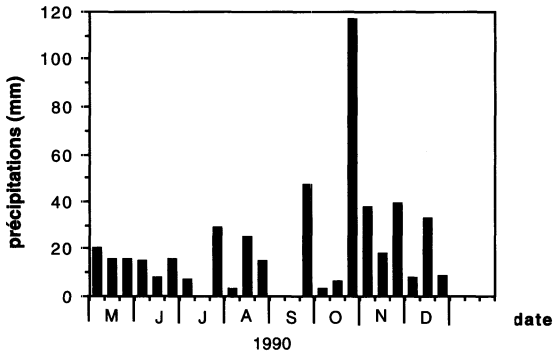


Fig. 3b — Précipitations en 1990 (station P1)

En réalité, la nutrition minérale de la vigne dépend de la colonisation par les racines des couches sablo-argileuses profondes, où les capacités d'échange sont plus élevées et où la répartition des différents éléments sur le complexe adsorbant est mieux équilibrée; mais la survie des racines y est constamment menacée par les conditions asphyxiantes liées à la nappe d'eau.

2°) Parcelle Q12

Le sol de cette parcelle est de type brun calcaire, à texture sablo-limoneuse, et se situe au-dessus du calcaire à Astéries compact (figure 2).

En raison de la porosité élevée du rocher calcaire, il n'y a jamais de stagnation d'eau. Ce type de sol est réputé pour la qualité des vins que l'on y produit: le vignoble de huit des onze Premiers Grands Crus Classés de Saint-Emilion se trouve, au moins en partie, sur ce type de terrain.

TABLEAU II

Résultats analytiques du profil G1

Profondeur (cm)	0-25	25-50	50-80	80-90	90-130	130-180
Gravier et caillou (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Terre fine (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
- sable grossier	67,8	65,7	62,8	62,2	48,6	44,7
- sable fin	17,0	16,4	16,7	21,5	15,6	23,1
- limon grossier	4,9	6,6	7,4	6,3	6,0	3,9
- limon fin	7,0	6,8	8,4	6,7	9,4	11,4
- argile	3,3	4,6	4,9	3,3	20,4	16,9
Texture G.E.P.P.A.	S.	S.	s.	S.	s.a.	s.a.
Humidité équivalente	12,4	14,3	16,0	9,5	22,3	18,9
Matière (%)	1,38	2,60				
Carbone organique (%)	0,80	1,51				
Azote total (%)	0,055	0,058				
C/N	14,5	26,0				
Complexe adsorbant						
- Potassium (meq/100g)	0,46	0,18	0,30	0,09	0,26	0,23
- Sodium (meq/100g)	0,08	0,13	0,02	0,10	0,15	0,19
- Magnésium (meq/100g)	0,34	0,13	0,06	0,04	0,28	0,78
- Calcium (meq/100g)	++	++	1,1	1,2	6,4	++
- S (meq/100g)	++	++	1,5	1,4	7,1	++
- C.E.C.(meq/100g)	4,3	4,5	4,6	1,7	8,1	7,0
- V %	sat.	sat.	33	84	87	sat.
pH	5,9	6,0	5,8	6,0	6,1	6,1
P_2O_5 ass. DYER (%)	0,044					

Ce sol très peu profond présente une structure grumeleuse stable, surtout à proximité de la surface, grâce à la texture équilibrée, l'abondance de l'humus et la présence de calcaire actif (tableau III). Les teneurs en matière organique et en azote total sont élevées pour un sol viticole; cependant, une alimentation azotée excessive de la vigne n'est pas à craindre puisque, en présence de calcaire actif, l'humus est stabilisé et sa minéralisation est environ deux fois plus lente que dans un sol non calcaire. La capacité d'échange cationique est assez élevée mais la faible profondeur du sol limite les quantités d'éléments nutritifs à la disposition de la vigne; en profondeur, ce sol est riche en potassium (7 à 11 p. cent de la C.E.C.). Les pH sont relativement faibles, compte tenu de l'abondance du calcaire. Les teneurs en phosphore assimilable sont élevées à proximité de la surface, malgré la possibilité d'une rétrogradation apatitique en présence de calcaire actif.

TABLEAU III

Résultats analytiques du profil Q12

Profondeur (cm)	0-30	30-50	50-65
Caillou (%)	2,4	0,7	0,0
Gravier (%)	29,0	38,4	14,2
Terre fine (%)	68,6	60,9	85,8
- sable grossier	36,2	37,2	27,3
- sable fin	13,4	14,8	13,6
- limon grossier	8,6	8,5	10,8
- limon fin	22,0	22,1	25,6
- argile	19,9	17,4	22,6
Texture G.E.P.P.A.	s.li.	s.li.	l.a.
Humidité équivalente	24,2	21,1	19,8
Matière organique (%)	3,59	1,58	1,29
Carbone organique (%)	2,09	0,92	0,75
Azote totale (%)	0,190	0,09	0,08
C/N	11,0	10,2	9,4
Complexe adsorbant			
- Potassium (meq/100g)	0,73	0,90	1,68
- Sodium (meq/100g)	0,40	0,55	0,40
- Magnésium (meq/100g)	0,86	0,85	1,25
- Calcium (meq/100g)	++	++	++
- S (meq/100g)	++	++	++
- C.E.C.(meq/100g)	18,5	12,4	14,8
- V (%)	sat.	sat.	sat.
pH	7,2	7,6	7,8
P_2O_5 ass. Jor.-Héb. (%)	0,047		
Calcaire total (%)	41,0	46,4	36,4
Calcaire actif (%)	9,7	10,9	9,5

3°) Parcelles H11 et I11

Deux parcelles se situent sur un sol sableux à sous-sol très argileux: H11 où la profondeur de l'enracinement est limitée à 1 mètre environ (figure 2) et I11 où l'enracinement est plus profond. Malgré la superposition de deux niveaux à textures très différentes, nous n'avons pas observé de stagnation d'eau prolongée dans ces sols. Ce type de sol est réputé pour ses bonnes potentialités viticoles: les deux parcelles font partie de Grands Crus Classés.

A titre d'exemple nous donnons une interprétation sommaire des résultats analytiques de la parcelle H11 (tableau IV). Les teneurs en matière organique sont normales pour un sol viticole mais, en raison des rapports C/N plutôt élevés, la teneur en azote total est faible. La quantité de phosphore assimilable est très élevée à proximité de la surface, probablement à cause d'importants apports par les fumures.

Les valeurs de la capacité d'échange cationique, moyennement élevées à proximité de la surface, sont importantes dans les couches argileuses.

TABLEAU IV

Résultats analytiques du profil H11

Profondeur (cm)	0-25	25-50	50-75	75-115	115-175
Caillou (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gravier (%)	2,2	1,7	0,0	0,4	0,0
Terre fine (%)	97,4	98,3	100,0	99,6	100,0
- sable grossier	60,5	55,4	13,2	3,0	2,8
- sable fin	17,5	16,9	4,9	4,8	5,9
- limon grossier	9,7	7,8	5,1	6,1	9,7
- limon fin	4,5	8,4	22,9	21,7	19,8
- argile	7,7	11,4	53,9	64,4	61,8
Texture G.E.P.P.A.	s.	s.	A	Alo	Alo
Humidité équivalente	17,1	13,6	31,2	33,1	32,3
Matière organique (%)	1,74	1,58			
Carbone organique (%)	1,01	0,92			
Azote total (%)	0,055	0,050			
C/N	18,4	18,4			
Complexe adsorbant					
- Potassium (meq/100g)	0,53	0,28	0,38	0,66	1,03
- Sodium (meq/100g)	0,05	0,06	0,75	2,30	1,05
- Magnésium (meq/100g)	1,33	0,59	5,61	10,63	10,23
- Calcium (meq/100g)	4,2	5,3	++	++	++
- S (meq/100g)	6,1	6,3	++	++	++
- C.E.C. (meq/100g)	6,8	7,5	22,9	22,9	15,5
- V (%)	90	83	sat.	sat.	sat.
pH	7,3	7,3	7,8	7,8	8,1
P_2O_5 ass. DYER (%)	0,052				
Calcaire total (%)	0,0	0,0	traces	traces	traces

Il n'existe pas de déséquilibre dans la répartition des différents cations sur le complexe adsorbant. En profondeur, ce sol est très riche en magnésium et en sodium, ce qui semble indiquer que l'eau de pluie en excès ne percole guère à travers la couche argileuse. Dans les horizons de surface la réaction est proche de la neutralité; celle-ci est nettement alcaline à partir de 50 cm de profondeur.

4°) Parcelle D12

Le sol de cette parcelle est de type brun gravelo-sableux; il fait partie du vignoble d'un Premier Grand Cru Classé. Sa morphologie est caractérisée par l'abondance de particules très grossières ("graves"), dont la teneur varie de 35 p. cent dans la couche superficielle à près de 80 p. cent dans le sous-sol (figure 2). Jusqu'à 85 cm de profondeur, la terre fine est sableuse; au-delà elle est argilo-sableuse et présente une discontinuité texturale marquée (quasi-absence de sable fin et de limons), ce qui rend le sous-sol particulièrement compact; cependant, il n'existe pas de nappe perchée.

La teneur en matière organique de la terre fine est moyenne (tableau V) mais l'alimentation azotée sera d'autant plus limitée que le pourcentage d'éléments grossiers est élevé (35 p. cent). Il existe dans ce sol de très fortes quantités de phosphore assimilable, au moins dans les 40 premiers centimètres, ce qui est, sans aucun doute, le résultat d'apports fréquents et excessifs de fumures contenant cet élément.

La capacité d'échange cationique est moyennement élevée pour un sol viticole, y compris en profondeur, où les argiles (>20 p. cent), correspondent sans doute à des minéraux de faible C.E.C.; le complexe adsorbant est saturé et les valeurs du pH sont proches de 7. Les teneurs en potassium représentent 8 à 12 p. cent de la C.E.C. et sont trop fortes par rapport à celles du magnésium; cela confirme que ce sol a subi des apports de fumures trop importants.

III — MESURES EFFECTUÉES

1°) Climatiques

Les températures et la pluviométrie ont été enrégistrées (thermographe et pluviographe) sur deux sites (figure 1). Pour les valeurs concernant l'insolation nous avons utilisé les données de la station météorologique de Bordeaux-Mérignac.

2°) Nappes d'eau

Dans chacune des parcelles, nous avons installé deux piézomètres à différentes profondeurs pour mesurer la variation du niveau de la nappe d'eau (s'il y en avait une).

3°) Potentiel hydrique foliaire

Cette valeur est obtenue en soumettant une feuille fraîchement ceuillie, à une pression gazeuse croissante, dans une chambre de pression; seule l'extrémité du pétiole sort par un petit orifice. La pression minimale qu'il faut excercer pour faire excréter une goutte de sève au niveau de la section du pétiole est notée (SCHOLANDER et *al.*, 1965). Nous avons utilisé deux applications de cette technique:

TABLEAU V

Résultats analytiques du profil D12

Profondeur (cm)	0-40	40-85	85-110	110-160
Caillou (%)	6,6	11,9	47,1	46,8
Gravier (%)	28,7	33,4	32,0	30,7
Terre fine (%)	64,7	54,7	20,9	22,5
- sable grossier	67,3	79,3	69,0	70,3
- sable fin	10,8	6,1	3,8	3,6
- limon grossier	6,7	4,9	0,8	1,3
- limon fin	8,7	5,4	2,5	2,0
- argile	6,6	4,3	23,8	22,9
Texture G.E.P.P.A.	s.	S.	a.s.	a.s.
Humidité équivalente	13,7	11,9	19,5	18,9
Matière organique(%)	1,65	0,94		
Carbone organique(%)	0,96	0,55		
Azote total (%)	0,080	0,040		
C/N	12,0	12,7		
Complexe adsorbant				
- Potassium (meq/100g)	0,73	0,51	0,90	0,78
- Sodium (meq/100g)	0,20	0,18	0,11	0,14
- Magnésium (meq/100g)	0,59	0,31	0,50	0,53
- Calcium (meq/100g)	++	++	++	++
- S (meq/100g)	++	++	++	++
- C.E.C. (meq/100g)	8,8	6,8	7,5	7,0
- V (%)	sat.	sat.	sat.	sat.
pH	6,7	7,0	6,7	7,1
P_2O_5 ass. DYER (%)	0,126			

Le potentiel hydrique foliaire de base est mesuré avant le lever du soleil en l'absence de transpiration (stomates fermés); il donne une approximation du potentiel de l'eau dans le sol (± 0,1 MPa), car les potentiels du couple sol/plante sont rééquilibrés au cours de la nuit (KATERJI et HALLAIRE 1984). La valeur obtenue est la moyenne de 6 répétitions.

Le suivi du potentiel hydrique foliaire au cours d'une journée ensoleillée permet d'obtenir des valeurs qui reflètent l'énergie avec laquelle l'eau est retenue dans le limbe et donc l'importance du déficit hydrique instantané. Les feuilles prélevées sont toutes exposées au soleil et d'âge physiologique comparable; la valeur obtenue est la moyenne de 8 répétitions.

4°) Evaluation de la variation du stock d'eau du sol à l'aide d'une sonde à neutrons

Une sonde émettant des neutrons rapides est introduite à différentes profondeurs dans le sol, à l'intérieur d'un tube en acier inoxydable fermé à la base. Les neutrons sont ralentis jusqu'à l'agitation thermique par chocs successifs sur les atomes d'hydrogène (essentiellement par ceux des molécules d'eau). Les neutrons thermiques sont ensuite captés à l'aide d'un détecteur à gaz, situé dans la sonde, puis comptabilisés à l'aide d'une échelle de comptage; il existe une proportionnalité entre la valeur du flux de neutrons thermiques ainsi obtenue et la teneur en eau du milieu (ANDRIEUX et *al.*, 1962).

5°) Développement et croissance de la vigne

Dans les différentes parcelles nous avons noté la précocité des stades phénologiques suivants: le débourrement (50 p. cent des bourgeons au stade C "pointe verte"), la mi-floraison et la mi-véraison. A partir du 21 mai, nous avons suivi l'allongement d'un rameau par cep sur 25 ceps par parcelle, jusqu'à l'arrêt de croissance. Ces rameaux ont été conduits le long d'une tige verticale en bambou, jusqu'à deux mètres de hauteur, puis le long d'un fil horizontal, tendu entre les bambous. Après la chute des feuilles nous avons déterminé le poids frais des bois de taille de ceps voisins, non concernés par les mesures de croissance.

6°) Maturation du raisin.

Nous avons suivi l'évolution de la constitution du raisin, à partir de la véraison, en prélevant, de façon aléatoire, une fois par semaine, environ 600 baies sur 40 ceps situés autour du tube destiné aux mesures de l'humidité du sol par la méthode neutronique. Après avoir isolé 200 baies, prises au hasard, les autres (environ 400) ont été pesées puis pressées et le jus ainsi obtenu est analysé par les techniques classiques suivantes:

- sucres réducteurs par réfractométrie, après étalonnage par la méthode de Fehling,
- acidité totale par titrimétrie,
- acide tartrique par dosage colorimétrique après réaction avec l'acide vanadique,
- acide malique par dosage enzymatique,
- potassium par spectrophotométrie de flamme,
- pH mesuré sous agitation.

Les pellicules des 200 baies isolées sont séparées de la pulpe et soigneusement nettoyées, pesées, lyophilisées, puis broyées au moment du dosage. Après agitation pendant 6 heures dans 250 ml de solution hydroalcoolique (12° d'éthanol et 5 g/l d'acide tartrique, amenée à pH = 3,2 avec de la soude), le contenu phénolique de l'extrait ainsi obtenu est analysé par les techniques classiques suivantes :

- anthocyanes par mesure de la densité optique avant et après décoloration par le bisulfite de sodium (RIBÉREAU-GAYON et STONESTREET, 1965 ; GLORIES, 1978);

- indice D280 (RIBÉREAU-GAYON, 1970).

RÉSULTATS

I — CONDITIONS CLIMATIQUES PENDANT LE CYCLE VÉGÉTATIF EN 1990

La région de Saint-Emilion est sous la dépendance du climat tempéré océanique aquitain: l'amplitude des variations de températures (estivales et hivernales) n'est pas très élevée (15°C). La moyenne annuelle s'élève à 12,8°C. Les précipitations, qui atteignent en moyenne 795 mm par an, sont relativement bien reparties au cours des différents mois (figure 4). Les variations, par rapport aux normales, des températures et des précipitations peuvent être importantes d'une année à l'autre.

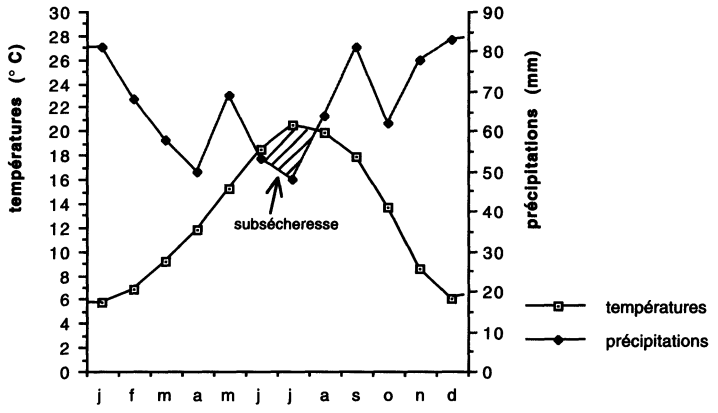


Fig. 4 — Climogramme de la station de Vignonet
Moyennes 1955 - 1979 - Échelle P (mm) = 3T (°C)

1990 a été une année très chaude. La moyenne de l'excédent thermique a atteint 1,1°C pour l'ensemble de l'année et 1,6°C pour les mois de juillet, août et septembre (figure 5). Il y a eu de nombreuses journées de forte chaleur en juillet et en août (32 jours avec des températures maximales >30°, dont 11 jours avec des maxima supérieurs à 35°C; maximum absolu 39,5°C). Les précipitations (656 mm pour l'ensemble de l'année) ont été inférieures à la normale. Le déficit de pluviosité atteint 51 p. cent du premier juillet au 20 septembre (figure 6) ; durant la même période, le bilan de l'insolation est très excédentaire (+27 p. cent par rapport à la normale).

II — DYNAMIQUE DES NAPPES D'EAU.

Dans les parcelles D12 et Q12 il n'y a jamais eu de stagnation d'eau. A la sortie de l'hiver, il s'est formé une petite nappe perchée au-dessus du sous-sol argileux dans les parcelles H11 et I11, mais celle-ci a rapidement disparu au début de la période de végétation. En revanche, dans les quatre autres parcelles (P1, G1, C11 et D13) il existait, en 1990, une nappe permanente, dont l'amplitude de battement était supérieure à 100 cm (figure 3a : exemple de la parcelle G1).

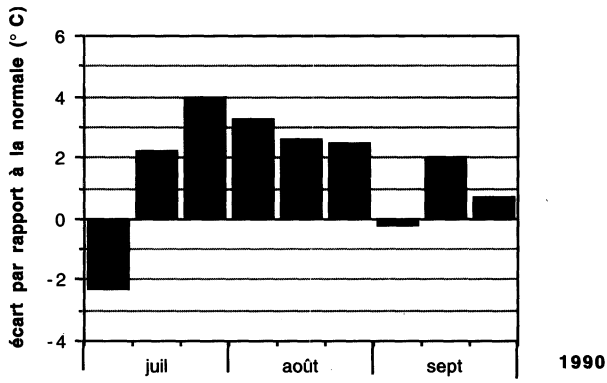


Fig. 5 — Ecart des températures par rapport à la normale en 1990

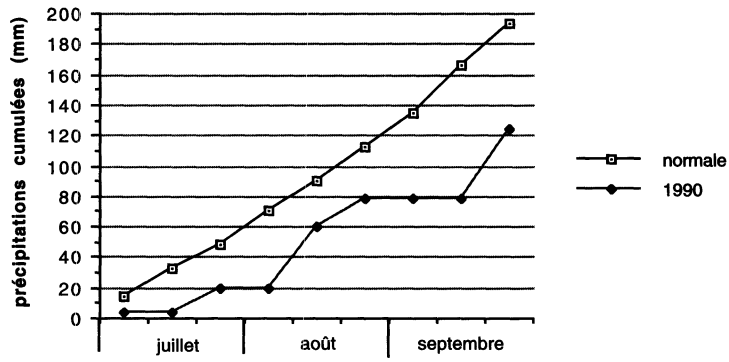


Fig. 6 — Cumul des précipitations de juillet, août et septembre : normale et 1990

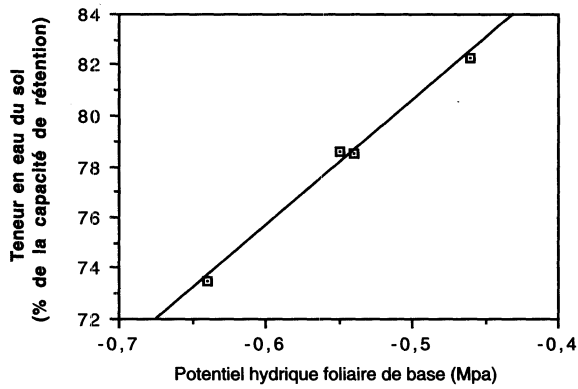


Fig. 7 — Teneur en eau du sol, mesurée par la méthode neutronique et exprimée en pourcentage de la capacité de rétention, en fonction du potentiel hydrique foliaire de base (MPa), dans deux sols à sous-sol argileux (7/8/90 et 20/9/90)

TABLEAU VI

Potentiel foliaire de base les 26/6/1990, 7/8/1990 et 20/9/1990 (MPa) ; signification statistique des différences

	Sols avec nappe				Calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux
	P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12
26/6/90	-0,06	—	—	—	-0,09	-0,05	—	—
7/8/90	-0,25	-0,36	-0,44	-0,28	-0,48	-0,46	-0,54	-0,53
20/9/90	-0,30	-0,22	-0,28	-0,25	-0,39	-0,55	-0,64	-0,84

	P1	Q12	I11
P1	—	0	0
Q12	—	—	A
I11	—	—	—

signification statistique des différences (26/6/90)

	P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12
P1	—	B	B	0	B	B	B	B
G1	—	—	0	B	B	B	B	B
C11	—	—	—	B	0	0	A	0
D13	—	—	—	—	B	B	B	B
Q12	—	—	—	—	—	0	0	0
I11	—	—	—	—	—	—	A	0
H11	—	—	—	—	—	—	—	0
D12	—	—	—	—	—	—	—	—

signification statistique des différences (7/8/90)

	P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12
P1	—	B	0	A	0	B	B	B
G1	—	—	0	0	A	B	B	B
C11	—	—	—	0	0	B	B	B
D13	—	—	—	—	A	B	B	B
Q12	—	—	—	—	—	A	B	B
I11	—	—	—	—	—	—	0	B
H11	—	—	—	—	—	—	—	A
D12	—	—	—	—	—	—	—	—

signification statistique des différences (20/9/90)

0 = pas de différence significative au seuil α = 0,05
A = différence significative au seuil α = 0,05
B = différence significative au seuil α = 0,01

III — ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE

Depuis 25 ans, l'étude de l'alimentation en eau de la vigne s'effectue à l'aide de bilans hydriques, établis par méthode neutronique (SEGUIN 1970 ; DUTEAU, 1982). Cependant, cette technique ne permet pas d'obtenir des bilans fiables dans les sols comportant une nappe d'eau à portée des racines, ce qui est le cas dans quatre des huit parcelles étudiées. Dans ces situations, le potentiel hydrique foliaire semble pouvoir renseigner sur l'état hydrique du sol, comme le montre la comparaison suivante entre les teneurs en eau du sol, obtenues par la méthode neutronique, et les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base, déterminées au même moment, dans des sols où les deux méthodes pouvaient s'appliquer (figure 7).

Bien que ce résultat demande à être confirmé dans d'autres situations et surtout dans d'autres sols, il semble indiquer que le potentiel foliaire de base constitue un indicateur intéressant de l'état hydrique du sol. Cette mesure, effectuée directement sur les feuilles, nous a permis de comparer le fonctionnement de quatre types de sol très différents.

1°) Potentiel hydrique foliaire de base

Le 26 juin 1990 les potentiels foliaires de base mesurés dans trois parcelles (P1, sol possédant une nappe à portée des racines; Q12, sol au-dessus du calcaire à Astéries; I11, sol à sous-sol argileux) sont proches de zéro (tableaux VI et VII) ; cela signifie qu'il existe encore, à cette époque, dans ces trois sols, des réserves faiblement retenues qui permettent à la vigne de retrouver un potentiel hydrique faiblement négatif au cours de la nuit.

TABLEAU VII

Hauteur des précipitations (mm) au cours des 10 jours précédant les mesures du potentiel foliaire de base, sur les trois sols où étaient installés des pluviomètres

Date des mesures	Précipitations (mm)		
	P1	C11	I11
26/6/1990	13	7	9
7/8/1990	3	1	0
20/9/1990	0	1	—

Le 7 août 1990 (durant de la véraison), les potentiels foliaires de base, mesurés sur les 8 parcelles expérimentales, sont beaucoup plus bas. Dans les sols avec une nappe d'eau à portée des racines (P1, G1, C11 et D13), la vigne possède les potentiels foliaires de base les moins négatifs, bien que la différence avec les autres sols ne soit pas toujours significative sur le plan statistique; la vigne possède un potentiel foliaire de base plus bas dans l'une des parcelles avec un sol sur argile (I11) et dans celle où le sol est situé au-dessus du calcaire à Astéries (Q12); enfin, dans le sol graveleux (D12) et dans un autre sol sur argile, où l'enracinement est peu profond (H11), le potentiel foliaire de base est le plus négatif.

Le 20 septembre 1990 (au moment des vendanges), nous avons retrouvé approximativement la même hiérarchie entre les parcelles, avec cependant des écarts plus importants; en outre, la parcelle au-dessus du calcaire à Astéries (Q12) se distingue des parcelles sur argile (I11 et H11) par un potentiel moins négatif. Dans la parcelle sur sol graveleux (D12), le potentiel de base est le plus fortement négatif.

2°) Evolution du potentiel hydrique foliaire au cours d'une journée ensoleillée

Le 7 août 1990 nous avons effectué un suivi du potentiel foliaire sur les huit parcelles (figure 8a). A cette date il existe des écarts assez marqués, aussi bien en ce qui concerne le potentiel le plus bas de la journée que l'allure générale des courbes. Les parcelles avec une nappe d'eau à portée des racines (P1, G1, C11 et D13) présentent le potentiel foliaire le moins négatif au milieu de la journée, suivies par les parcelles sur argile (I11) et sur calcaire à Astéries (Q12); H11 (également sur argile) et D12 (sur graves) possèdent le potentiel le plus négatif. On peut noter que dans la parcelle au-dessus du calcaire à Astéries (Q12) le potentiel foliaire descend jusqu'à une valeur assez fortement négative en début d'après-midi, mais que la réhydratation des tissus du limbe est remarquable en fin de journée.

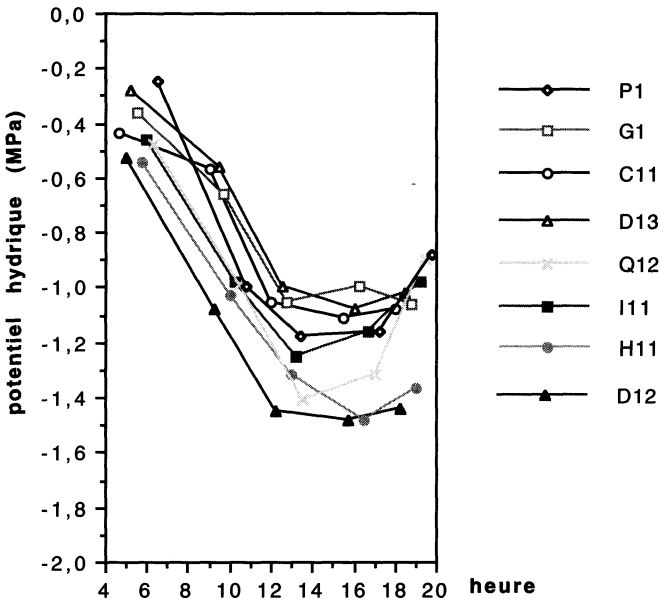


Fig. 8a — Evolution du potentiel hydrique foliaire au cours de la journée du 7 août 1990

Le 20 septembre 1990 la hiérarchie des potentiels foliaires les plus bas dans la journée est à peu près la même mais les écarts entre les parcelles sont plus importants (fig. 8b). Les sols avec une nappe d'eau à portée des racines (P1, G1, C11 et D13) possèdent le potentiel le moins négatif et, parmi ces quatre, seuls G1 et D13 descendent sous le seuil critique de -1,3 MPa, donné par SMART et COOMBE (1983) pour la fermeture des stomates (études

sur *Vitis viniféra* var. Syrah). Q12 (sur calcaire à Astéries) présente des valeurs proches de G1 et D13. I11 et H11 (sur argile) possèdent des minima de potentiels foliaires plus bas; D12 (sur graves) atteint un potentiel encore plus bas, de l'ordre de -2,0 MPa. La vigne récupère bien sur les parcelles P1, G1, C11, D13, Q12 et I11 en fin de journée; en revanche, sur les parcelles H11 et D12 le potentiel foliaire continue de descendre. Cette observation concorde avec les valeurs du potentiel de base (tableau VI).

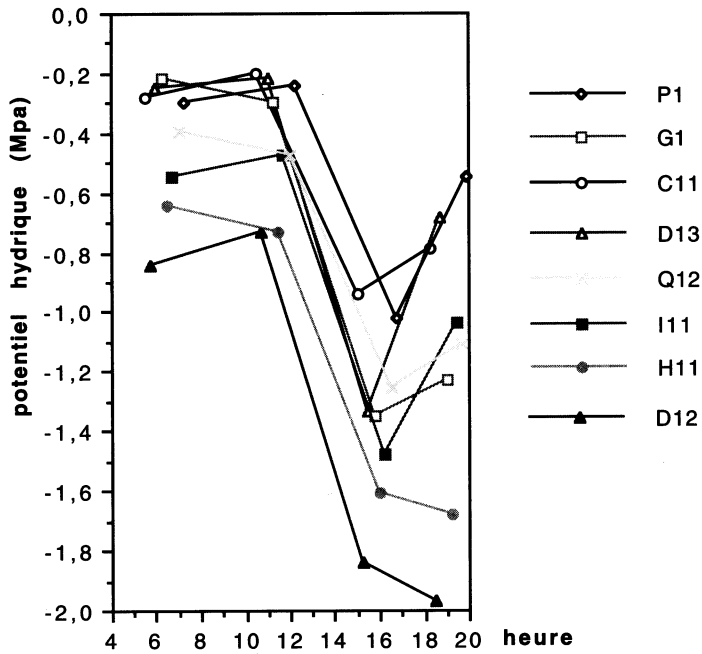


Fig. 8b — Evolution du potentiel hydrique foliaire au cours de la journée du 20 septembre 1990

DÉVELOPPEMENT DE LA VIGNE. CORRÉLATIONS AVEC L'ETAT HYDRIQUE DU FEUILLAGE

Nous avons étudié, sur les différentes parcelles, le cycle phénologique ainsi que plusieurs paramètres du développement végétatif de la vigne: croissance des rameaux, précocité de l'arrêt de croissance et poids des bois de taille. Par le biais des corrélations simples avec les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base, nous avons vérifié qu'une partie de ces différences est imputable au régime hydrique de la vigne.

I — CYCLE PHÉNOLOGIQUE

Les différents stades phénologiques de la vigne sont atteints plus précocement sur les sols à sous-sol argileux (H11 et I11) et surtout sur le sol graveleux (D12); dans les sols avec une nappe d'eau à portée des racines (P1, G1, C11 et D13) le débourrement, la floraison et la véraison sont plus tardifs (tableau VIII). Sur le sol au-dessus du calcaire à Astéries la vigne débourre et fleurit à une date intermédiaire; la véraison y est tardive, ce qui semble difficilement interprétable.

TABLEAU VIII

Précocité des stades phénologiques observée sur les huit parcelles étudiées en 1990

	Débourrement	Mi-floraison	Mi-véraison
P1	27-3	30-5	16-8
G1	21-3	28-5	15-8
C11	22-3	26-5	16-8
D13	22-3	28-5	14-8
Q12	20-3	23-5	20-8
I11	18-3	23-5	11-8
H11	17-3	23-5	13-8
D12	15-3	24-5	10-8
Date moyenne	20-3	26-5	14-8
Écart maximum	12 jours	7 jours	10 jours

Nous n'avons pas essayé de correler la précocité des stades phénologiques avec les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base, puisqu'au moment du débourrement et de la floraison il existe encore des réserves en eau importantes dans le sol; le potentiel hydrique foliaire de base est proche de zéro quels que soient les sols étudiés. En ce qui concerne la date de véraison, elle semble avant tout liée à celle de la floraison, puisque ces deux stades sont séparés par 79 + 2 jours dans toutes les parcelles, exceptée Q12. On constate cependant que les parcelles les plus précoces (D12, H11 et I11) sont celles qui, plus tard dans la saison, atteignent le potentiel foliaire de base le plus fortement négatif.

II — LONGUEUR DES RAMEAUX

Les parcelles D13 et P1 (avec nappe) avaient les rameaux les plus longs au moment de l'arrêt de croissance (fig. 9: respectivement 413 et 382 cm). D12 et H11 (sans nappe) possédaient les rameaux les plus courts (253 et 285 cm). La longueur des rameaux sur les parcelles G1 et C11 (avec nappe) et I11 et Q12 (sans nappe) présentaient des longueurs intermédiaires. Ces valeurs sont très bien correlées avec celles du potentiel hydrique foliaire de base mesurées le 7 août (soit au moment du ralentissement de la croissance): $r = 0,90$, significatif au seuil $\alpha = 0,01$. En calculant la tangente des courbes de croissance de la figure 9 à la date du 7 août, nous obtenons la vitesse instantanée de croissance le jour des mesures du potentiel hydrique foliaire de base. La corrélation entre ces vitesses de croissance et les potentiels hydriques foliaires de base est excellente ($r = 0,93$; $\alpha = 0,001$), ce qui souligne l'importance de la disponibilité de l'eau pour la dynamique de la croissance.

III — PRÉCOCITÉ DE L'ARRET DE CROISSANCE

La date de l'arrêt de croissance (allongement < 2 mm/j) varie fortement d'une parcelle à l'autre car, entre l'arrêt le plus précoce (D12) et l'arrêt le plus tardif (P1), il s'écoule plus d'un mois (tableau IX). Le nombre de jours qui sépare le premier avril (date qui indique approximativement le début du cycle végétatif de la vigne en Bordelais) de la date de l'arrêt de croissance est très fortement correlé avec le potentiel hydrique foliaire de base mesuré le 7 août: $r = 0,93$, significatif au seuil $\alpha = 0,001$. Il est intéressant de noter que la durée effective

de croissance (nombre de jours entre le débourrement et l'arrêt de croissance) est également significativement corrélé à ces mêmes valeurs du potentiel hydrique foliaire de base, mais seulement au seuil $\alpha = 0,01$ ($r = 0,88$). Cette observation s'explique par le fait que les parcelles ayant l'arrêt de croissance le plus tardif sont également celles qui débourrent en dernier (corrélation de rang de Spearman $rs = 0,93$, significatif au seuil $\alpha = 0,001$). Autrement dit, une forte disponibilité d'eau dans le sol, qui se traduit par un potentiel hydrique foliaire de base faiblement négatif, à la fois retarde et prolonge le cycle végétatif.

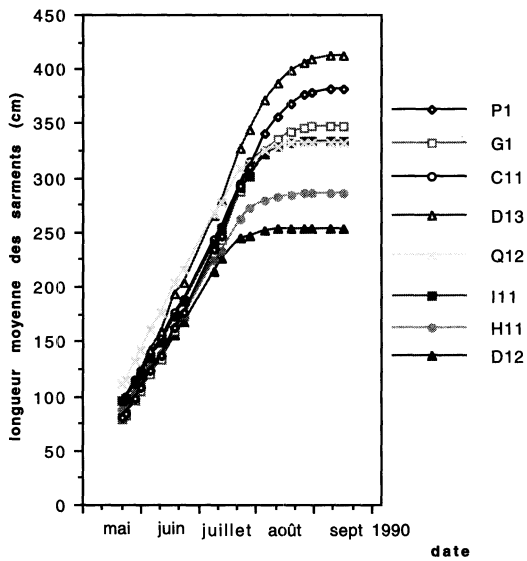


Fig. 9— Croissance des rameaux en 1990

TABLEAU IX

Date de l'arrêt de croissance en 1990

Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux
P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12
13/9	5/9	28/8	12/9	25/8	26/8	24/8	10/8

IV — POIDS DES BOIS DE TAILLE

La pesée du bois de taille est une mesure permettant d'évaluer la puissance et la vigueur de la vigne, à condition que le mode de conduite soit identique (tableau X). Dans notre expérimentation, la corrélation entre le poids des bois de taille et le potentiel hydrique foliaire de base fut moyennement élevé ($r = 0,69$, significatif au seuil $\alpha = 0,10$). Les parcelles se situant dans plusieurs propriétés, des différences de hauteur de rognage ont pu masquer, en partie, l'incidence du régime hydrique.

TABLEAU X

Poids du bois de taille en 1990 (g/cep)

Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	
P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	moyenne
990	610	560	680	770	550	570	230	620

MATURATION ET CONSTITUTION DU RAISIN À MATURITÉ; RELATIONS AVEC L'ETAT HYDRIQUE DU FEUILLAGE

Sur les huit parcelles étudiées, on observe des écarts importants entre les vitesses d'accumulation ou de dégradation des différents constituants du raisin. Cela aboutit à une constitution du raisin à maturité très variable (tableau XI), qui traduit leur plus ou moins grande qualité œnologique (la date moyenne de maturité se situe vers le 17/9/1990). Certains paramètres étudiés semblent fortement dépendre du régime hydrique auquel la vigne est soumise; pour calculer les corrélations avec l'état hydrique du feuillage, nous avons pris en compte la demi-somme des valeurs des potentiels hydriques foliaires de base mesurés le 7/8/90 (durant la véraison) et le 20/9/90 (au moment des vendanges).

I — POIDS DES BAIES

Le poids des baies varie dans des proportions importantes d'une parcelle à l'autre (tableau XII). Le coefficient de corrélation entre cette valeur et celle du potentiel hydrique foliaire de base est de 0,71 (significatif au seuil $\alpha = 0,05$). D'autres facteurs interviennent également, notamment la qualité de la fécondation, puisque le volume (et donc le poids) des baies augmente avec le nombre de pépins. En 1990, après la date de maturité, le poids des baies a augmenté encore durant une semaine, puis a diminué, parfois de manière importante, à la suite d'une attaque de Botrytis cinerea sur les raisins.

II — SUCRES RÉDUCTEURS

La teneur en sucres réducteurs du jus de raisin, facilement mesurable par différentes techniques physiques ou chimiques, est utilisée depuis longtemps pour évaluer la maturité du raisin. Au moment des vendanges, elle varie d'une parcelle à l'autre (tableau XIII) ; ces teneurs sont corrélées négativement avec les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base ($r = -0,68$), mais significatif seulement au seuil $\alpha = 0,10$. Sur les trois années d'observation (1988, 1989 et 1990) nous avons constaté que les parcelles sans nappe (I11, D12 et Q12) produisent régulièrement des raisins plus sucrés que les parcelles avec nappe (surtout G1 et P1). Sur les parcelles soumises à un déficit hydrique marqué, la teneur en sucre est élevée si la charge est peu importante (D12), mais plus faible si la charge est moyennement importante (H11). La richesse en sucre ne varie guère du 17/9/90 au 24/9/90, mais augmente de nouveau la semaine suivante, quand les raisins sont atteints de pourriture grise (concentration par perte d'eau).

TABLEAU XI

Evolution de la constitution de la pulpe et de la pellicule à maturité en 1990. Ces parcelles ont été récoltées vers le 17/9/90 ; les deux dernières mesures ont été effectuées sur des ceps qui n'avaient pas été vendangés

Parcelle :	Date :	13/8/90	20/8/90	27/8/90	31/8/90	10/9/90	17/9/90	24/9/90	2/10/90
P1	poids/baie (g)	0,70	0,84	1,01	1,09	1,21	1,23	1,27	1,07
	sucres reduct. (g/l)	77	122	155	159	197	210	208	231
	acidité tot. (méq/l)*	385	242	146	115	99	76	70	70
	acide tartrique (méq/l)	161	133	112	97	99	95	83	85
	acide malique (méq/l)	212	142	70	55	44	34	32	29
	potassium (méq/l)	45	45	45	44	49	54	54	66
	pH	2,85	2,90	3,13	3,18	3,35	3,51	3,60	3,74
	D280 sur extrait**			16,9		21,4	21,9	19,7	
	anthocyanes (g/kg)**			0,423		0,735	0,689	0,617	
G1	poids/baie (g)	0,69	0,84	0,99	1,06	1,16	1,15	1,24	1,11
	sucres reduct. (g/l)	81	122	148	155	184	204	209	238
	acidité tot. (méq/l)	378	228	153	113	83	68	60	61
	acide tartrique (méq/l)	179	145	123	100	96	95	84	87
	acide malique (méq/l)	194	113	70	50	30	23	20	23
	potassium (méq/l)	44	43	40	40	44	48	47	58
	pH	2,82	2,86	3,07	3,11	3,28	3,46	3,55	3,66
	D280 sur extrait			17,0		18,3	19,8	20,0	
	anthocyanes (g/kg)			0,368		0,561	0,554	0,563	
C11	poids/baie (g)	0,65	0,93	0,94	1,01	0,97	1,03	1,08	0,94
	sucres reduct. (g/l)	87	119	156	165	192	207	207	229
	acidité tot. (méq/l)	314	186	115	89	73	62	54	56
	acide tartrique (méq/l)	163	131	108	89	91	87	82	79
	acide malique (méq/l)	162	92	50	36	26	20	19	16
	potassium (méq/l)	46	41	42	39	44	48	46	54
	pH	2,90	2,93	3,22	3,29	3,43	3,54	3,60	3,66
	D280 sur extrait			19,6		21,8	24,2	23,1	
	anthocyanes (g/kg)			0,432		0,626	0,641	0,652	
D13	poids/baie (g)	0,88	1,03	1,21	1,32	1,43	1,35	1,35	1,24
	sucres reduct. (g/l)	93	132	172	172	205	221	223	245
	acidité tot. (méq/l)	348	206	126	93	77	64	54	68
	acide tartrique (méq/l)	157	127	107	83	88	84	73	86
	acide malique (méq/l)	190	110	63	45	35	30	27	30
	potassium (méq/l)	49	48	48	45	50	56	56	69
	pH	2,89	3,06	3,25	3,31	3,44	3,64	3,73	3,82
	D280 sur extrait			18,3		19,8	21,8	20,4	
	anthocyanes (g/kg)			0,482		0,583	0,623	0,561	

* 100 méq/l correspondent à 4,9 g H_2SO_4/l

**mesures effectuées sur extrait de pellicules; valeurs ramenées à l'équivalent d'un kg de vendange pour 1 litre de solution d'extraction

TABLEAU XI (suite)

Evolution de la constitution de la pulpe et de la pellicule à maturité en 1990. Ces parcelles ont été récoltées vers le 17/9/90 ; les deux dernières mesures ont été effectuées sur des ceps qui n'avaient pas été vendangés

Parcelle :	Date :	13/8/90	20/8/90	27/8/90	31/8/90	10/9/90	17/9/90	24/9/90	2/10/90
Q12	poids/baie (g)	0,59	0,74	0,89	0,98	1,04	1,08	1,11	1,01
	sucres reduct. (g/l)	70	117	156	163	210	222	227	259
	acidité tot. (méq/l)	409	249	153	112	89	72	64	66
	acide tartrique (méq/l)	198	165	136	108	107	105	93	90
	acide malique (méq/l)	195	119	52	41	27	17	16	17
	potassium (méq/l)	43	41	42	40	45	50	50	58
	pH	2,80	2,85	3,07	3,14	3,30	3,48	3,52	3,66
	D280 sur extrait			16,2		21,0	22,4	24,7	
	anthocyanes (g/kg)			0,385		0,720	0,662	0,799	
I11	poids/baie (g)	0,63	0,84	1,00	1,01	0,97	1,03	1,04	1,00
	sucres reduct. (g/l)	121	155	187	191	225	230	232	234
	acidité tot. (méq/l)	269	160	109	85	72	64	52	60
	ac. tartrique (méq/l)	151	125	106	93	94	93	80	87
	ac. malique (méq/l)	122	67	38	31	24	17	16	14
	potassium (méq/l)	42	40	40	40	45	47	47	50
	pH	2,86	2,92	3,16	3,23	3,42	3,50	3,60	3,61
	D280 sur extrait			26,1		30,8	28,6	32,9	
	anthocyanes (g/kg)			0,700		0,992	0,820	0,982	
H11	poids/baie (g)	0,61	0,77	0,90	1,06	1,10	1,01	1,12	0,98
	sucres reduct. (g/l)	98	133	161	166	195	217	218	230
	acidité tot. (méq/l)	320	187	123	86	75	62	56	58
	ac. tartrique (méq/l)	193	153	129	107	103	99	94	91
	ac. malique (méq/l)	133	68	37	27	20	14	13	11
	potassium (méq/l)	48	43	43	42	45	48	48	51
	pH	2,84	2,91	3,14	3,20	3,34	3,52	3,55	3,60
	D280 sur extrait			22,2		23,1	25,2	26,0	
	anthocyanes (g/kg)			0,538		0,700	0,718	0,773	
D12	poids/baie (g)	0,81	1,00	1,04	1,10	1,13	1,06	1,07	0,99
	sucres reduct. (g/l)	119	154	178	181	209	231	223	245
	acidité tot. (méq/l)	240	137	95	75	66	60	54	55
	ac. tartrique (méq/l)	159	125	109	94	94	92	89	93
	ac. malique (méq/l)	93	50	29	21	15	14	15	13
	potassium (méq/l)	45	44	43	43	46	53	50	60
	pH	2,98	3,06	3,32	3,32	3,45	3,62	3,67	3,72
	D280 sur extrait			25,2		25,6	28,6	28,1	
	anthocyanes (g/kg)			0,635		0,778	0,808	0,779	
Moyenne	poids/baie (g)	0,70	0,87	1,00	1,08	1,13	1,12	1,16	1,04
	sucres reduct. (g/l)	93	132	164	169	202	218	218	239
	acidité tot. (méq/l)	333	199	128	96	79	66	58	62
	ac. tartrique (méq/l)	170	138	116	96	97	94	85	87
	ac. malique (méq/l)	163	95	51	38	28	21	20	19
	potassium (méq/l)	45	43	43	42	46	51	50	58
	pH	2,87	2,94	3,17	3,22	3,38	3,53	3,60	3,68
	D280 sur extrait			20,1		22,5	24,1	24,4	
	anthocyanes (g/kg)			0,495		0,704	0,685	0,706	

TABLEAU XII

Poids moyen d'une baie à maturité le 17/9/90 (g)

Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	
P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	moyenne
1,23	1,15	1,03	1,35	1,08	1,03	1,01	1,06	1,12

TABLEAU XIII

Concentration en sucres réducteurs du jus de raisin au moment des vendanges, le 17/9/1990 (g/l)

Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	
P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	moyenne
210	204	207	221	222	230	217	231	218

III — ACIDITÉ TOTALE ET TENEUR EN ACIDE MALIQUE

Tout comme la teneur en sucres réducteurs, l'acidité totale au moment des vendanges constitue un des paramètres couramment utilisés pour évaluer la maturité du raisin. Cependant, dans notre étude, ces valeurs (tableau XIV) ne sont que moyennement correlées à celles des potentiels hydrique foliaires de base (r = 0,58). L'acidité totale du jus de raisin est le bilan de différents constituants: anions organiques (essentiellement l'anion tartrique et l'anion malique) et cations (principalement le potassium), dont certains présentent une dynamique indépendante du processus de maturation. Puisque la somme de l'anion tartrique et de l'anion malique n'est pas mieux correlée avec les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base (r = 0,56) que l'acidité totale, il semble logique de considérer à part l'acide malique, qui constitue le principal acide du raisin vert et qui est, à ce titre, un bon indicateur de l'état de maturité du raisin (PEYNAUD, 1946).

TABLEAU XIV

Acidité totale et teneur en acide malique du jus de raisin au moment des vendanges, le 17/9/1990 (meq/l)

	Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	
	P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	moyenne
Acidité totale	76	68	62	64	72	64	62	60	66
Acide malique	34	23	20	30	17	17	14	14	21

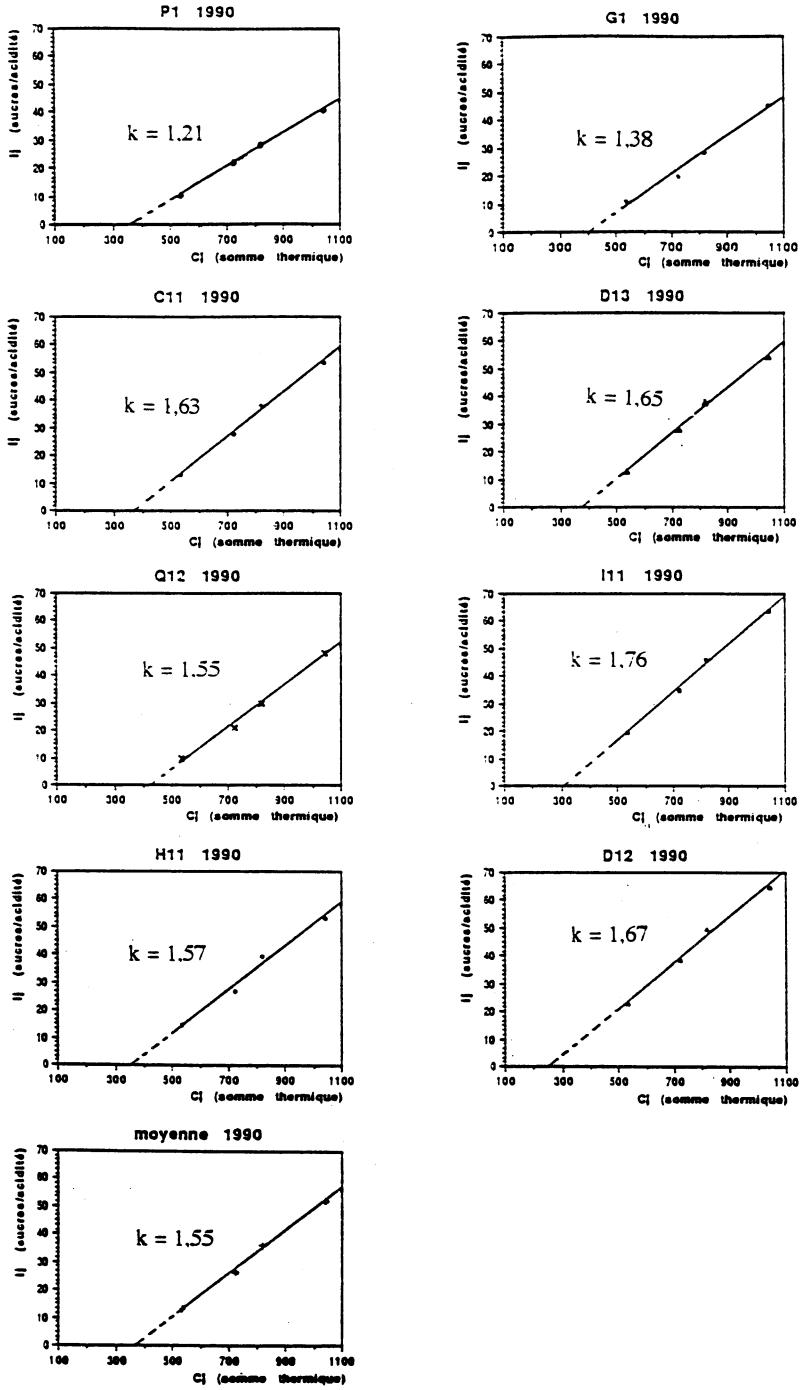


Figure 10 — Evolution de l'indice Ij sucres (g/l) / acidité (g H_2SO_4/l) en fonction de la demi-somme des températures moyennes et maximales à partir du premier août (Cj), en 1990 (k = pente de la droite)

La corrélation entre les teneurs en acide malique et les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base est excellente ($r = 0,85$, significatif au seuil $\alpha = 0,01$). Ce résultat est d'autant plus intéressant que les teneurs en acide malique ne varient pratiquement plus après le 17/9/1990 (en moyenne -2 méq/l 16 jours après, tableau XI), ce qui montre qu'il ne s'agit pas de différences de précocité physiologique.

IV — VITESSES DE MATURATION

L'étude des constituants de la pulpe à maturité ne permet pas de distinguer la précocité physiologique de la dynamique de maturation, si bien que les parcelles tardives se trouvent "pénalisées" lors de l'interprétation des résultats analytiques. Il est important de savoir si des raisins qui sont, à un moment donné, moins riches en certaines substances, jugées importantes pour la qualité du vin (sucres, anthocyanes, tanins), le sont à cause d'un retard d'accumulation, ou à cause d'une moindre capacité d'accumulation.

En outre, le fait de ne prendre en compte que le prélèvement au moment des vendanges, rend l'interprétation plus vulnérable à d'éventuelles erreurs analytiques.

Une approche différente de l'étude de la constitution de la pulpe du raisin consiste à suivre les rendements thermiques de la maturation ou "vitesses de maturation". Il a été démontré pour la variété Merlot noir, en Libournais, que le rapport sucres/acidité (S/A) évolue, en année faiblement pluvieuse, de façon linéaire en fonction de la somme thermique pendant les 35 premiers jours de la période de maturation (I). La pente k de la droite ainsi obtenue représente, schématiquement, la vitesse de maturation de la pulpe (DUTEAU, 1990).

$$Ij = k(Cj - Co) \qquad (I)$$

où :

$Ij = S/A$ S = teneur en sucres réducteurs du jus de raisin (g/l)

A = acidité totale exprimée en g H_2SO_4/l (soit 0,049 méq/l)

et :

$$Cj = \sum_{i=1/8}^{j} \frac{t\ moy. + t\ Max.}{2}$$

t moy. = température moyenne journalière

t Max. = température maximale journalière

(Co est la valeur de Cj au début de la période maturation)

Le calcul des vitesses de maturation pour le Cabernet franc en 1990 sur les différentes unités agro-pédologiques montre que l'évolution de l'indice $Ij = S/A$ est également une fonction linéaire de la somme thermique ($r > 0,90$, figure 10). La pente k varie fortement d'une parcelle à l'autre (tableau XV)*, mais ses valeurs possèdent une corrélation négative faible avec les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base ($r = -0,54$). Les teneurs en sucres réducteurs et l'acidité totale sont de ce fait à utiliser avec précaution, car les différences observées peuvent résulter aussi bien d'une plus ou moins grande précocité que d'une maturation plus ou moins rapide.

*Ces valeurs sont très élevées à cause de conditions climatiques exceptionnelles

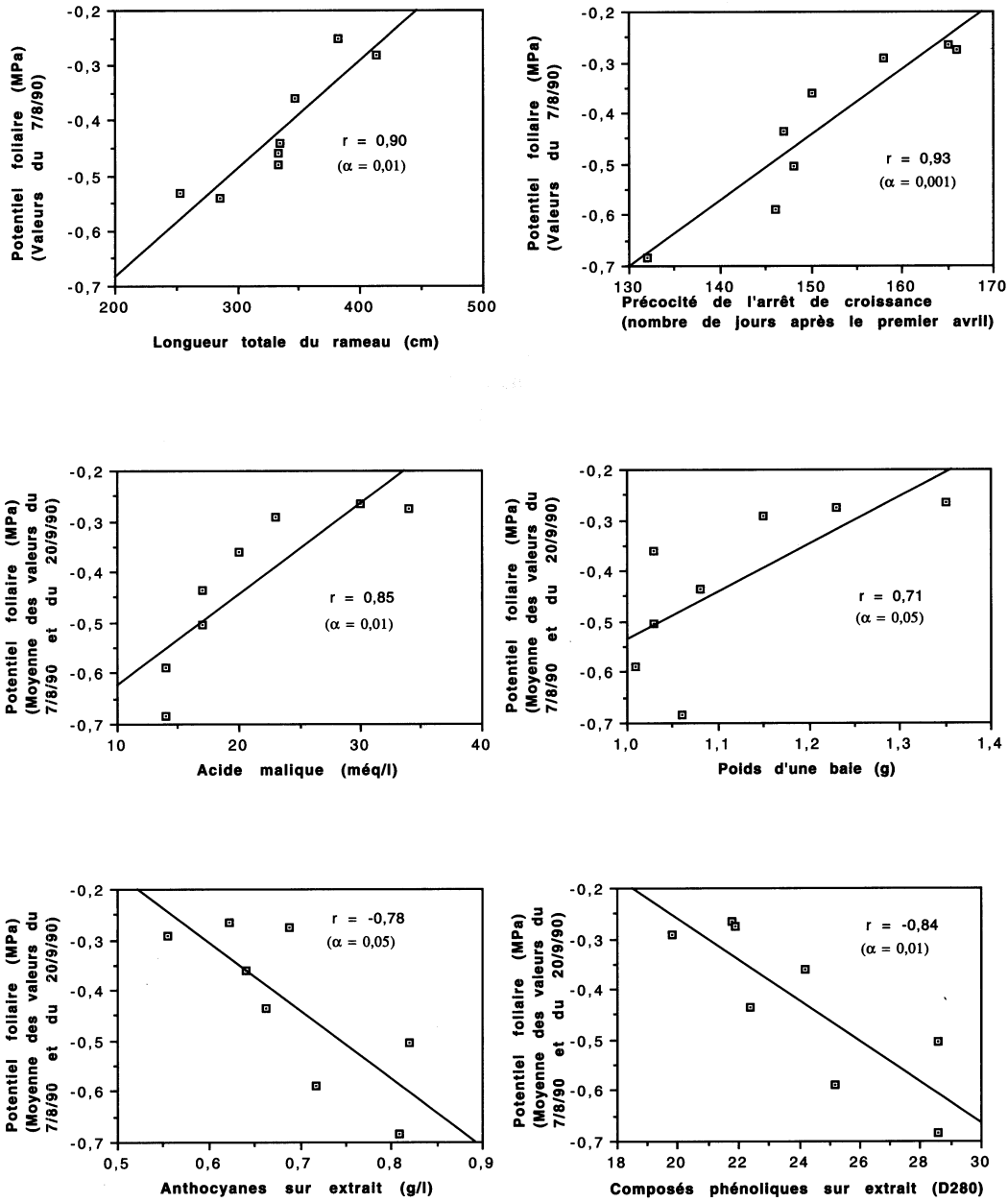


Fig.11 — Corrélation entre le potentiel hydrique foliaire de base
et quelques paramètres viticoles et œnologiques (mesurés au moment des vendanges)

TABLEAU XV

Vitesse de maturation de la pulpe en 1990 (k)

Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	
P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	moyenne
1,21	1,38	1,63	1,65	1,55	1,76	1,57	1,67	1,55

IV — RICHESSE PHÉNOLIQUE ET TENEUR EN ANTHOCYANES

Les mesures de D280 et le dosage des anthocyanes, réalisés sur l'extrait de pellicules, permettent d'évaluer leur richesse phénolique (tableau XVI). Ces valeurs sont corrélées négativement avec celles du potentiel hydrique foliaire de base, avec respectivement $r = -0,84$ (significatif au seuil $\alpha = 0,01$) pour la D280 et $r = -0,78$ (significatif au seuil $\alpha = 0,05$) pour les anthocyanes.

TABLEAU XVI

Teneurs en anthocyanes (g) et D280, mesurées sur un extrait de pellicules au moment des vendanges, le 17/9/1990

	Sols avec nappe				Sol au-dessus de calcaire compact	Sols à sous-sol argileux		Sol graveleux	
	P1	G1	C11	D13	Q12	I11	H11	D12	moyenne
Anthocyanes	0,689	0,554	0,641	0,623	0,662	0,820	0,718	0,808	0,689
D280	21,9	19,8	24,2	21,8	22,4	28,6	25,2	28,6	24,0

Les corrélations entre les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base et différents paramètres viticoles et œnologiques sont résumées dans le tableau XVII et visualisées sous forme de graphique dans la figure 11.

CONCLUSIONS

Nous avons étudié le système sol-vigne dans huit parcelles de l'A.O.C. Saint-Emilion; certaines possèdent une nappe d'eau à portée du système racinaire de la vigne. Puisqu'il est impossible, dans ce cas, d'étudier le régime hydrique par la méthode neutronique, nous avons mesuré, à différentes époques du cycle végétatif de la vigne, l'état hydrique de son feuillage, qui est en étroite relation avec la disponibilité de l'eau dans le sol. Ensuite, nous avons essayé de correler les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base avec plusieurs paramètres du cycle végétatif et reproducteur de la vigne, au cours de l'année 1990 qui fut chaude et sèche.

TABLEAU XVII

Cœfficient de corrélation et seuil de confiance entre les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base et quelques paramètres viticoles et œnologiques

Développement de la vigne	Corrélation avec le potentiel foliaire de base mesuré le 7/8/90	
	r	α
Croissance rameaux	0,90	0,01 **
Vitesse de croissance instantanée (7/8/90)	0,93	0,001 ***
Précocité de l'arrêt de croissance	0,93	0,001 ***
Durée de croissance	0,88	0,01 **
Poids des bois de taille	0,69	0,10
Maturation du raisin	Corrélation avec la 1/2 somme des potentiels foliaires de base mesurés le 7/8/90 et le 20/9/90	
	r	α
Poids des baies (17/9/90)	0,71	0,05 *
Sucres réducteurs (17/9/90)	- 0,68	0,10
Acidité totale (17/9/90)	0,58	—
Anion tartrique+anion malique (17/9/90)	0,56	—
Acide malique (17/9/90)	0,85	0,01 **
Vitesse de maturation (k)	- 0,54	—
D 280 sur extrait (17/9/90)	- 0,84	0,01 **
Anthocyanes sur extrait (17/9/90)	- 0,78	0,05 *

D'une manière générale, sur les 8 sols étudiés, le potentiel hydrique foliaire devient de plus en plus fortement négatif au cours de la saison. Lors de chaque série de mesures (au moment de la nouaison, de la véraison, de la maturité) il existe un gradient du potentiel hydrique foliaire en fonction du type de sol: celui-ci est faiblement négatif sur les sols ayant une nappe d'eau à portée des racines, fortement négatif sur les sols sableux à sous-sol très argileux et le plus fortement négatif sur un sol graveleux. Dans la parcelle sur le calcaire à Astéries, ce potentiel est assez fortement négatif au moment de la véraison, mais sa diminution ne se poursuit pas jusqu'au moment des vendanges.

Sur les sols les mieux alimentés en eau, le cycle phénologique de la vigne est légèrement plus tardif, la vitesse de croissance et la longueur totale des rameaux sont plus grandes et le poids des bois de taille est plus élevé. Sur ces mêmes sols, le poids des baies est plus élevé, les raisins sont moins riches en sucre, en anthocyanes et en composés phénoliques et plus riches en acide malique, ce qui traduit un potentiel œnologique moins intéressant. Parmi les facteurs étudiés, la vitesse de croissance, la longueur totale des rameaux et la précocité de l'arrêt de croissance, ainsi que le D280 et la teneur en acide malique des raisins, sont ceux qui sont le mieux corrélés avec les valeurs du potentiel hydrique foliaire (corrélations significatives au seuil $\alpha = 0,01$). Ces observations soulignent l'influence de l'alimentation en eau de la vigne, en zone tempérée, sur le comportement de la vigne et l'intérêt d'un régime hydrique modéré pour l'obtention d'un fruit de bonne qualité œnologique.

Manuscrit reçu le 17 janvier 1994 ; accepté pour publication le 1er mars 1994

RÉFÉRENCES 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. *Ind. atomiques* 3/4 63-70 et 5/6 72-80.

DUTEAU J., 1980. *Le vignoble de Pomerol et Saint-Emilion : climat, formations géologiques et grands types de sols; particularités du régime hydrique.* Colloque Franco-Roumain, relations sol-vigne, 23-27, I.N.R.A., Bordeaux.

DUTEAU J., 1981. Rôle des facteurs climatiques et géologiques en Bordelais. *In : Actualités œnologiques et viticoles*, 40-44, Dunod, Paris.

DUTEAU J., 1982. Alimentation en eau de la vigne dans le Bordelais en période estivale sèche. Exemple de l'année 1980 à Saint-Emilion et Pomerol. *Sci. Sol.*, 1, 15-29.

DUTEAU J., 1987. Contribution des réserves hydriques profondes du calcaire à Astéries compact à l'alimentation en eau de la vigne dans le Bordelais. *Agron.*, **7**, n°10, 859-865.

DUTEAU J., 1990. Relation entre l'état de maturité des raisins (Merlot noir) et un indice climatique. Utilisation pour fixer la date des vendanges en année faiblement humide dans les crus du Bordelais. *In : Actualités oenologiques 89,* 7-12, Dunod, Paris.

ENJALBERT H., 1983. *Les grands vins de Saint-Emilion, Pomerol et Fronsac.* 634 p., BARDIE, Paris.

GLORIES Y., 1978. Recherches sur la matière colorante des vins rouges. *Thèse Doctorat d'Etat*, 195 p., Université Bordeaux II.

GUILLOUX M., DUTEAU J. et SEGUIN G., 1978. Les grands types de sols viticoles de Pomerol et Saint-Emilion. *Conn. Vigne Vin*, **12**, n°3, 141-165.

KATERJI N. et HALLAIRE M., 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agron.*, **4**, n°10, 999-1008.

PEYNAUD E., 1946. Contribution à l'étude biochimique de la maturation du raisin et la composition des vins. D.E.S. de Sciences Physiques, Faculté des Sciences de Bordeaux.

RIBEREAU-GAYON P., 1970. Le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins rouges. *Chim. Analy.*, **52**, n°6, 627-631.

RIBEREAU-GAYON P. et STONESTREET E., 1965. Le dosage des anthocyanes dans le vin rouge. *Bull. Soc. Chim.*, **9**, 2649-2652.

SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.J., BRADSTREET E.D. et HEMMINGSEN E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, **148**, 339-346.

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 d'Etat*, 141 p., Faculté des Sciences, Université Bordeaux.

SMART R. et COOMBE B., 1983. Water relations of grapevines. *In : KOZLOWSKI Water deficits and plant growth,* vol. VII, 137-196, Academic Press, New York.

VAN LEEUWEN C., 1989. *Carte des sols du vignoble de Saint-Emilion.* 92 p., Syndicat Viticole de Saint-Emilion.

VAN LEEUWEN C., BAUDET D., DUTEAU J., SEGUIN G. et WILBERT J., 1989. Les sols viticoles et leur répartition à Saint-Emilion, Pomerol et quelques autres communes du Libournais. *Conn. Vigne Vin,* **23**, n°3, 131-150.

VAN LEEUWEN C., 1991. Le vignoble de Saint-Emilion : répartition des sols et fonctionnement hydrique; incidences sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin. *Thèse Doctorat nouveau régime*, 155 p., Institut d'Œnologie, Université Bordeaux II.