Connaissance Vigne et Vin, 1977, **11**, N° 1, 1-50.

LE VIGNOBLE DES COTES DE BOURG

Les sols et le climat. Influence sur la croissance des sarments et sur la maturation du raisin

J. DUTEAU et G. SEGUIN

Institut d'Œnologie
351, Cours de la Libération 33405 Talence (France)

INTRODUCTION

Une culture est une association végétale ou, si l'on préfère, un écosystème très spécialisé dans la réalisation duquel le facteur décisif est l'homme (GUINOCHET, 1968).

Des deux classifications des facteurs écologiques citées par LEMEE (1967), celle qui semble la mieux adaptée à la viticulture est la suivante :

— **facteurs climatiques et atmosphériques** : énergétiques d'une part (lumière et chaleur), hydriques d'autre part ;

— **facteurs édaphiques** qui ont leur siège dans le sol (caractères physiques et chimiques) et **facteurs topographiques** liés aux formes du terrain et à l'exposition ;

— **facteurs biotiques** réunissant les interactions des organismes vivants et en particulier celles de l'homme.

En ce qui concerne la viticulture, nous retiendrons avec HUGLIN (1972), que si les facteurs climatiques, édaphiques et topographiques sont en grande partie imposés par la nature et déterminent ce qui peut être fait, par contre, le rôle des facteurs biotiques dépend essentiellement des interventions humaines.

Mais si le facteur humain a longtemps été prépondérant et joue encore de nos jours un rôle considérable, il faut bien admettre que les caractères des vins sont étroitement liés à la nature du cru, que l'on peut définir comme l'association en un lieu donné du sol, du climat et de la vigne.

Une des premières études tendant à préciser cette notion a été effectuée dans les grands crus du *Haut-Médoc,* en essayant de relier la maturation du raisin avec les données climatiques, la connaissance physico-chimique des zones exploitées par les racines et l'alimentation en eau de la vigne (SEGUIN, 1970).

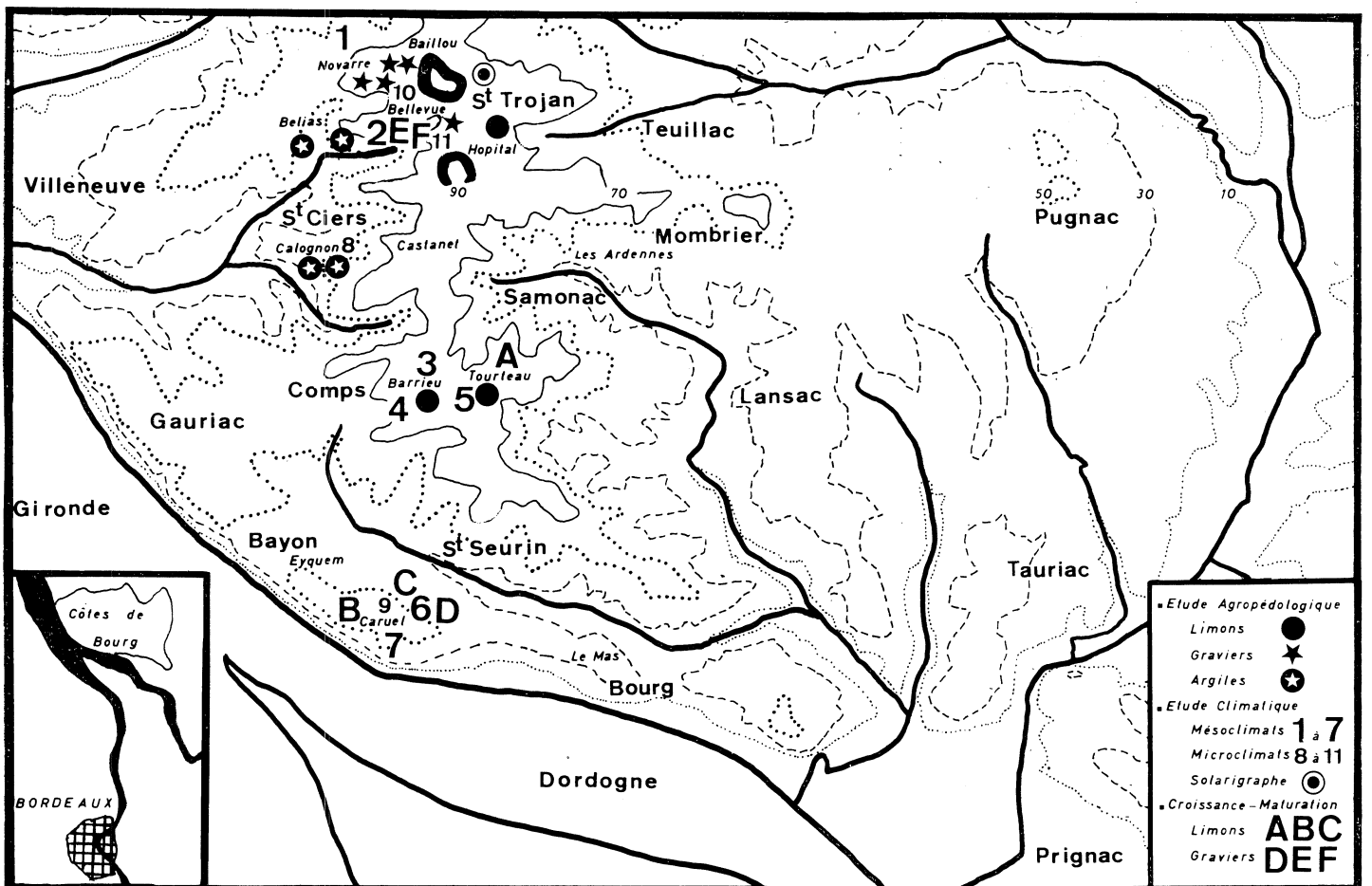


Fig. 1. — Carte topographique de la région des Côtes de Bourg.
Emplacements des différents points d'étude.

Le même type d'étude fut réalisé dans la région des *Graves de Bordeaux* par COMPAGNON (1970) et, à l'heure actuelle, PUCHEU-PLANTÉ termine un travail similaire dans le *Sauternais* (1975).

Faisant suite à une étude agropédologique du vignoble des *Côtes de Bourg* (DUTEAU, 1973) et parallèlement à des recherches méso et microclimatiques, dont nous rappellerons les conclusions essentielles, nous avons étudié, sur six sols caractéristiques de cette région, l'allongement des sarments de vigne (en 1974) et l'évolution de la maturation du raisin durant deux années consécutives (1974 et 1975). Cette étude a été faite en relation avec la constitution physique et chimique des 150 premiers centimètres du sol, l'évolution des profils hydriques jusqu'à cette même profondeur et les données climatiques relevées sur les parcelles d'étude.

ETUDE AGROPEDOLOGIQUE

Bordant la rive droite de la Gironde, au confluent de la Dordogne et de la Garonne, les *Côtes de Bourg* déploient sur une superficie restreinte (100 km² environ) un ensemble de vallons et de collines culminant à 92 m. Cette morphologie accidentée lui a valu l'épithète de « *Suisse Girondine* » et en fait une région favorable à la culture de la vigne.

L'ossature géologique est constituée par la formation complexe du calcaire à Astéries d'âge Stampien (Oligocène supérieur) : il forme les falaises bordant la Gironde et affleure le long des petites vallées dont le fond est occupé par la molasse Sannoisienne du Fronsadais (Oligocène inférieur). Des dépôts gravelo-argileux (probablement Pliocène) nappés par endroits de limons bruns (Quaternaire) ont recouvert indifféremment cette région.

A la suite de nombreux prélèvements effectués à la tarière, nous avons choisi douze profils culturaux (fig. 1) qui, sans être le reflet exact de cette région, nous offrent une bonne représentation du cœur des *Côtes de Bourg,* là où la vigne a tous les caractères d'une monoculture.

L'examen des différents profils a montré que, du haut vers le bas, on pouvait distinguer au moins trois couches :

— les zones superficielles remaniées par l'homme lors des travaux culturaux saisonniers ;

— celles plus profondes remaniées lors des défoncements qui précèdent les plantations ;

— enfin les couches originelles : au niveau de ces dernières, nous avons pu identifier parfois de véritables horizons mais, le plus souvent, une certaine homogénéité rendait impossible toute distinction pédologique.

Cette étude nous a permis de différencier trois grands types de sols dont nous allons rappeler les caractères essentiels.

LES SOLS SUR LIMONS

Les sols rencontrés sur ces formations sont dérivés de sols bruns ou de sols bruns lessivés.

Bien que la fraction limoneuse (2 à 50 µm) constitue la classe dominante de la terre fine (50 à 66 p. 100), les pourcentages d'argile (éléments inférieurs à 2 µm) sont élevés : 13 à 22 p. 100 superficiellement, 20 à 30 p. 100 en profondeur.

Les teneurs en carbone organique, faibles en surface (0,8 à 1,3 p. 100) deviennent très basses dans les couches originelles ; les rapports C/N restent voisins de 10 sur l'ensemble des profils mais l'alimentation azotée ne peut s'effectuer dans de bonnes conditions qu'à partir des zones superficielles.

Les faibles teneurs en matière organique et la nature minéralogique des argiles (essentiellement des illites) sont responsables des capacités d'échange moyennes que présentent ces sols (6 à 11 méq. p. 100 g de terre).

Les teneurs en éléments nutritifs sont généralement assez faibles dans les zones originelles, à l'exception toutefois du magnésium ; dans les couches remaniées par l'homme, les teneurs élevées en potassium et en phosphore assimilable sont dues presque exclusivement à des apports d'engrais.

Il faut également noter que les réserves en eau utile sont très importantes dans ces sols.

C'est dans la région de *Comps* et de *Saint Trojan,* au sommet des coteaux couronnant ces localités *(Tourteau, Barrieu, Hôpital),* que les limons présentent leur puissance maximale (2,5 m environ). Des signes d'hydromorphie apparaissent fréquemment lorsqu'ils sont situés en topographie horizontale ; par contre, sur les pentes, le drainage s'effectue dans de meilleures conditions et la marmorisation disparaît. Dans tous les cas, l'enracinement est dense et profond.

Lorsque les limons se présentent sous une faible épaisseur et recouvrent directement les formations argilo-calcaires oligocènes, comme c'est le cas en bordure du fleuve *(Caruel, Eyquem),* les signes d'hydromorphie sont rares, même en topographie horizontale. Comme dans le cas précédent, l'enracinement est dense au niveau des couches limoneuses ; par contre, il est variable en profondeur et dépend essentiellement du faciès des sédiments oligocènes sous-jacents.

LES SOLS SUR GRAVES SABLO-ARGILEUSES

Dérivés de sols bruns lessivés ou de sols lessivés, ils sont généralement mal structurés et fortement érodés, surtout lorsqu'ils se rencontrent en position topographique accidentée.

Ces sols à texture légèrement graveleuse ont des teneurs élevées en argile (6 à 27 p. 100 en surface, 20 à 44 p. 100 en profondeur), mais ce sont les sables (50-2000 µm) qui constituent la classe dominante de la terre fine (46 à 78 p. 100). L'absence pratiquement totale de la fraction limoneuse dans les couches profondes contraste avec son abondance au niveau des zones remaniées par l'homme : les sédiments limoneux, en effet, ont nappé fréquemment sur une très faible épaisseur les graviers pliocènes et, lors des travaux culturaux, le remaniement a entraîné une augmentation de la fraction limoneuse dans les couches superficielles.

Ici aussi, les teneurs en carbone organique sont faibles (0,5 à 1,15 p. 100 en surface) ; il en est de même pour l'azote total.

Le complexe adsorbant est caractérisé par des capacités d'échange plus faibles que précédemment (3,5 à 9,5 méq. p. 100 g) car la kaolinite qui prédomine dans la phase argileuse a un pouvoir adsorbant moins important que les illites.

En ce qui concerne les cations échangeables, leurs teneurs sont généralement peu élevées dans les couches originelles et, malgré des capacités d'échange basses, une acidité parfois importante caractérise ces horizons profonds ; dans les zones remaniées par l'homme, le complexe adsorbant est fréquemment saturé par suite d'apports importants d'engrais et les pH sont voisins de 7.

Les réserves en eau utile, ici aussi, sont importantes.

La puissance de ces graviers est variable : en bordure du fleuve, les affleurements sont très localisés et relativement peu épais tandis que dans la région de *Mombrier* et de *Saint Trojan (Castanet, Baillou),* ils atteignent leur épaisseur maximale (10 à 15 mètres).

L'enracinement est très développé en surface mais variable en profondeur : il est dense au niveau des zones les plus graveleuses mais réduit et composé généralement de grosses racines de direction verticale dans les plus argileuses (cette texture argileuse et l'absence de fraction limoneuse entraînant une structure compacte peu favorable au développement racinaire). Ce sédiment peut présenter localement un concrétionnement ferrique en masse : les racines serpentent alors à la surface de ces zones indurées avant de les contourner.

LES SOLS SUR SEDIMENTS ARGILO-CALCAIRES

Ces sols, de profondeur variable, dérivent de sols bruns calcaires ou de rendzines. Comme ils présentent une bonne stabilité structurale, l'érosion est limitée bien qu'ils soient souvent situés sur des pentes à pourcentage élevé.

L'hétérogénéité des roches-mères : calcaire compact et marne *(Belias),* molasse et argile *(Calognon)* ne permet pas de définir une classe granulo-

métrique dominante ; cependant les pourcentages d'argile y sont élevés, comme sur les deux autres types de sols (20 à 40 p. 100).

Les taux de carbone relativement forts en surface (1,0 à 1,4 p. 100) deviennent faibles dans les couches originelles. Bien que les teneurs en azote total soient élevées dans les horizons superficiels (0,076 à 0,130 p. 100), l'alimentation azotée peut y être déficitaire : en effet, l'humus stabilisé par le calcaire actif ne se minéralise que lentement.

Les capacités d'échange sont variables (8 à 16 méq. p. 100 g), mais fréquemment plus élevées que pour les sols décrits précédemment ; le complexe adsorbant est toujours saturé par les ions calcium et le calcaire actif donne à ces sols une réaction très nettement alcaline.

Les teneurs en cations échangeables sont faibles en profondeur, à l'exception du potassium ; les rapports K/Mg (exprimés en méq.) sont souvent supérieurs à 1 en surface, par suite d'apports excessifs de potassium, ce qui peut limiter la nutrition magnésienne.

Les réserves en eau utile sont encore plus élevées que pour les deux premiers types de sols.

L'enracinement est généralement très dense mais, s'il est profond dans les sédiments argileux, il n'en est pas de même sur les roches-mères calcaires où l'épaisseur de terre utilisable par les racines est d'environ 50 centimètres. Sur les molasses enfin, l'enracinement peut être limité par une induration se présentant sous un aspect gréseux et située à des profondeurs variables.

CONCLUSIONS

« La nature du sol change à chaque pas » : ce dicton s'applique tout particulièrement au *Bourgeais* où les formations géologiques sont variées et où la topographie facilite les phénomènes d'érosion et de colluvionnement. On y rencontre une gamme de sols qui, malgré une diversité apparente, ont en commun un certain nombre de caractères :

— au point de vue textural, la fraction fine prédomine largement et les pourcentages d'argile y sont élevés ;

— la matière organique est peu abondante ;

— bien que faibles pour des sols cultivés, les capacités d'échange sont parmi les plus élevées des sols viticoles du *Bordelais ;*

— toutes les considérations sur les teneurs en eau et en éléments assimilables ne présentent qu'un intérêt limité ; ce qui importe le plus, ce sont les quantités totales d'éléments assimilables ou d'eau utilisable se trouvant dans la zone exploitée par les racines. Dans la plupart des sols viticoles du *Bordelais (Médoc, Graves, Sauternais),* les teneurs en éléments assimilables sont faibles, même dans les zones remaniées par l'homme,

ce qui favorise l'extension en profondeur du système racinaire et améliore l'alimentation en eau et la nutrition minérale de la vigne ; par contre, dans les *Côtes de Bourg,* les réserves en eau utile et en éléments assimilables sont élevées dès le premier mètre, ce qui explique le développement racinaire important observé sur la plupart des profils culturaux.

ETUDE CLIMATIQUE

Le temps qu'il fait en un lieu à un moment donné est défini par l'ensemble de plusieurs mesures physiques : température et humidité relative de l'air, rayonnement solaire global (ou durée d'insolation), précipitations, etc. ; le climat est lui-même défini par l'ensemble de tous les temps qui se succèdent en un lieu.

Le **climat général** d'un pays est déterminé par de très nombreux facteurs dont les principaux sont cités dans le Traité de Climatologie de PEGUY (1970) : la répartition des terres et des mers, les courants marins, l'orientation des masses continentales et les traits majeurs du relief.

A une échelle plus restreinte, le **climat régional** (macroclimat) va dépendre essentiellement des propriétés physiques des étendues d'eau mineures, du relief tant par lui-même que par l'altitude qu'il crée, de la végétation, etc. En examinant les données climatiques des différentes régions, il se dégage un certain nombre de facteurs limitant la culture de la vigne qui, lorsqu'on se déplace du Nord vers le Sud, sont les suivants : gelées d'hiver, gelées de printemps, caractéristiques héliothermiques de la période de végétation, alimentation en eau déficitaire, hivers doux peu favorables au débourrement (NIGOND, 1972). Mais l'insuffisance de ces données régionales apparaît par exemple lorsqu'on s'aperçoit que *Strasbourg* (caractérisé par un ensemble de facteurs thermiques défavorables) est situé à proximité d'une grande région viticole : il est donc nécessaire de préciser le climat à une échelle plus restreinte.

Le *Bassin Aquitain* est à la fois une région méridionale chaude et une région atlantique aux températures douces et constantes ; l'humidité relative de l'air y est élevée et les précipitations abondantes. Les vents dominants viennent de l'ouest.

La station météorologique de *Bordeaux-Mérignac,* située à une altitude faible et en bordure de la forêt landaise, n'est peut-être pas la plus représentative de la région *Nord-Aquitaine.* Cependant, les données climatiques de cette station étant habituellement utilisées pour définir le climat *bordelais,* elles nous ont servi de référence régionale tout au long de notre étude.

LES MESOCLIMATS

Correspondant à l'idée de climat local de GESLIN (1947), le terme **mésoclimat** proposé dès 1935 par SCAETTA et dont GODARD (1949) a

souligné l'intérêt, est préférable d'après NIGOND à celui de topoclimat de PASZYNSKI (1968) ; le mésoclimat correspond à la même échelle de distances et englobe, outre l'influence de la topographie, celle d'autres facteurs tels que les forêts, les cours d'eau, etc.

Il nous a semblé préférable, pour cette étude, de ne pas retenir des situations trop particulières, telles que les bordures immédiates de bosquets, des fonds de vallées, etc., où nous aurions pu observer des différences importantes mais où, par empirisme, on n'implante généralement pas de vigne. De même, des relevés le long de petites vallées disséquant cette région auraient été souhaitables pour préciser l'influence des fortes pentes mais, étant obligés de limiter nos points d'étude, nous n'avons retenu que des situations voisines de celles observées le plus fréquemment dans le vignoble *bordelais* (larges plateaux ou croupes de faible pente). Cette étude fut réalisée essentiellement durant l'année 1974.

1. — **Le rayonnement solaire** (Tableau I).

Un solarigraphe, constitué par une pile thermoélectrique reliée à un millivoltmètre enregistreur, permettant de mesurer le rayonnement solaire direct et diffusé (longueur d'onde comprise entre 0,3 et 2,5 µm) a été installé au sommet des coteaux dominant cette région (fig. 1).

TABLEAU I

Rayonnement solaire global mensuel et annuel en 1974.
Bordeaux-Mérignac : calculé (RG_C) à partir des durées d'insolation en heures (I).
Côtes de Bourg : mesuré (RG_M) avec un solarigraphe.

Les résultats sont exprimés en calories par centimètre carré.

MOIS	BORDEAUX MERIGNAC		COTES DE BOURG
	I	RG_C	RG_M
J	61,6	3100	2896
F	107,4	4900	4846
M	129,3	7688	8136
A	209,8	11460	12840
M	224,6	13423	14399
J	275,1	15060	16643
J	269,5	14756	16606
A	268,2	13392	14570
S	158,8	8580	8762
O	91,8	5332	6049
N	86,8	3630	3579
D	69,2	2666	2616
1974	1952,1	103987	111942

Ne disposant que d'un seul appareil, l'influence mésoclimatique n'a pu être précisée ; cependant nous avons comparé nos résultats avec ceux de *Bordeaux-Mérignac ;* cette station utilisant un héliographe, le rayonnement global a été calculé à l'aide des formules de transformation de DURAND (1974) à partir des durées d'insolation : bien qu'imparfaite, cette méthode semble indiquer un déficit énergétique à *Bordeaux-Mérignac* (6 p. 100 pour l'ensemble de l'année, 9 p. 100 pendant la période de végétation de la vigne).

2. — **La température et l'humidité relative de l'air** (Tableaux II et III).

Sept abris météorologiques ont été implantés dans les vignobles du *Bourgeais* (fig. 1) ; à l'intérieur de chaque abri, soit à 150 cm environ au-dessus du sol, nous avons placé un thermohygrographe. Les stations 1, 3 et 7 situées en topographie horizontale respectivement à 4.500, 2.500 et 500 mètres environ de la *Gironde*, nous ont permis de préciser l'influence de la proximité du fleuve. Parallèlement, les mesures réalisées dans ces stations nous ont servi de référence pour étudier les effets d'autres facteurs. Ainsi la station 2, située sur un large plateau à 4,5 km du fleuve mais à 100 m environ d'un bois, sera comparée avec 1 ; la station 5 ne se différencie de 3 que par la présence d'un village à une cinquantaine de mètres ; située à proximité de 7, mais sur une croupe de faible pente exposée au Nord, la station 6 permet de préciser l'influence de cette exposition ; il en est de même pour l'exposition Sud où c'est 4 qui sera comparée à 3.

a) En ce qui concerne les *températures,* il n'apparaît pas de différence pour les moyennes des maxima : d'un poste à l'autre, les variations annuelles ont été de 0,15 °C, ce qui n'est pas significatif étant donné la précision des appareils utilisés (thermographes à bilame ultrasensible) ; les différences journalières ne dépassent jamais 1 °C.

Quant aux mimima, cette homogénéité est moins nette : au cours de certaines nuits, dans les abris 1 et 6, les températures minimales sont inférieures de 2 à 3 °C mais il ne s'agit pas d'un phénomène régulier et les moyennes annuelles n'y sont que très légèrement plus faibles (0,3 °C).

Par contre, la station de *Bordeaux-Mérignac* présente généralement des températures maximales plus élevées (fréquemment 1 ou 2 °C) et des minima beaucoup plus faibles (écarts atteignant parfois 4 à 5 °C) : cela se traduit par des distributions mensuelles sensiblement différentes de celles du *Bourgeais.*

b) Il n'apparaît pas de différence entre les divers postes pour les *humidités relatives,* excepté pour les stations 6 et 7 (situées à proximité du fleuve) où, tant pour les minimales que pour les maximales, les hygrométries moyennes annuelles sont très légèrement plus faibles (1 p. 100).

TABLEAU II

Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales (T_m) et maximales (T_M) en 1974 à Bordeaux-Mérignac et dans les Côtes de Bourg.

Les résultats sont exprimés en degrés Celsius.

MOIS	BORDEAUX MERIGNAC		COTES DE BOURG													
			1		2		3		4		5		6		7	
	T_m	T_M	T_m	T_M	T_m	T_M	T_m	T_M	T_m	T_M	T_m	T_M	T_m	T_M	T_m	T_M
J	4,6	11,9	5,4	10,6	5,4	10,6	5,4	10,5	5,4	10,6	5,4	10,6	5,0	10,6	5,2	10,7
F	3,4	11,0	3,7	9,7	3,7	9,7	3,9	9,7	3,9	9,6	3,9	9,8	3,6	9,7	3,9	9,8
M	4,5	13,8	5,7	13,4	5,8	13,5	5,4	13,5	5,7	13,5	5,6	13,5	5,4	13,5	5,7	13,6
A	5,3	16,0	6,2	15,2	6,7	15,3	6,5	15,1	6,6	15,1	6,5	15,1	6,5	15,3	6,7	15,3
M	8,6	19,6	9,9	19,5	10,1	19,5	9,9	19,2	10,0	19,3	10,1	19,3	10,0	19,3	9,9	19,5
J	11,6	23,8	12,7	24,1	13,1	24,0	13,1	23,8	13,3	24,2	13,3	24,0	13,0	23,8	13,1	24,1
J	12,4	25,7	14,0	25,7	14,2	25,7	14,2	25,4	14,3	25,7	14,5	25,7	14,1	25,5	14,3	25,5
A	13,7	26,9	14,9	26,8	14,9	26,7	14,6	26,4	14,8	26,7	14,8	26,7	14,7	26,6	14,9	26,5
S	11,8	21,2	12,3	20,0	12,6	20,1	12,2	19,9	12,5	20,2	12,5	20,2	12,4	20,0	12,6	20,0
O	5,3	13,8	6,4	12,4	6,7	12,3	6,5	12,4	6,7	12,6	6,7	12,6	6,3	12,3	6,7	12,3
N	6,4	14,1	6,7	12,2	7,0	12,2	6,7	12,2	6,7	12,2	6,9	12,2	6,7	12,3	6,9	12,3
D	5,7	12,0	6,0	10,6	6,2	10,6	6,0	10,6	6,1	10,6	6,2	10,7	5,8	10,5	6,3	10,7
1974	7,77	17,48	8,66	16,68	8,86	16,68	8,83	16,69	8,86	16,69	8,70	16,55	8,62	16,61	8,85	16,68

TABLEAU III

Moyennes mensuelles et annuelles des humidités relatives minimales (HR_m) et maximales (HR_M) en 1974 à Bordeaux-Mérignac et dans les Côtes de Bourg.

Les résultats sont exprimés en pour cent.

MOIS	BORDEAUX MERIGNAC		COTES DE BOURG													
			1		2		3		4		5		6		7	
	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m	HR_M	HR_m
J	94,7	65,4	98,7	71,7	99,0	71,5	99,0	72,4	99,0	71,7	99,0	72,0	98,9	71,7	98,9	71,6
F	96,7	61,5	98,7	62,3	99,0	61,6	99,2	62,9	99,1	62,0	99,1	62,9	99,0	62,0	99,0	62,0
M	98,7	59,2	98,2	59,5	98,3	58,3	98,5	58,7	98,3	57,8	98,5	58,7	97,9	58,3	97,5	58,6
A	96,4	51,4	94,6	44,8	94,1	44,8	94,1	45,1	93,9	45,5	94,1	44,1	93,0	44,4	93,0	44,5
M	98,4	53,6	98,5	42,9	99,1	42,9	99,1	43,2	99,0	43,7	99,0	43,0	98,0	42,6	98,0	42,7
J	95,5	45,0	96,9	38,2	95,9	38,3	95,9	38,2	95,9	38,8	95,3	36,7	94,6	38,1	94,6	38,0
J	96,9	47,6	99,8	40,1	99,7	40,1	99,2	40,1	99,2	40,6	99,3	40,5	99,2	39,8	98,9	39,5
A	95,7	42,9	96,6	33,4	95,6	33,5	95,7	34,7	95,6	34,5	95,6	34,7	94,3	35,0	94,3	35,2
S	97,1	59,0	98,8	58,8	98,8	58,8	98,8	60,4	98,8	58,9	98,8	59,1	98,8	57,8	98,8	58,5
O	95,6	66,2	99,8	66,9	99,8	66,5	99,6	66,2	99,7	65,9	99,7	65,9	99,6	64,5	99,6	64,5
N	94,4	67,0	99,0	71,7	99,0	71,7	99,4	71,5	99,0	71,7	99,4	71,7	99,0	70,1	99,0	70,1
D	95,1	71,7	99,1	76,2	99,0	75,6	98,9	75,8	98,0	75,4	98,8	75,4	98,6	73,7	98,6	73,8
1974	96,27	57,54	98,22	55,54	98,11	55,30	98,02	55,54	98,05	55,39	98,12	55,76	97,57	54,83	97,51	54,91

Etant donné la précision des appareils utilisés (hygrographes à cheveux), il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de *Bordeaux-Mérignac* (où l'on utilise des psychromètres).

3. — **La pluviosité** (Tableau IV).

A proximité de chaque abri, un pluviomètre à lecture directe a été installé, l'ouverture étant placée à 150 cm au-dessus du sol.

La pluviosité est l'élément climatique qui varie le plus d'un poste à l'autre : cependant les bilans annuels restent voisins ; seules les stations 6 et 7 ont des précipitations plus faibles (il s'agit d'ailleurs des deux stations où l'humidité relative de l'air est également plus basse).

Il faut noter que la pluviosité est nettement plus élevée à *Bordeaux-Mérignac* (8 p. 100), ce qui est à rapprocher du déficit énergétique observé dans cette station.

TABLEAU IV

Précipitations mensuelles et annuelles en 1974 à Bordeaux-Mérignac et dans les Côtes de Bourg.

Les résultats sont exprimés en millimètres.

MOIS	BORDEAUX MERIGNAC	COTES DE BOURG						
		1	2	3	4	5	6	7
J	64,6	82,5	78,3	78,8	76,4	79,5	76,4	77,2
F	132,1	117,4	120,6	108,3	108,1	112,8	105,1	105,7
M	87,6	57,7	59,1	55,4	55,4	57,4	54,4	55,4
A	70,0	58,8	59,2	59,7	60,6	60,0	57,3	63,2
M	75,2	75,1	78,1	79,9	81,1	80,0	75,6	77,1
J	13,4	30,1	28,7	24,6	23,5	25,8	20,6	22,4
J	15,4	17,7	17,3	15,8	15,6	16,9	15,2	14,8
A	69,9	60,3	62,5	62,6	61,9	61,1	55,5	54,7
S	115,2	113,8	108,8	119,4	119,5	118,6	108,0	107,7
O	136,9	112,6	108,6	110,5	114,1	109,1	125,8	127,5
N	110,9	88,6	89,2	94,4	97,0	95,7	93,4	97,0
D	31,4	30,7	31,1	28,8	31,7	30,5	28,7	29,3
1974	922,2	845,3	841,5	838,2	844,9	847,4	816,0	832,0

Remarque : Des mesures effectuées en 1975 pendant la période de maturation du raisin n'ont pas conduit à des conclusions différentes.

LES MICROCLIMATS

A l'opposé des notions de climat régional et de mésoclimat où les différentes mesures sont effectuées dans des stations météorologiques

(celles-ci étant conçues de façon à supprimer les effets du sol et de la végétation), s'est développée la notion de **microclimat** sous l'influence de GEIGER notamment. Elle constitue une étape nouvelle dans la voie de l'analyse fine de l'habitat animal et végétal. Il s'agit de préciser ici les conditions climatiques des organes végétaux et du milieu dans lequel ils se développent : sol et basses couches de l'atmosphère. Vis-à-vis du microclimat, les facteurs liés à la plante sont de deux ordres (biologique et agronomique) mais le sol joue également un rôle très important.

Une étude sur le terrain ne nous permettant pas de modifier le facteur plante, les parcelles d'étude ont été choisies de façon que celui-ci intervienne toujours de la même manière et soit le plus représentatif de cette région (vigne basse, taille Guyot, palissage et rognage à 150 cm au-dessus du sol, orientation Nord-Sud des rangs) : dans ces conditions, il est possible de préciser les différences microclimatiques liées à la nature des sols.

Quatre parcelles ont été choisies (fig. 1) : un sol argilo-calcaire (8), un sol limoneux (9) et deux sols gravelo-argileux (10 et 11). Diverses mesures ont été réalisées (dans les interlignes) au cours de la maturation 1975.

1. — **Le pourcentage de lumière réfléchie** (albédo).

Il a été mesuré à 50 cm au-dessus du sol (au niveau des grappes), durant certaines journées ensoleiliées, à l'aide d'un solarigraphe, celui-ci étant utilisé en albédomètre par retournements successifs tantôt vers le ciel, tantôt vers le sol.

A cause de la dessiccation de la surface du sol et de la zone d'ombre qui varie au cours de la journée, l'albédc n'est pas constant (VARLET GRANCHER, 1974). Les maxima sont observés vers midi : pour les sols argileux et limoneux, les pourcentages sont compris entre 15 et 18 p. 100 ; ils atteignent 18 à 23 p. 100 pour les sols gravelo-argileux de couleur plus claire et parfois même 25 p. 100 lorsque les graviers sont délavés par les pluies. Mais il faut rappeler que, très souvent, les limons quaternaires ont nappé sur une très faible épaisseur ces graviers pliocènes : mélangés aujourd'hui à ceux-ci, les limons bruns ont modifié la couleur originelie du sol et, dans ce cas, l'albédo est voisin de ceux mesurés sur les deux autres types de terrain.

L'intégration journalière donne des valeurs de 11 à 13 p. 100 pour les textures argileuses et limoneuses et de 16 à 18 p. 100 pour les textures gravelo-argileuses.

2 — **La température du sol.**

Elle a été mesurée à différentes profondeurs (10, 20 et 40 cm) avec des thermosondes à tension de vapeur.

Après de longues périodes sans précipitations, la plupart des sols gravelo-argileux sont plus secs en surface : les températures maximales mesurées à 10 cm sont alors supérieures de 2 à 3 °C à celles relevées à la même profondeur dans les sols argileux et limoneux (qui se comportent de façon très voisine) ; quant aux minimales, elles sont voisines sur l'ensemble des sols. A 40 cm de profondeur, les sols limoneux et argilo-calcaires présentent une température le plus souvent uniforme tandis que les courbes thermiques des sols gravelo-argileux ont un aspect sinusoïdal : les maxima sont supérieurs de 2 °C aux températures minimales qui sont très voisines de celles relevées sur les deux premiers types de sols. Dans certains sols gravelo-argileux, l'alimentation en eau de la vigne se fait essentiellement aux dépens des horizons profonds et, les couches de subsurface s'asséchant moins, ils se comportent comme les sols limoneux ou argilo-calcaires.

Bien que de très nombreux facteurs aient une influence sur la température du sol, l'état hydrique joue un rôle très important. Comme nous l'avons vu précédemment, les sols gravelo-argileux typiques sont plus clairs et absorbent ainsi moins d'énergie ; mais leur chaleur spécifique étant plus faible (puisqu'ils sont moins humides), ils s'échauffent plus vite, ce qui se traduit par des températures maximales plus élevées ; inversement, ils se refroidissent plus rapidement et les minima nocturnes sont voisins de ceux mesurés dans les autres sols.

3. — **Les indices actinothermiques.**

Ils ont été relevés à différentes hauteurs au-dessus du sol (10, 20, 50 et 150 cm), à l'aide de thermomètres à minimum.

On constate que même les mesures effectuées à 10 cm ne laissent pas apparaître de différences importantes suivant la nature du terrain. Par contre, les écarts entre les indices relevés à 10 et 150 cm peuvent atteindre 4 °C au cours de journées ensoleillées ; la nuit, les profils thermiques sont uniformes puisqu'on note généralement (même pour des nuits très claires) une différence de seulement 0,5 °C entre les mesures réalisées à 10 et à 150 cm de hauteur sur les différents sols étudiés.

4. — **Remarque (à propos des sols gravelo-sableux).**

Les sols gravelo-argileux des *Côtes de Bourg* n'étant pas très représentatifs des sols graveleux du *Bordelais,* nous avons effectué quelques mesures dans la région de *Sauternes.*

Les pourcentages de lumière réfléchie sont assez voisins (15 à 18 p. 100 pour le bilan journalier, 20 à 25 p. 100 pour les maxima). Mais la distribution des températures dans ces sols (qui sont généralement plus asséchés) est modifiée : on note, aussi bien à 10 cm qu'à 40 cm de profondeur, des minima et des maxima plus élevés que dans la région du *Bourgeais* mais avec des amplitudes journalières du même ordre de grandeur. En ce

qui concerne les indices actinothermiques, les profils relevés au-dessus de ces sols présentent une grande analogie avec ceux du *Bourgeais* (écarts maxima de 4 à 5 °C pour les profils diurnes entre 10 et 150 cm, les profils nocturnes étant uniformes). Il faut cependant remarquer que ces études ont été réalisées après une très longue période de sécheresse, si bien que nous avons relevé, sur les différents sols, des profils thermiques « limite ». Il est possible que sur les sols les plus graveleux, ces écarts soient atteints beaucoup plus rapidement que sur les autres sols (meilleur drainage notamment après de fortes précipitations) mais seules des observations continues pourraient nous apporter une réponse précise. Il est également probable (surtout pour les relevés nocturnes) que les indices actinothermiques évoluent entre 1,5 et 3,0 m au-dessus du sol (soit entre 0 et 1,5 m au-dessus de la végétation), ce qui arrive fréquemment au-dessus de la surface des cultures (BOUCHET, 1962 ; GEIGER, 1966).

CONCLUSIONS

Contrairement à ce que l'on pouvait attendre dans une région apparemment aussi diversifiée que les *Côtes de Bourg,* on constate, au moins pour les situations étudiées en 1974 et 1975, une grande homogénéité climatique.

Concernant les climats régionaux, on note des différences sensibles entre le *Bourgeais* et la station météorologique de *Bordeaux-Mérignac* mais, au point de vue mésoclimatique, les fluctuations entre les différentes stations étudiées dans les *Côtes de Bourg* restent faibles (Tableau V).

TABLEAU V

Comparaison entre les conditions climatiques moyennes en 1974 à Bordeaux-Mérignac et dans les Côtes de Bourg.

1974	Température (°C)		Précipitations (mm/j)	Rayonnement solaire (cal/cm²/j)
	minimale	maximale		
Bordeaux-Mérignac	7,7	17,5	2,5	284
Côtes de Bourg	8,6-8,9	16,55-16,7	2,25-2,30	306

En ce qui concerne le microclimat, si les valeurs maximales de l'albédo varient de 0,15 à 0,25 sur les différents sols, elles sont généralement proches de 0,18 ; de plus, les indices actinothermiques sont très voisins. Quant aux températures du sol, les minimales sont pratiquement similaires ; seules les maximales sont plus élevées sur les sols gravelo-argileux les plus asséchés.

INFLUENCE DU SOL ET DU CLIMAT SUR LA CROISSANCE DES SARMENTS ET SUR LA MATURATION DU RAISIN

Plusieurs critères ont guidé notre choix dans la détermination des six parcelles d'étude :

— **édaphique :** nous avons choisi une gamme variée de sols viticoles tous bien entretenus qui, de ce fait, sont représentatifs de la viticulture actuelle ;

— **topographique :** nous avons retenu uniquement des situations horizontales ou de très faible pente car, en raison de la déclivité, les fortes précipitations s'écoulent rapidement vers les parties basses et ne disposent que d'un temps très court pour s'infiltrer dans le sol ; dans ce cas, les relevés pluviométriques ne correspondent plus aux quantités d'eau qui pénètrent dans le sol. Il en est de même pour le rayonnement solaire mesuré à l'aide d'un solarigraphe, car celui-ci capte l'énergie arrivant sur une surface horizontale ;

— **climatique :** les parcelles sont toujours situées à proximité des stations météorologiques (servant à l'étude des mésoclimats) ;

— **biologique et agronomique :** les points d'étude ont été choisis de manière à ce que le facteur plante intervienne toujours de façon similaire : même cépage (MERLOT), porte-greffe identique (420 A sauf pour une parcelle RIPARIA GLOIRE DE MONTPELLIER), âge de plantation compris entre 10 et 15 ans, densité de plantation : 4.000 à 5.000 pieds à l'hectare, même système de taille (Guyot), mode de conduite voisin (vigne basse palissée et rognée à 1,5 m environ au-dessus du sol).

METHODES D'ETUDES

Dans chacune des parcelles choisies, des échantillons de terre ont été prélevés jusqu'à 150 cm de profondeur ; après séchage à l'air, ceux-ci ont été analysés au laboratoire.

Les fractions fines et grossières sont séparées sur tamis AFNOR n° 34 (2 mm) ; sur la fraction fine, les déterminations suivantes ont été réalisées :

- Analyse granulométrique : pipetage des fractions argileuses et limoneuses (méthode ROBINSON) et séparation des sables par tamisage sous l'eau.

- Humidité actuelle de la terre séchée à l'air.

- Carbone organique (méthode ANNE) et azote total (méthode KJELDAHL).

- Matière organique = Carbone $\times$ 1,72.

- Cations métalliques échangeables : K^+, Na^+ et Ca^{++} extraits à l'acétate d'ammonium normal et neutre, Mg^{++} extrait au chlorure de calcium 0,025 N ; K^+ et Na^+ dosés par photométrie d'émission, Ca^{++} par absorption atomique et Mg^{++} par spectrophotométrie d'absorption.

- Somme des cations métalliques échangeables (S) : somme des cations dosés.

- Capacité d'échange des cations (CEC) : méthode MEHLICH.

- Taux de saturation $V = (S/CEC) \times 100$.

- pH mesuré dans l'eau (rapport sol/liquide = 1/2,5).

- Phosphore assimilable : méthode de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

Pour chacun des sols, nous avons regroupé sur un tableau l'ensemble des déterminations analytiques concernant les différentes couches de terrain ; le niveau zéro correspond à la limite inférieure des travaux culturaux saisonniers ; la profondeur (en centimètres) sera notée négativement, excepté pour l'horizon superficiel. Les déterminations relatives au complexe adsorbant sont exprimées en milliéquivalents pour cent grammes de terre fine (méq. p. 100 g), excepté V et le pH. Les autres résultats : analyse granulométrique, humidité actuelle, carbone organique, azote total, matière organique, phosphore assimilable ainsi que la capacité de rétention (Hp : humidité pondérale) sont exprimés en pour cent (p. 100).

Les stations météorologiques installées à proximité des parcelles d'étude nous ont fourni les renseignements journaliers suivants : température et humidité relative de l'air, précipitations, rayonnement solaire global ; les moyennes hebdomadaires ont été calculées à partir de ces résultats.

Pour étudier l'alimentation en eau de la vigne, nous avons implanté entre deux ceps, dans l'alignement d'un rang, un tube en acier inoxydable de 40 mm de diamètre intérieur jusqu'à 150 cm de profondeur. Ce tube sert à introduire une sonde à neutrons (reliée à une échelle de comptage) qui permet de déterminer les teneurs en eau du sol. Le principe de l'appareil est le suivant : une source radioactive envoie dans le sol un nombre constant de neutrons rapides ; ceux-ci sont ralentis jusqu'à l'agitation thermique par chocs successifs sur les différents atomes qu'ils rencontrent, mais essentiellement par l'hydrogène. Ces neutrons thermiques sont captés par un détecteur au trifluorure de bore qui transmet l'information à une échelle de comptage. D'une mesure à l'autre, les variations du flux de neutrons thermiques sont proportionnelles aux variations de l'humidité volumique du sol (ANDRIEUX et *al.*, 1962 ; MOUTONNET et *al.*, 1967). Des relevés de profils hydriques ont été réalisés au cours de l'hiver (pour déterminer la capacité de rétention des différents sols) puis

tous les mois environ du débourrement à la véraison et plus fréquemment de la véraison à la maturité.

Quatorze ceps (répartis sur cinq rangs autour du tube de mesure) ont été choisis dans chaque parcelle : ils furent tous taillés entre le 15 et le 31 décembre 1973.

A partir du débourrement, nous avons suivi l'allongement des sarments en mesurant chaque semaine, à l'aide d'un pied à coulisse, les différents mérithalles de quatorze sarments (un par cep) ; le sarment choisi était issu du dernier bourgeon laissé à l'extrémité du bois de taille.

L'évolution de la maturation du raisin a ensuite été étudiée en prélevant chaque semaine, à partir de la véraison, environ 200 baies sur ces mêmes ceps ; une fois pesés, ces grains ont été pressés et leur jus analysé. Les déterminations suivantes ont été réalisées : sucres réducteurs (méthode BERTRAND), acidité totale, alcalinité des cendres, acides tartrique (méthode O.I.V.) et malique (méthode HOHORST). Au début de la période des vendanges, les raisins issus de ces ceps ont été récoltés et pesés : en tenant compte du poids des baies prélevées pour étudier la maturation, nous avons calculé les rendements de ces ceps ; connaissant les densités de plantation, nous avons extrapolé ces résultats pour obtenir les rendements par hectare.

LES SOLS

Notre étude étant limitée aux 150 premiers centimètres, il est impossible de connaître exactement les quantités totales d'éléments nutritifs

TABLEAU VI

Quantités d'éléments nutritifs dans les différents sols (150 premiers centimètres).

Les résultats sont exprimés en kilogrammes et en équivalents par mètre carré.

	A	B	C	D	E
Azote :					
kg/m² (N)	1,03	1,03	0,66	0,76	1,07
Phosphore :					
kg/m² (P_2O_5)	0,35	0,40	0,21	0,65	0,43
Potassium :					
éq/m² (K^+)	5,58	5,05	3,75	4,71	5,33
kg/m² (K_2O)	0,26	0,25	0,18	0,22	0,25
Magnésium :					
éq/m² (Mg^{++})	28,1	45,0	3,7	11,2	15,9
kg/m² (MgO)	0,56	0,90	0,07	0,22	0,32

TABLEAU VII

Résultats analytiques du sol A.

Profondeurs (cm)		0+10	0—30	—30—60	—60—90	—90—140
Gravier	p. 100	0	0	0	0	0
Terre fine	p. 100	100	100	100	100	100
Sable grossier	p. 100	13,1	13,1	10,6	14,0	14,6
Sable fin	p. 100	7,0	6,9	6,1	7,0	6,9
Limon grossier	p. 100	31,1	30,9	26,2	26,5	26,6
Limon fin	p. 100	23,5	23,8	27,2	26,3	25,0
Argile	p. 100	21,8	22,0	26,9	23,9	24,6
Humidité actuelle	p. 100	2,1	2,1	2,4	1,9	2,0
Matière organique	p. 100	1,4	1,2	0,6	0,4	0,3
Carbone organique	p. 100	0,84	0,70	0,32	0,22	0,17
Azote total	p. 100	0,088	0,078	0,041	0,033	0,029
C/N		9,6	9,0	—	—	—
Capacité de rétention (Hp)	p. 100	20,5	21,6	23,3	24,0	25,6
Complexe adsorbant K+	meq. p. 100 g	0,75	0,32	0,25	0,17	0,15
Na+	meq. p. 100 g	0,09	0,10	0,11	0,11	0,13
Mg++	meq. p. 100 g	0,67	0,55	1,05	1,50	1,75
Ca++	meq. p. 100 g	+	+	+	+	5,00
S	meq. p. 100 g	—	—	—	—	7,03
CEC	meq. p. 100 g	11,4	10,1	8,7	7,1	6,8
V	p. 100	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé
pH eau		7,20	7,30	7,25	7,10	6,95
P_2O_5	p. 100	0,041	0,020	0,012	0,012	0,012

TABLEAU VIII

Résultats analytiques du sol B.

Profondeurs (cm)		0+10	0—30	—30—60	—60—90	—90—140
Gravier	p. 100	0	0	0	0	0
Terre fine	p. 100	100	100	100	100	100
Sable grossier	p. 100	9,7	9,8	3,5	4,1	8,1
Sable fin	p. 100	15,1	14,7	9,5	10,2	13,4
Limon grossier	p. 100	31,9	32,0	26,6	23,1	16,5
Limon fin	p. 100	16,1	17,2	19,7	19,2	13,6
Argile	p. 100	23,2	22,8	37,5	40,0	45,0
Humidité actuelle	p. 100	2,3	2,2	2,7	3,0	3,1
Matière organique	p. 100	1,7	1,3	0,5	0,4	0,3
Carbone organique	p. 100	1,00	0,77	0,34	0,23	0,17
Azote total	p. 100	0,093	0,076	0,056	0,030	0,021
C/N		10,7	10,1	—	—	—
Capacité de rétention (Hp)	p. 100	24,9	28,7	28,1	28,4	33,5
Complexe adsorbant K+	meq. p. 100 g	0,40	0,30	0,27	0,22	0,12
Complexe adsorbant Na+	meq. p. 100 g	0,19	0,07	0,22	0,39	0,40
Complexe adsorbant Mg++	meq. p. 100 g	1,55	1,17	1,64	2,36	2,60
Complexe adsorbant Ca++	meq. p. 100 g	7,00	6,30	11,10	+	+
Complexe adsorbant S	meq. p. 100 g	9,14	7,84	13,23	—	—
Complexe adsorbant CEC	meq. p. 100 g	12,7	12,0	15,9	16,6	14,8
Complexe adsorbant V	p. 100	72	65	83	saturé	saturé
Complexe adsorbant pH eau		6,40	6,20	6,70	7,30	7,95
P_2O_5	p. 100	0,030	0,022	0,012	0,016	0,018

TABLEAU IX

Résultats analytiques du sol C.

Profondeurs (cm)		0+10	0—40
Gravier	p. 100	0	0
Terre fine	p. 100	100	100
Sable grossier	p. 100	9,3	12,2
Sable fin	p. 100	8,5	10,5
Limon grossier	p. 100	27,1	29,8
Limon fin	p. 100	24,4	20,6
Argile	p. 100	26,0	23,0
Humidité actuelle	p. 100	2,6	2,2
Matière organique	p. 100	2,1	1,7
Carbone organique	p. 100	1,20	1,01
Azote total	p. 100	0,122	0,105
C/N		9,8	9,6
Capacité de rétention (Hp)	p. 100	22,2	21,4
Complexe adsorbant — K^+	meq. p. 100 g	0,70	0,60
Complexe adsorbant — Na^+	meq. p. 100 g	0,15	0,12
Complexe adsorbant — Mg^{++}	meq. p. 100 g	0,65	0,60
Complexe adsorbant — Ca^{++}	meq. p. 100 g	+	+
Complexe adsorbant — S	meq. p. 100 g	—	—
Complexe adsorbant — CEC	meq. p. 100 g	19,0	14,6
Complexe adsorbant — V	p. 100	saturé	saturé
Complexe adsorbant — pH eau		8,1	8,0
P_2O_5	p. 100	0,033	0,036

ou d'eau utile se trouvant dans toute la zone exploitée par les racines et susceptibles d'être utilisés par la vigne. Nous avons néanmoins calculé, pour chacun de ces sols, les quantités d'azote total, de phosphore assimilable, de potassium et de magnésium échangeables (de ces 150 cm) en tenant compte du pourcentage de terre fine et en prenant pour densité apparente la valeur moyenne de 1,5 (Tableau VI).

1. — **Les sols sur limons** (Tableaux VII à IX).

Trois parcelles se différenciant essentiellement par la puissance de ce sédiment ont été retenues pour notre étude (fig. 1).

Situé en bordure d'un vaste plateau où les formations limoneuses présentent une épaisseur importante et recouvrent les graviers pliocènes, le sol A présente toutes les caractéristiques physiques et chimiques des sols développés sur ces formations : texture limoneuse, capacité d'échange moyenne, pH voisin de 7, cations bien répartis sur le complexe adsorbant avec cependant des quantités de magnésium importantes (et cela grâce aux teneurs élevées de la roche-mère) ; moyennement pourvu en azote, ce sol est pauvre en acide phosphorique. L'enracinement est dense et profond.

Vers un mètre, le limon argileux qui constitue le sol B fait place à une argile bleue et rouille oligocène ; les caractéristiques chimiques sont voisines de celles du sol A mais avec des teneurs en magnésium encore plus élevées. La densité d'enracinement, importante dans le premier mètre, diminue de façon sensible au niveau de l'argile sous-jacente.

Ce qui différencie le sol C des précédents est la faible épaisseur de terre utilisable par les racines (40 cm de limon reposant sur le calcaire à Astéries compact). Les caractères chimiques sont voisins de ceux du sol A (couches remaniées par l'homme) mais l'enracinement superficiel limite les quantités totales d'éléments assimilables se trouvant dans la zone exploitée par les racines ; de plus, les rapports K/Mg sont voisins de 1 et des carences magnésiennes sont à craindre.

Excepté pour ce dernier sol, les réserves en eau utile sont importantes.

2. — **Les sols sur graves sablo-argileuses** (Tableaux X et XI).

Trois points d'étude ont été retenus ici (fig. 1).

Les parcelles E et F, très proches l'une de l'autre, ne se distinguent que par la nature du porte-greffe (E : 420 A et F : RIPARIA GLOIRE DE MONTPELLIER). Quant aux sols, ils sont semblables (nous ne rapportons ici que l'analyse de E) et constitués par un sable argileux ; les pourcentages d'éléments grossiers sont faibles surtout dans les couches profondes. La capacité d'échange est assez basse et, grâce à un bon entretien de ce sol, le complexe adsorbant est facilement saturé, sauf dans les horizons profonds qui sont caractérisés par une forte acidité ; les quantités

TABLEAU X

Résultats analytiques du sol D.

Profondeurs (cm)		0+10	0—30	—30—60	—60—90	—90—140
Gravier	p. 100	26	21	28	20	12
Terre fine	p. 100	74	79	72	80	88
Sable grossier	p. 100	26,4	24,7	32,7	36,0	42,3
Sable fin	p. 100	13,2	14,4	11,3	12,2	16,6
Limon grossier	p. 100	19,6	19,4	14,1	10,2	8,8
Limon fin	p. 100	13,4	12,9	13,4	10,8	10,5
Argile	p. 100	23,2	25,2	26,2	28,7	23,1
Humidité actuelle	p. 100	2,3	2,1	1,8	1,9	1,5
Matière organique	p. 100	1,9	1,3	0,5	0,2	0,2
Carbone organique	p. 100	1,09	0,74	0,29	0,14	0,12
Azote total	p. 100	0,112	0,080	0,041	0,027	0,020
C/N		9,8	9,2	—	—	—
Capacité de rétention (Hp)	p. 100	17,7	17,7	20,6	24,1	23,0
Complexe adsorbant K+	meq. p. 100 g	0,65	0,47	0,27	0,22	0,10
Na+	meq. p. 100 g	0,07	0,10	0,07	0,15	0,05
Mg++	meq. p. 100 g	0,82	0,65	0,60	0,70	0,55
Ca++	meq. p. 100 g	+	+	+	+	+
S	meq. p. 100 g	—	—	—	—	—
CEC	meq. p. 100 g	15,6	12,8	10,5	9,0	6,5
V	p. 100	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé
pH eau		7,90	7,90	7,90	7,70	7,70
P_2O_5	p. 100	0,062	0,049	0,036	0,035	0,028

TABLEAU XI

Résultats analytiques du sol E.

Profondeurs (cm)		0+10	0—30	—30—60	—60—90	—90—140
Gravier	p. 100	19	16	9	4	5
Terre fine	p. 100	81	84	91	96	95
Sable grossier	p. 100	40,6	41,7	28,7	21,1	19,0
Sable fin	p. 100	12,2	12,2	11,0	8,6	8,7
Limon grossier	p. 100	16,2	16,3	18,5	16,4	14,8
Limon fin	p. 100	13,4	13,2	19,5	16,6	14,0
Argile	p. 100	14,0	13,8	20,4	34,1	40,1
Humidité actuelle	p. 100	1,5	1,1	1,4	2,7	2,9
Matière organique	p. 100	2,1	1,7	0,5	0,5	0,5
Carbone organique	p. 100	1,23	1,01	0,31	0,31	0,28
Azote total	p. 100	0,112	0,092	0,041	0,040	0,035
C/N		11,0	10,9	—	—	—
Capacité de rétention (Hp)	p. 100	16,0	20,8	31,8	30,7	28,5
Complexe adsorbant K+	meq. p. 100 g	0,40	0,30	0,42	0,27	0,12
Na+	meq. p. 100 g	0,10	0,08	0,03	0,07	0,14
Mg++	meq. p. 100 g	0,57	0,77	0,75	0,70	0,87
Ca++	meq. p. 100 g	+	+	+	3,30	2,90
S	meq. p. 100 g	—	—	—	4,34	4,03
CEC	meq. p. 100 g	9,9	8,7	6,1	8,5	9,2
V	p. 100	saturé	saturé	saturé	55	43
pH eau		8,00	7,70	7,20	5,35	4,75
P_2O_5	p. 100	0,069	0,043	0,012	0,015	0,011

totales d'éléments assimilables sont voisines de celles du sol A, excepté pour le magnésium qui est ici moins abondant. L'enracinement dense au niveau des zones remaniées par l'homme devient moins important au-delà de — 60 cm.

Le sol D, légèrement graveleux, présente des teneurs en éléments grossiers comprises entre 12 et 28 p. 100 : cette fraction grossière est constituée par un petit gravier de dimension inférieure à 20 mm ; les sables représentent la classe dominante de la fraction fine. Bien que les teneurs en éléments nutritifs de la terre fine (hormis le phosphore) soient similaires à celles du sol E, les quantités globales se trouvant dans les 150 premiers centimètres sont plus faibles (80 p. 100), ce qui est normal compte-tenu des pourcentages plus élevés de graviers. L'enracinement dense et profond rappelle celui de A.

Comme pour les sols limoneux, les réserves en eau utile sont importantes.

3. — **Les sols sur sédiments argilo-calcaires.**

Ne pouvant multiplier nos points d'étude, nous n'avons pas retenu de parcelles sur ces formations pour différentes raisons : diversité des roches-mères rencontrées (argile, molasse, marne, calcaire compact) et position topographique accidentée (ces sédiments affleurent le plus souvent le long des vallées disséquant cette région). En outre, si dans le cas des formations limoneuses ou gravelo-argileuses les nappes aquifères sont situées à de grandes profondeurs, il n'en est pas de même ici où il existe fréquemment des nappes perchées proches de la surface.

LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Les *Côtes de Bourg* présentant de ce point de vue une grande homogénéité, nous ne donnerons pas ici les conditions climatiques des différentes parcelles d'étude mais uniquement les moyennes des résultats obtenus dans les différentes stations météorologiques.

Nous avons regroupé dans la figure 5, l'évolution hebdomadaire, pendant la période de végétation de la vigne, des données suivantes : températures minimales (T_m) et maximales (T_M) exprimées en degrés Celsius (°C), le rayonnement solaire global (RG) exprimé en calories par centimètre carré et par jour (cal/cm²/j) et les précipitations exprimées en millimètres par jour (mm/j).

1. — **Pendant la période de croissance.**

Nous pouvons distinguer quatre époques. Du 3 avril au 8 mai, les températures, tant pour les minimales que pour les maximales, furent inférieures aux normales saisonnières, mais avec une insolation moyenne. Les précipitations furent assez importantes.

TABLEAU XII

Evolution du stock d'eau (S) en 1974 dans les différents sols (150 premiers centimètres).

Les résultats sont exprimés en millimètres et en pour cent.

	A		B		D		E		F	
	S (mm)	$S( )/S_0$ x 100	S (mm)	$S( )/S_0$ x 100	S (mm)	$S( )/S_0$ x 100	S (mm)	$S( )/S_0$ x 100	S (mm)	$S( )/S_0$ x 100
S_0	533,7	100	672,9	100	480,1	100	612,9	100	533,6	100
S (30/3)	511,0	95,7	652,4	96,9	462,5	96,3	589,9	96,2	507,4	95,1
S (25/5)	493,5	92,5	636,4	94,6	437,4	91,1	568,4	92,7	474,5	88,9
S (6/7)	413,0	77,4	569,6	84,6	367,1	76,4	510,3	83,2	400,0	75,0
S (1/8)	345,7	64,8	494,1	73,4	322,2	67,1	460,5	75,1	363,0	68,0
S (28/8)	311,2	58,3	459,6	68,3	295,6	61,6	432,6	70,6	340,8	63,9
S (25/9)	388,7	72,8	507,9	75,5	351,1	73,1	485,1	79,1	392,8	73.6

Durant une grande partie du mois de mai (8 au 29), les conditions héliothermiques furent irrégulières mais en moyenne déficitaires ; il en fut de même pour les précipitations.

L'insolation fut légèrement excédentaire et les températures voisines des normales saisonnières au cours de la troisième époque (29 mai au 25 juin) qui est caractérisée par un début de sécheresse.

La quatrième période (25 juin au 14 août) fut moyennement insolée. Les températures furent légèrement inférieures aux normales saisonnières mais les précipitations encore déficitaires.

2. — **Pendant la maturation du raisin.**

Nous avons distingué deux périodes. La sécheresse s'est poursuivie jusqu'à la fin du mois d'août (28), les températures et l'insolation étant supérieures aux moyennes saisonnières et la pluviosité très faible.

La deuxième période fut caractérisée par une très forte pluviosité ; les températures et l'insolation sont restées voisines des normales saisonnières durant la première quinzaine de septembre mais devinrent particulièrement déficitaires vers la fin du mois.

L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE

La quantité de matière sèche produite dépend de la photosynthèse qui, elle-même, est fonction de nombreux facteurs : température, lumière, teneur en gaz carbonique de l'atmosphère mais aussi alimentation en eau des végétaux qui, dans les conditions naturelles, est souvent le principal facteur limitant.

L'alimentation en eau des végétaux est réglée par la loi de l'offre et de la demande : la demande découle directement des exigences imposées par le climat et est définie par l'évapotranspiration potentielle (ETP) ; l'offre ou évapotranspiration réelle (ETR) correspond à ce que le sol soit directement (évaporation) soit par l'intermédiaire de la plante (transpiration) est capable de céder à l'atmosphère par unité de temps. Lorsque l'eau absorbée par la plante est égale à l'eau transpirée, la turgescence cellulaire est maintenue et les stomates restent ouverts : le facteur eau ne limite pas la photosynthèse. Par contre, lorsque le sol et la plante ne sont plus capables d'assurer le débit imposé par la demande climatique, ce déséquilibre entraîne une diminution de la turgescence des cellules et les stomates se ferment plus ou moins, ce qui limite les échanges gazeux avec l'atmosphère ; cette régulation stomatique évite la dessiccation complète des organes végétaux mais le gaz carbonique ne pénètre plus que difficilement dans la plante et la photosynthèse est réduite.

Pendant l'automne et l'hiver, les précipitations sont généralement supérieures à ce que le sol est capable de fixer ; l'eau en excès traverse le sol sur toute sa hauteur et rejoint les nappes phréatiques. Dans les

parcelles étudiées, elles sont profondes et, de ce fait, ne participent pas à l'alimentation en eau de la vigne.

TABLEAU XIII

Evapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) en 1974 dans les différentes parcelles.

Les résultats sont exprimés en millimètres et en millimètres par jour.

	A	B	D	E	F
30-3 au 25-5 :					
Δ S (mm)	17,5	16,2	25,1	21,5	32,9
P (mm)	131,2	132,0	124,9	126,6	126,6
Δ S+P (mm)	148,7	148,2	150,0	148,1	159,5
ETR (mm/j)	2,65	2,65	2,70	2,65	2,85
ETP (mm/j)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
25-5 au 1-8 :					
Δ S (mm)	147,8	142,3	115,2	107,9	111,5
P (mm)	51,5	45,5	43,8	56,7	56,7
Δ S+P (mm)	199,3	187,8	159,0	164,6	168,2
ETR (mm/j)	2,95	2,80	2,40	2,45	2,50
ETP (mm/j)	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35
1-8 au 28-8 :					
Δ S (mm)	34,5	34,5	26,6	27,9	22,2
P (mm)	25,3	19,7	20,5	22,9	22,9
Δ S+P (mm)	59,8	54,2	47,1	50,8	45,1
ETR (mm/j)	2,15	1,95	1,70	1,80	1,60
ETP (mm/j)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
28-8 au 25-9 :					
Δ S (mm)	—77,5	—48,3	—55,5	—52,5	—52,0
P (mm)	115,8	114,7	115,2	113,8	113,8
Δ S+P (mm)	38,3	66,4	59,7	61,3	61,8
ETR (mm/j)	* 1,30	2,35	2,15	2,20	2,20
ETP (mm/j)	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40

Les profils hydriques établis tout au long du cycle végétatif sur les sols A, B, D, E et F ont été représentés sur les figures 2 et 3. Connaissant l'humidité volumique (H_v) sur une profondeur de 150 centimètres, nous avons calculé, pour chacun des sols, l'évolution du stock d'eau S ( ) au cours de l'année 1974 ; ces valeurs ont été comparées au stock d'eau S_o correspondant à la capacité de rétention (tableau XII). En tenant compte de la pluviosité (P), les variations du stock d'eau (Δ S) nous ont permis de déterminer une valeur approchée de l'ETR pendant la période de végétation de la vigne (tableau XIII) ; l'ETP a été calculée par la formule de TURC.

1. — **Pendant la période de croissance.**

a) Sur l'ensemble des sols, au cours des mois d'*avril et mai,* les consommations d'eau furent d'environ 150 mm (soit 90 p. 100 de l'ETP) ; celles-ci ont été compensées en grande partie par les précipitations.

b) Pendant la période sèche de *juin et juillet,* les quantités d'eau évapotranspirées sur les sols limoneux A et B ont été voisines (190 mm, soit 65 p. 100 de l'ETP). Dans le sol A, la texture limoneuse est homogène sur l'ensemble du profil : les racines sont abondantes et réparties régulièrement ce qui permet une dessiccation importante jusqu'à 150 cm ; les couches situées au-delà, où nous n'avons pas effectué de mesures, peuvent participer également à l'alimentation en eau de la vigne, si bien que les valeurs calculées de l'ETR sous-estiment ici les consommations réelles.

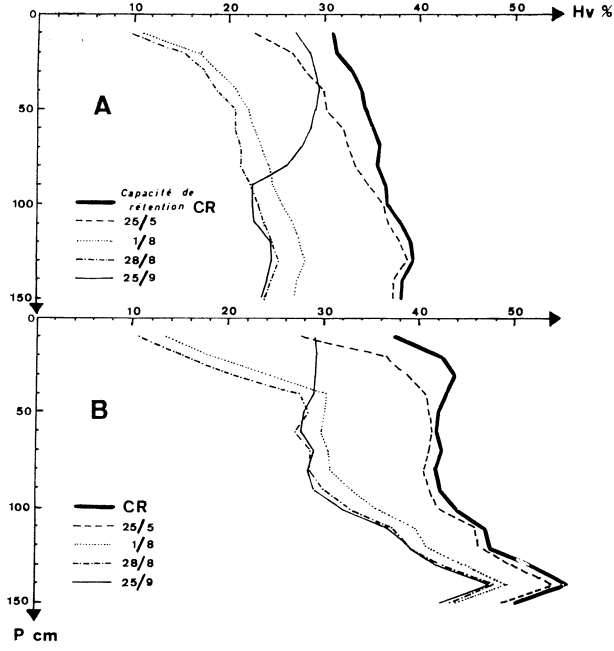


Fig. 2. — Evolution des profils hydriques en 1974 dans les sols A et B.

La parcelle B se comporte différemment : l'abondance des racines dans le première mètre a entraîné une dessiccation importante tandis qu'en profondeur, au niveau des couches plus argileuses, l'absorption a été plus réduite, l'eau étant cédée plus difficilement aux racines. En effet, comme l'a démontré PUECH (1969), la mobilité de l'eau dépend d'un certain nombre de facteurs ; elle varie en particulier avec les types texturaux et est généralement meilleure sur les sols limoneux et sableux que sur les sols argileux ; de plus, les racines sont ici moins nombreuses.

Des remarques de même nature s'appliquent aux sols gravelo-argileux : pour le sol D, les quantités d'eau évapotranspirées ont été seulement de 160 mm (soit 55 p. 100 de l'ETP) mais ici aussi ces valeurs sont inférieures aux consommations réelles, la profondeur d'enracinement étant, comme pour A, supérieure à 150 cm (texture homogène sur l'ensemble du profil).

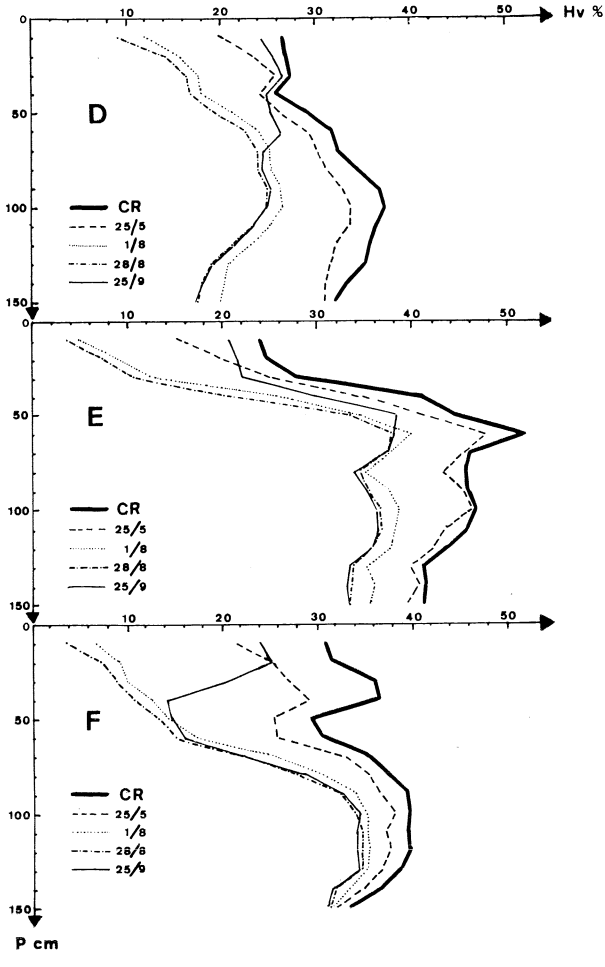


Fig. 3. — Evolution des profils hydriques en 1974 dans les sols D, E et F.

Pour les parcelles E et F, la très bonne alimentation en eau dans les zones remaniées par l'homme contraste avec la faible dessiccation des couches originelles (surtout pour le sol F) par suite d'un faible développement racinaire et d'une moins bonne mobilité de l'eau liés à la texture argileuse : 160 mm ont été consommés pendant la période sèche.

2. — **Pendant la maturation du raisin.**

a) Les profils hydriques établis au début du mois d'*août* laissaient prévoir que l'alimentation en eau allait dépendre essentiellement de la pluviosité : en effet, la réserve facilement utilisable était plus ou moins épuisée, le stock d'eau ne représentant plus que 65 à 75 p. 100 de celui correspondant à la capacité de rétention. Les précipitations ayant été peu importantes, les quantités d'eau consommées au cours du mois d'août furent assez faibles et, les valeurs de l'ETP étant alors élevées, le déficit hydrique a pu être important.

b) Au cours du mois de *septembre,* les précipitations ont couvert largement la demande climatique et l'alimentation en eau a pu s'effectuer dans de bonnes conditions.

Remarque : A la fin du mois d'août, le sol A était pratiquement au point de flétrissement permanent : de ce fait, les consommations d'eau dans les couches profondes ont été vraisemblablement importantes et les valeurs calculées de l'ETR (*) n'ont qu'assez peu de signification.

LA CROISSANCE DES SARMENTS ET LA MATURATION DU RAISIN

De très nombreux facteurs interviennent simultanément dans la croissance et la constitution des différents organes de la vigne, notamment la nutrition minérale, l'alimentation en eau, la température et le rayonnement solaire. En fonction de ces facteurs, nous préciserons ici les caractères généraux de la croissance des sarments et de la maturation du raisin (durant l'année 1974) dans le vignoble des *Côtes de Bourg,* avant d'étudier en détail les particularités relatives à chaque parcelle ; une remarque concernant la maturation 1975 viendra compléter cette dernière partie.

1. — **La croissance des sarments.**

Le bourgeon latent principal qui donne naissance à la pousse herbacée commence sa croissance lors du débourrement (fin mars ou début avril) ; l'allongement du rameau principal se poursuit à des vitesses variables jusqu'en juillet ou août, moment de l'arrêt de croissance dans nos régions viticoles.

La représentation graphique en fonction du temps de la longueur d'un sarment de vigne est approximativement une sigmoïde : de nombreux auteurs ont essayé d'ajuster les courbes observées avec différentes fonctions mathématiques (REED et DUFRESNOY, 1934 ; BRANAS, BERNON et LEVADOUX, 1946) mais, d'après BOUARD et POUGET (1971), le meilleur ajustement est celui qu'il est possible de faire avec la formule de ROBERTSON. En fait, cette courbe n'est pas simple car pendant la période de croissance active, on observe des ralentissements au cours de certaines périodes (ASSAF, 1966). L'une d'elles se produit lors de la floraison ; la

place des autres est moins bien définie si bien que BUGNON et BESSIS (1968) se demandent si elle n'est pas en rapport avec les conditions extérieures.

a) *Caractères généraux.*

Nous avons calculé les moyennes des résultats concernant la croissance des sarments (Tableau XIV) à partir des mesures réalisées sur les parcelles de Merlot greffées sur 420 A. On trouvera sur la figure 4 l'évolution en fonction du temps de ces valeurs moyennes : longueur (L) exprimée en centimètres, allongement journalier (Δ l) exprimé en millimètres par jour ainsi que le nombre de mérithalles (M).

Durant les deux premières périodes (du 3 avril au 29 mai), l'allongement a été généralement assez lent (inférieur à 10 mm/j), sauf durant la semaine du 15 au 22 mai où la photosynthèse a été très active (conditions héliothermiques beaucoup plus favorables, bonne alimentation en eau). Au cours de cette semaine, la vitesse de croissance a atteint 29 mm/j et ne fut jamais dépassée par la suite. A l'issue de ces deux mois, la longueur moyenne des sarments était de 57,3 cm.

TABLEAU XIV

Croissance des sarments en 1974.

(Moyenne des résultats de 5 parcelles).

	M	L (cm)	Δ l (mm/j)
10/4		2,6	
17/4		5,6	4,6
24/4	5,3	12,0	8,9
1/5	6,5	16,9	7,0
8/5	7,3	21,8	7,0
15/5	8,8	30,3	12,1
22/5	11,7	50,5	28,8
29/5	12,6	57,3	9,7
5/6	15,4	76,7	27,7
12/6	17,2	90,3	19,4
19/6	19,9	106,8	23,5
26/6	23,0	125,3	26,4
3/7	25,5	139,7	20,6
10/7	27,4	151,4	16,6
17/7	29,1	160,2	12,6
24/7	30,5	166,2	8,6
31/7	31,4	170,2	5,7
7/8	31.9	172,6	3,4
14/8	32,2	173,6	1,4

Pendant le mois de juin, la vitesse de croissance s'est maintenue à un niveau élevé (19 à 28 mm/j) avec une légère diminution entre le 5 et le 12, par suite vraisemblablement de l'abaissement des températures ;

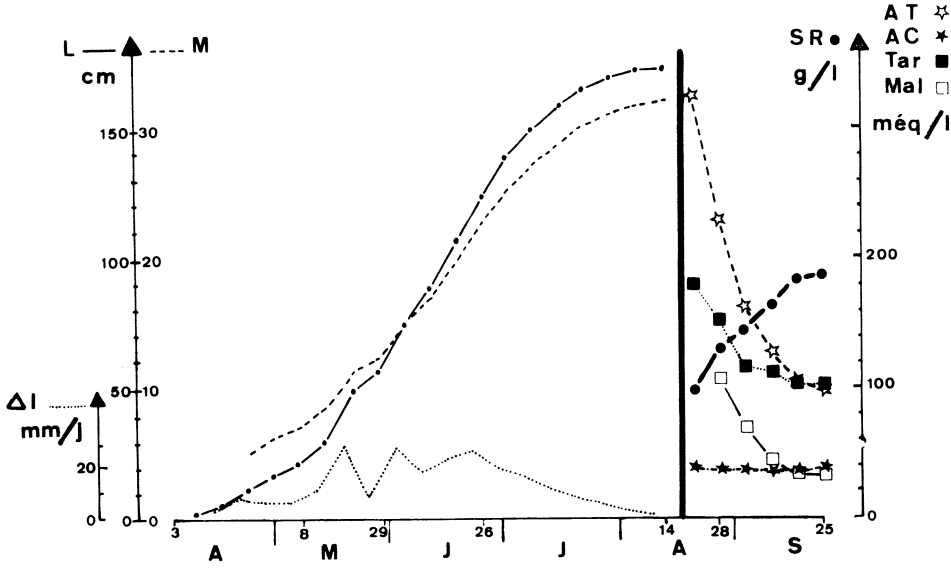


Fig. 4. — Croissance des sarments et maturation du raisin en 1974 dans les Côtes de Bourg.

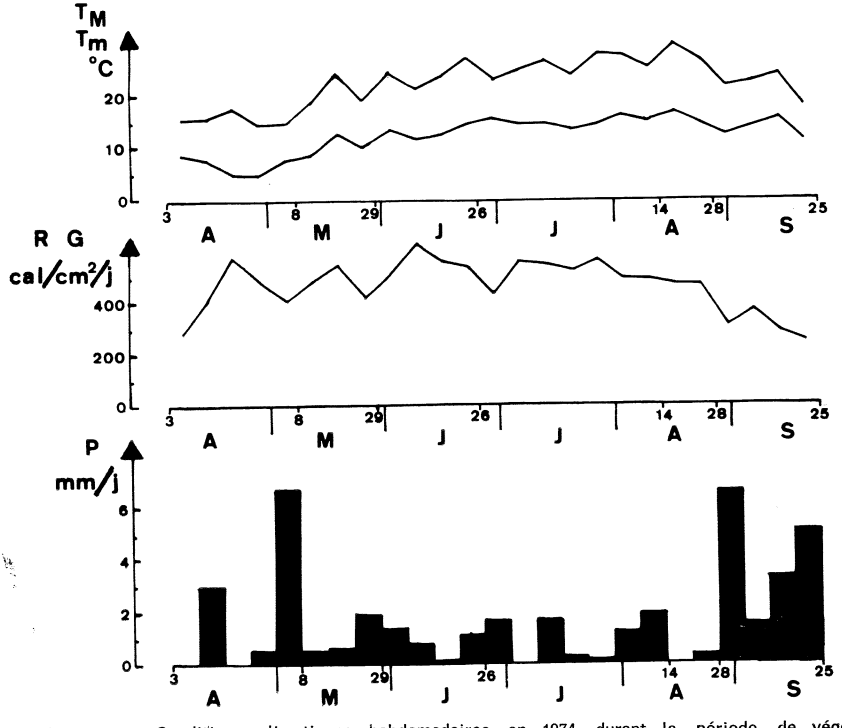


Fig. 5. — Conditions climatiques hebdomadaires en 1974 durant la période de végétation de la vigne dans les Côtes de Bourg.

mais la floraison qui s'est déroulée partiellement au cours de cette semaine est sans doute responsable, pour une part, de ce ralentissement.

Dans le courant du mois de juillet, la vitesse de croissance a régulièrement diminuée pour devenir pratiquement nulle au début du mois d'août (inférieure à 6 mm/j). Le 14 août, la longueur moyenne des sarments était de 173,6 cm.

Au cours des périodes précédentes, les allongements ont été en relation étroite avec les conditions thermiques comme cela a déjà été souligné par de nombreux auteurs (DUFRESNOY, 1932 ; BOUARD, 1966 ; JACQUINET et SIMON, 1971) ; il existe notamment un seuil de croissance apparente (ou température au-dessous de laquelle la vitesse est si réduite qu'elle cesse d'être perceptible) qui, pour le Merlot, est de 9,4 °C (POUGET, 1968). La longueur finale atteinte par les sarments est liée à une capacité initiale individuelle de croissance de chaque bourgeon, cette potentialité étant d'ailleurs plus ou moins exprimée chaque année suivant les facteurs externes : aussi, le ralentissement observé durant la dernière période ne peut guère être attribué à une diminution de la température ou de la photopériode. (BRANAS et *al.*, 1946 ; BOUARD, 1966 ; MERIAUX et *al.*, 1974).

b) *Particularités relatives à chaque parcelle* (fig. 6 et 7).

En ce qui concerne les sols limoneux, il faut souligner la grande diversité des résultats et notamment la longueur finale des sarments (L_A : 225,5 cm ; L_B : 184,8 cm ; L_C : 142,9 cm).

Dans la parcelle A, la croissance ne se différencie pas de la moyenne générale jusqu'au 29 mai : la longueur était alors de 58,6 cm. Au cours du mois de juin (la mi-floraison se situe le 14) et de juillet, la croissance a pu se poursuivre dans des conditions satisfaisantes par suite d'une alimentation en eau importante dans les couches profondes du sol : l'allongement journalier était encore de 12,7 mm durant la semaine du 24 au 31 juillet.

Sur le sol B, le débourrement (20 mars) a précédé d'une semaine celui de la parcelle A ; de ce fait, l'allongement a été légèrement plus important pendant la première période ; mais durant le mois de mai, les courbes ΔI_A et ΔI_B sont pratiquement superposables ; le 29, la longueur des sarments (65,8 cm) était légèrement supérieure à la moyenne. La floraison s'est étalée sur plusieurs semaines, comme dans la parcelle A, mais a été ici plus précoce (mi-floraison le 6 juin) vraisemblablement en raison de l'avance prise au débourrement. Pendant la période de sécheresse, la croissance a été beaucoup moins importante qu'en A ; les quantités d'éléments nutritifs (notamment d'azote) étant voisines de celles du sol précédent, on peut penser que le déficit hydrique fut le principal responsable de ce plus faible allongement.

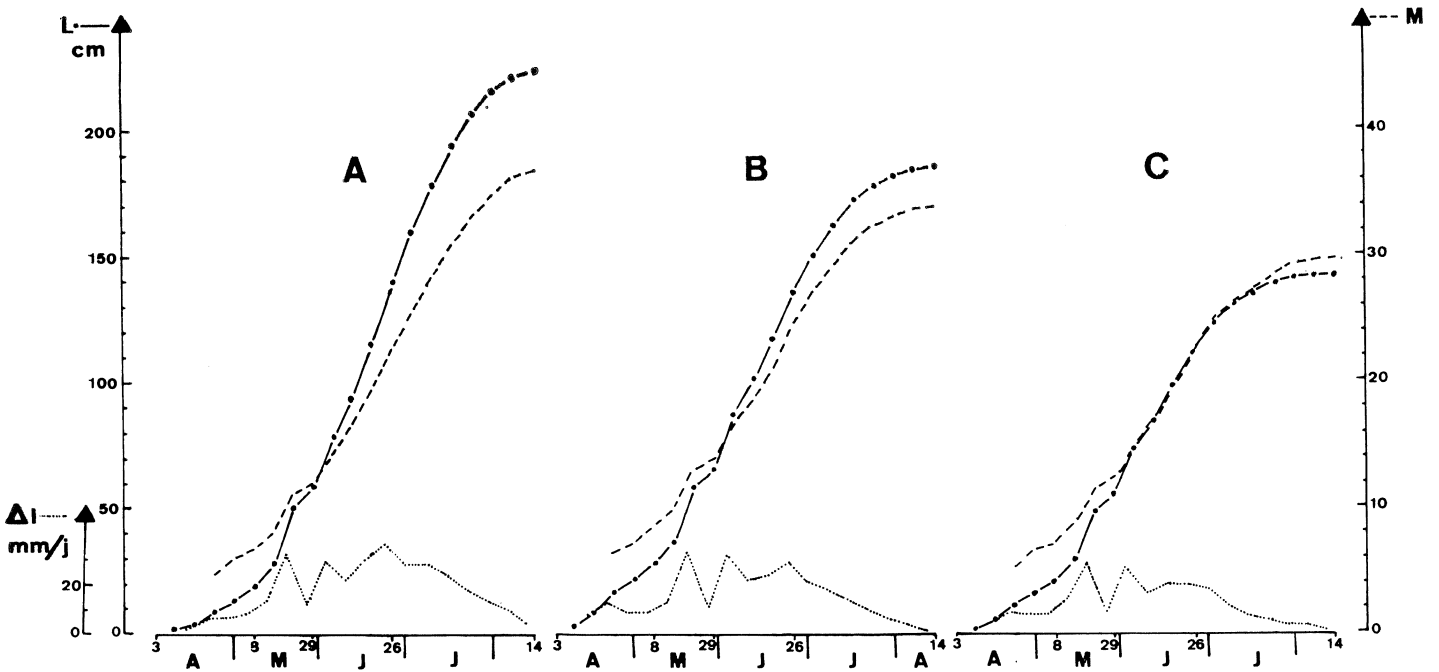


Fig. 6. — Croissance des sarments en 1974 dans les parcelles A, B et C.

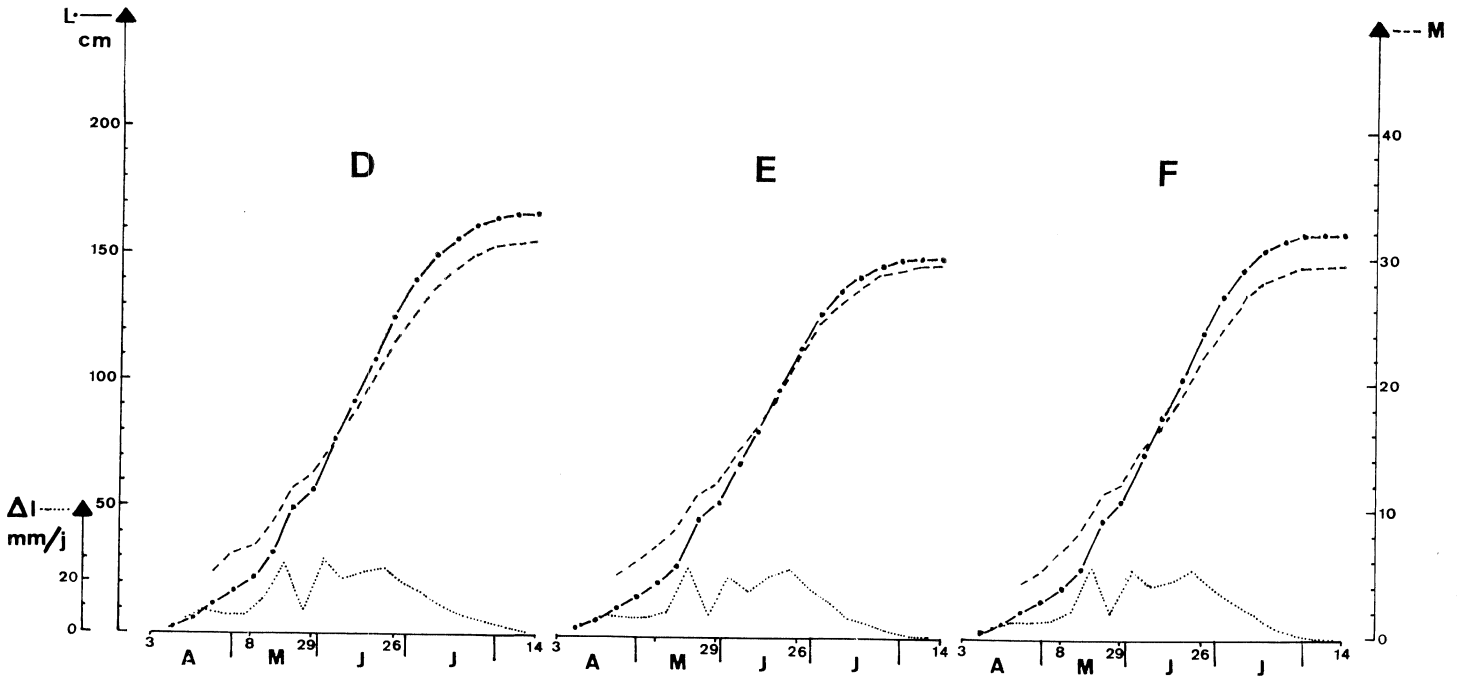


Fig. 7. — Croissance des sarments en 1974 dans les parcelles D, E et F.

Sur le sol C, le débourrement (de même que la floraison) sont survenus deux jours après ceux de la parcelle B. Bien que la forme générale des coubes ΔI_B et ΔI_C ait été semblable au cours des mois d'avril et mai, les vitesses de croissance ont toujours été légèrement plus faibles en C : le 29 mai, le sarment moyen ne mesurait que 55,0 cm. Durant les mois de juin et juillet, les différences furent plus importantes : des symptômes de chlorose sont apparus en C sur les feuilles de certains sarments et l'arrêt de croissance est survenu beaucoup plus tôt que sur les autres sols (ΔI_C : 2,9 mm/j entre le 24 et le 31 juillet); les plus faibles quantités d'eau et d'éléments nutritifs se trouvant à la disposition des racines pourraient expliquer ces faits.

A l'inverse des sols limoneux, une grande homogénéité caractérise les résultats obtenus sur les différents sols gravelo-argileux : en effet, la longueur finale atteinte par les rameaux en D, E et F fut respectivement de 166,4 148,4 et 159,9 cm. Les différences avec les sols limoneux (surtout A et B) ne sont apparues qu'au cours de la période sèche puisqu'on notait le 29 mai les longueurs suivantes : 55,7 cm (en D), 51,5 cm (en E) et 54,0 cm (en F).

Sur le sol E, le débourrement et la floraison ont eu lieu presque en même temps que sur le sol A (à un ou deux jours près) ; cependant l'allongement y a été beaucoup plus réduit et l'arrêt de croissance y est survenu plus tôt, pratiquement comme dans C (ΔI_E : 2,4 mm/j entre le 24 et le 31 juillet). La réduction de l'activité photosynthétique par suite d'une mauvaise alimentation en eau permet d'expliquer ce ralentissement important, les quantités d'éléments nutritifs (azote, potassium et phosphore notamment) étant voisines de celles du sol A.

Des remarques de même nature s'appliquent à F (les dates du débourrement et de la floraison sont les mêmes que sur le sol E ; ΔI_F : 3,1 mm/j entre le 24 et le 31 juillet).

La parcelle D fut plus précoce puisque le débourrement et la floraison sont survenus trois jours seulement après ceux de la parcelle B. Néanmoins la croissance en longueur s'est poursuivie légèrement plus tard que sur les deux autres sols gravelo-argileux, vraisemblablement par suite d'une meilleure alimentation en eau dans les couches profondes ; cependant la longueur finale atteinte par les rameaux n'a pas été plus élevée. Il faut rappeler que dans le sol D les quantités d'azote sont plus faibles que dans les autres parcelles, ce qui pourrait expliquer l'homogénéité des résultats obtenus sur l'ensemble des sols gravelo-argileux.

Remarque : Bien qu'un certain parallélisme existe entre la croissance en longueur des sarments et les variations du nombre de mérithalles, il faut remarquer que, lors de l'arrêt de croissance, ce nombre était pratiquement le même pour l'ensemble des parcelles.

TABLEAU XV

Dates du débourrement (D), de la mi-floraison (F) et de la mi-véraison (V) en 1974 dans les différentes parcelles et nombre de jours séparant ces stades.

	A	B	C	D	E	F
D	27/3	20/3	22/3	23/3	25/3	25/3
D à F	79	78	78	78	80	80
F	14/6	6/6	8/6	9/6	13/6	13/6
F à V	75	77	70	77	73	69
V	28/8	22/8	17/8	25/8	25/8	21/8

2. — **La maturation du raisin.**

Les baies qui jusque-là étaient à l'état herbacé (et dont la croissance ne se distinguait pas de celle des autres organes) changent brusquement de couleur vers la mi-août : la véraison est la première manifestation de la maturation du raisin.

TABLEAU XVI

Maturation du raisin en 1974.

(Moyenne des résultats de 5 parcelles).

	Véraison	Poids	SR	AC	AT	TAR	MAL
	p. 100	g	g/l	méq/l			
21/8	37	0,81	98	39	325	179	—
28/8	70	1,04	127	38	229	152	109
4/9	89	1,28	145	35	162	117	69
11/9	100	1,40	164	36	126	112	44
18/9	100	1,49	182	38	106	102	33
25/9	100	1,42	186	39	98	102	32

a) *Caractères généraux.*

Nous avons calculé les moyennes des résultats concernant la constitution des jus de raisins (Tableau XVI) à partir de ceux obtenus sur les parcelles A, B, C, D et E. On trouvera sur la figure 4 l'évolution en fonction

du temps de ces valeurs moyennes : sucres réducteurs (SR) exprimés en grammes par litre ; acidité totale (AT), alcalinité des cendres (AC), acides tartrique (TAR) et malique (MAL) exprimés en milliéquivalents par litre.

Malgré des conditions héliothermiques favorables, l'évolution de la maturation du raisin fut assez lente au cours de la première période : le 28 août, le poids moyen des baies était faible (1,04 g) par suite d'une mauvaise alimentation en eau de la vigne ; de ce fait, l'activité photosynthétique fut légèrement réduite et les teneurs en sucres des jus de raisins peu élevées (127 g/l) ; l'acidité totale était alors de 230 méq/l.

Les fortes pluies des derniers jours d'août ont entraîné un afflux d'eau dans les baies et une augmentation importante de leur poids : parallèlement, les teneurs en acides organiques diminuaient brusquement (par dilution) alors que les teneurs en sucres n'évoluaient que très lentement. Au cours du mois de septembre, la photosynthèse fut plus active, surtout pendant la première quinzaine (bonne alimentation en eau de la vigne, températures élevées) si bien que les quantités de glucides produites par hectare étaient importantes au début des vendanges ; mais les rendements étant également très élevés (13,6 tonnes de raisins par hectare), les teneurs en sucres des moûts sont restées faibles (186 g/l). Les teneurs en acides organiques ont légèrement diminué et les moûts furent peu acides (98 méq/l).

b) *Particularités relatives à chaque parcelle* (fig. 8 et 9).

L'ensemble des résultats analytiques concernant les moûts de la parcelle A est nettement différent de la moyenne. Grâce à une alimentation en eau satisfaisante au cours de la maturation et malgré le nombre important des baies, leur poids fut plus élevé d'environ 0,1 g par rapport à la moyenne des cinq parcelles de Merlot sur 420 A. En conséquence, et bien que les quantités de glucides produites par hectare aient été et de beaucoup les plus importantes, les teneurs en sucres des moûts furent plus faibles que sur les autres sols. Cette alimentation en eau satisfaisante pourrait expliquer les teneurs élevées en acides organiques et notamment en acide malique (SEGUIN, 1975).

Les moûts issus de la parcelle B présentent des caractères analytiques voisins de la moyenne.

Dans la parcelle C, la véraison est survenue 70 jours seulement après la floraison ; les réserves en eau et en éléments nutritifs étant plus faibles que dans les autres sols, l'alimentation en eau a été déficitaire (teneur en acide malique faible) ainsi que la nutrition minérale (alcalinité des cendres peu élevée). Cependant, comme les baies étaient peu nombreuses, leur poids a été voisin de la moyenne ; les rendements furent assez faibles et les teneurs en sucres des moûts (194 g/l) ont été plus élevées que dans les autres sols.

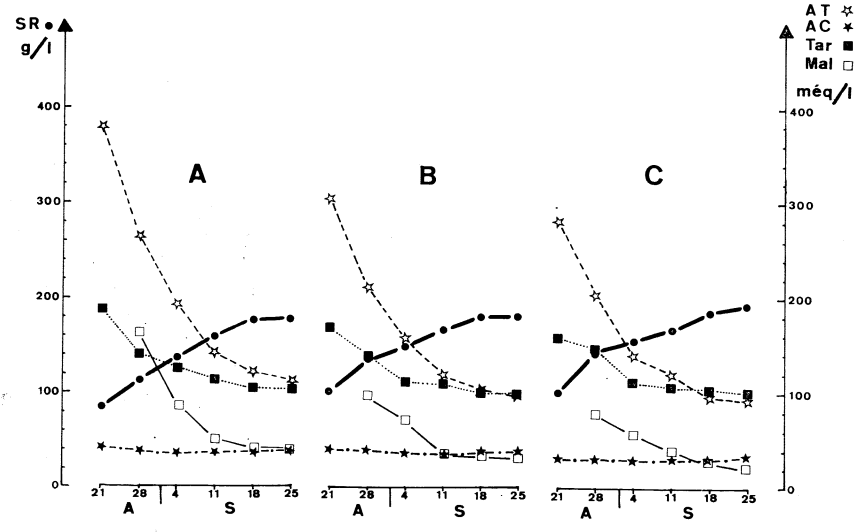


Fig. 8. — Maturation du raisin en 1974 dans les parcelles A, B et C.

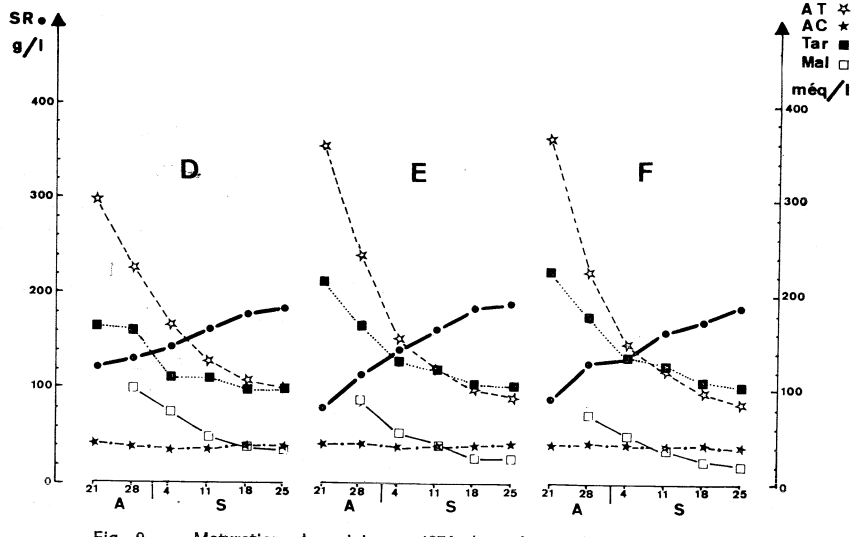


Fig. 9. — Maturation du raisin en 1974 dans les parcelles D, E et F.

Dans la parcelle D, la mi-véraison est survenue 77 jours après la floraison, comme dans B : les caractères analytiques des moûts ne diffèrent pas, ici non plus, de la moyenne.

Dans la parcelle E (comme en C), la véraison est survenue plus précocement puisque 73 jours seulement la séparent de la floraison. Par suite d'une alimentation en eau légèrement déficitaire et du fait que les baies étaient ici nombreuses, leur poids fut inférieur d'environ 0,2 g à la

moyenne des différents sols ; les teneurs en acide malique des moûts ont été faibles. Comme sur C, le rendements étant peu importants, les teneurs en sucres furent plus élevées que dans les autres parcelles (190 g/l à la maturité).

Des remarques similaires s'appliquent au sol F, mais la nature du porte-greffe (Riparia Gloire) est également responsable de la précocité de la véraison.

Remarque : Comme nous l'avons déjà souligné, les rendements ont été extrêmement élevés et l'on a pu observer en 1974, année où dans le vignoble du *Bourgeais,* le gel, la grêle, la coulure, etc. n'ont pas (ou peu) perturbé la production, un certain parallélisme entre la longueur finale des sarments et le poids des raisins au début des vendanges (tableau XVII).

TABLEAU XVII

Longueur finale des sarments (L) et poids des raisins au début des vendanges (R) en 1974 dans les différentes parcelles.

Les résultats sont exprimés en centimètres et en tonnes par hectare.

	A	B	D	F	E	C
L (cm)	225	184	166	160	148	143
R (t/ha)	18,4	14,3	13,2	11,6	10,9	11,6

3. — **Remarque (à propos de la maturation en 1975).**

Il est rare d'observer deux années consécutives telles que 1974 et 1975 présentant des conditions climatiques mensuelles aussi voisines durant la période de végétation de la vigne et en particulier au cours de la maturation du raisin (tableau XVIII). Mais si l'on examine les conditions climatiques hedbomadaires, on s'aperçoit qu'elles diffèrent assez sensiblement (tableau XIX). En 1975, hormis des précipitations importantes entre le 13 et le 15 septembre, la caractéristique climatique essentielle durant la maturation du raisin fut la grande régularité des précipitations, mais aussi et surtout des conditions héliothermiques.

Les profils hydriques (tableau XX) relevés le 31 juillet étaient à peine plus humides que ceux réalisés l'année précédente à la même époque mais, à l'inverse de 1974 et grâce à la régularité des précipitations durant le mois d'août, les consommations d'eau furent plus importantes sur l'ensemble des sols (tableau XXI). Comme d'autre part les valeurs de l'ETP furent légèrement plus faibles, la photosynthèse a pu s'effectuer dans de meilleures conditions au cours de cette période. Pendant le mois de septembre, comme en 1974, la pluviosité a couvert la demande clima-

TABLEAU XVIII

Conditions climatiques en 1974 et 1975 durant la période de maturation du raisin dans les Côtes de Bourg.
(Moyenne des relevés de 7 stations météorologiques).

	Température (°C)		Précipitations (mm/j)	Rayonnement solaire (cal/cm²/j)
	minimale	maximale		
1974 : (14/8-24/9)	13,7	23,4	2,8	355
1975 : (18/8-28/9)	13,4	23,0	3,2	358

TABLEAUX XIX

Conditions climatiques hebdomadaires en 1974 et 1975 durant la période de maturation du raisin dans les Côtes de Bourg.
(Moyenne des relevés de 7 stations météorologiques).

1974	Température (°C)		Précipitations (mm/j)	Rayonnement solaire (cal/cm²/j)
	minimale	maximale		
31- 7/8	16,0	27,4	1,2	495
7-14	15,0	24,9	1,9	486
14-21	16,8	29,4	0,0	468
21-28	14,2	26,7	0,2	470
28- 4/9	12,1	21,4	6,6	307
4-11	13,4	22,6	1,5	365
11-18	15,2	23,8	3,2	285
18-25	10,7	16,5	5,1	236

1975	Température (°C)		Précipitations (mm/j)	Rayonnement solaire (cal/cm²/j)
	minimale	maximale		
4-11/8	18,3	30,1	1,8	483
11-18	15,8	26,5	3,3	427
18-25	14,9	24,0	1,9	420
25- 1/9	14,3	24,8	0,0	455
1- 8	13,2	23,8	3,2	337
8-15	13,1	21,6	11,3	346
15-22	10,9	20,4	1,6	316
22-29	14,0	23,4	1,4	272

TABLEAU XX

Evolution du stock d'eau (S) en 1975 durant la période de maturation du raisin dans les différentes parcelles.

Les résultats sont exprimés en millimètres et en pour cent.

	A		B		D		E		F	
	S (mm)	S ( )/S_0 x 100	S (mm)	S ( )/S_0 x 100	S (mm)	S ( )/S_0 x 100	S (mm)	S ( )/S_0 x 100	S (mm)	S ( )/S_0 x 100
S_0	533,7	100	672,9	100	480,1	100	612,9	100	533,6	100
S (31/7)	373,3	69,9	521,4	77,4	345,8	72,0	470,5	76,7	377,5	70,7
S (15/8)	348,2	65,2	492,3	73,2	313,0	65,2	456,4	74,5	367,0	68,8
S (29/8)	342,1	64,1	484,2	71,9	304,9	63,5	452,5	73,8	362,7	67,9
S (12/9)	359,5	67,3	484,5	72,0	305,7	63,7	465,6	76,0	375,1	70,3
S (27/9)	411,2	77,0	527,7	78,4	346,9	72,2	502,2	81,9	404,0	75,7

TABLEAU XXI

Evapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) en 1975 durant la période de maturation du raisin dans les différentes parcelles.
Les résultats sont exprimés en millimètres et en millimètres par jour.

	A	B	D	E	F
31-7 au 29-8 :					
Δ S (mm)	31,2	37,3	40,9	18,0	14,8
P (mm)	51,2	43,3	43,9	54,4	54,4
Δ S+P (mm)	82,4	80,6	84,8	72,4	69,2
ETR (mm/j)	2,95	2,90	3,00	2,60	2,50
ETP (mm/j)	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
29-8 au 27-9 :					
Δ S (mm)	—69,1	—43,9	—41,4	—49,7	—40,5
P (mm)	118,8	109,3	106,9	124,3	124,3
Δ S+P (mm)	49,7	65,4	65,5	74,6	83,8
ETR (mm/j)	* 1,80	2,30	2,30	2,70	2,95
ETP (mm/j)	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90

TABLEAU XXII

Maturation du raisin en 1975.
(Moyenne des résultats de 5 parcelles).

	Véraison	Poids	SR	AC	AT	TAR	MAL
	p. 100	g	g/l	méq/l			
25/8	61	1,05	108	41	258	160	130
1/9	93	1,20	144	40	186	143	75
8/9	100	1,33	178	42	139	124	48
15/9	100	1,41	189	42	116	120	33
22/9	100	1,42	201	44	112	116	31
25/9	100	1,40	205	41	107	112	28

tique et l'alimentation en eau de la vigne s'est effectuée dans de bonnes conditions (cependant, dans certains sols, le déficit de l'ETR par rapport à l'ETP a été plus élevé qu'en 1974).

L'année 1975 est caractérisée, contrairement à l'année précédente, par une évolution très rapide de la maturation du raisin (tableau XXII) bien que les rendements aient été presque aussi élevés (13 tonnes de raisins par hectare). Le poids final des baies (1,40 g) fut semblable à celui de 1974, mais ce poids était pratiquement acquis dès le 8 septembre. Grâce à une photosynthèse plus active, les moûts furent beaucoup plus riches en sucres que l'année précédente (205 g/l à la maturité) et l'on notait, dès le 8 septembre, des valeurs aussi élevées que lors des vendanges 1974. Après une brusque diminution des teneurs en acides organiques durant la période précédant les fortes précipitations, l'évolution fut très lente par la suite, notamment pour l'acide tartrique ; l'acidité totale des moûts (107 méq/l) fut donc plus élevée qu'en 1974.

CONCLUSIONS

En 1974, pendant la période de croissance de la vigne, les températures et l'insolation sont restées voisines de la normale mais il n'en fut pas de même pour la pluviosité particulièrement déficitaire au cours des mois de juin et juillet. Malgré des conditions héliothermiques favorables, la période de maturation fut caractérisée par une pluviosité irrégulière, la sécheresse se poursuivant durant la majeure partie du mois d'août tandis que les précipitations étaient importantes en septembre :

— dans les sols à enracinement profond, l'alimentation en eau de la vigne a pu s'effectuer dans d'assez bonnes conditions durant toute la période de croissance et l'allongement des sarments s'est poursuivi normalement. Au moment de la véraison, les sols étaient fortement asséchés et la mauvaise répartition des pluies au mois d'août a retardé l'évolution de la maturation des baies qui étaient très nombreuses. La bonne alimentation en eau de la vigne, durant le mois de septembre, s'est traduite par des rendements très importants et les moûts ont été caractérisés par des teneurs en sucres faibles (180 g/l environ) et des acidités totales assez élevées (100 à 110 méq/l) ;

— par contre, le déficit hydrique a été plus important dans les sols à enracinement superficiel ; de ce fait, lors de l'arrêt de croissance, qui est survenu plus précocement, la longueur finale des sarments fut plus faible ; les baies étant moins nombreuses (ou de poids peu élevé), on a pu observer une amélioration de la constitution des moûts : teneurs en sucres plus fortes (190 à 195 g/l) et acidité totale plus basse (90 méq/l).

CONCLUSIONS GENERALES

Au cours de cette étude, nous avons essayé, dans la région des *Côtes de Bourg,* de mettre en évidence le rôle des facteurs édaphiques et clima-

tiques sur la croissance des sarments et la maturation du raisin durant l'année 1974.

Jusqu'ici le rôle du facteur humain n'a pas été suffisamment souligné ; or, le résultat le plus étonnant de cette étude réside dans les valeurs extrêmement importantes des rendements sur l'ensemble des parcelles étudiées.

Les sols viticoles de cette région sont caractérisés par des capacités d'échange relativement élevées : les éléments assimilables, apportés parfois abusivement sous forme d'engrais minéraux, sont bien retenus par le complexe adsorbant alors que dans les sols sableux ou gravelo-sableux d'autres régions viticoles, ils sont souvent lessivés. Cette augmentation de la richesse minérale des sols se traduit par une vigueur plus accentuée des ceps (liée également à un rajeunissement du vignoble) ; comme le nombre de bourgeons laissés lors de la taille évolue parallèlement à cette augmentation de vigueur, les potentialités de récolte deviennent de plus en plus importantes.

En raison de leur texture argileuse et de leur profondeur, ces sols sont généralement caractérisés par des réserves en eau utile élevées ; même des sécheresses aussi exceptionnelles que celles observées en 1974 (et en 1975) n'aboutissent pas à des réductions très importantes de l'alimentation en eau de la vigne. A l'inverse d'autres régions viticoles du *Bordelais,* l'eau ne sera donc pratiquement jamais un facteur de limitation des rendements, d'autant que la plupart des techniques culturales modernes vont dans le sens d'une meilleure alimentation en eau de la vigne. L'accroissement des surfaces foliaires lié à l'augmentation de la vigueur et à des écimages plus réduits qu'autrefois permet en effet à la vigne d'assurer une évapotranspiration maximale. D'autre part, dans cette région accidentée où les vignobles en pente sont fréquents, le ruissellement permettait l'élimination vers les parties basses des excédents de pluviosité ; or, à l'heure actuelle, des labours profonds et laissant la surface du sol à plat favorisent au maximum la pénétration de l'eau.

Ainsi l'amélioration de la nutrition minérale et de l'alimentation en eau de la vigne expliquent ces rendements exceptionnellement élevés, accompagnés d'une moins bonne maturation du raisin et par conséquent d'une dégradation de la qualité des vins. Il faut cependant souligner, comme cela a déjà été précisé, que ces études concernant la croissance des sarments et la maturation du raisin ont été réalisées uniquement sur des sols bien entretenus qui ne reflètent qu'imparfaitement l'ensemble des *Côtes de Bourg ;* elles ont néanmoins le mérite de représenter une image de l'évolution actuelle et de mettre en garde les viticulteurs, toujours attachés à la qualité des vins, contre l'utilisation abusive de fumures minérales et les dangers de techniques culturales favorisant, involontairement, une meilleure alimentation en eau de la vigne.

Manuscrit reçu le 12 novembre 1976.

RÉSUMÉ

Une étude agropédologique des Côtes de Bourg a permis de distinguer, suivant la nature des roches-mères, trois grands types de sols mais qui présentent en commun un certain nombre de propriétés agronomiques.

L'uniformité au sein de cette région viticole est encore plus grande à l'échelle des mésoclimats et les variations observées sont trop faibles pour qu'on puisse leur attribuer un rôle déterminant concernant la qualité des vins.

Aussi les différences observées en ce qui concerne la croissance des sarments et la maturation du raisin dépendent-elles essentiellement de la plus ou moins grande profondeur d'enracinement avec ses conséquences sur la nutrition minérale et sur l'alimentation en eau de la vigne.

SUMMARY

An agropedological study of the Côtes-de-Bourg region has shown the existence of three major soil types based on parent material. However, these soil types have a number of agronomic properties in common.

The uniformity of the mesoclimates throughout this viticultural region is too high to play a determinant effect on the quality of wines produced.

The observed differences in growth of vine canes and on berry maturation depend essentially upon the rooting depth which in turn influences the supply of both minerals and water to the vine.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine agropedologische Untersuchung der Côtes de Bourg gestattete, je nach Art des Felsuntergrundes, die Unterscheidung von drei Hauptbodenarten, die jedoch eine gewisse Anzahl von agronomischen Eigenschaften gemeinsam haben.

Die Uniformität innerhalb dieses Weinbaugebietes ist auf der Stufe der Mesoklimas noch viel grösser, und die beobachteten Unterschiede sind zu klein, um ihnen eine entscheidende Rolle betreffend die Weinqualität einzuräumen.

Die festgestellten Unterschiede beim Wachstum der Rebzweige und beim Heranreifen der Traube hängen daher im Wesentlichen von der mehr oder weniger grossen Wurzeltiefe mit ihren Auswirkungen auf die Mineralstoffernährung und den Wasserhaushalt der Weinrebe ab.

RESUMEN

Un estudio agropedológico de los vinos Cotes de Bourg ha pemitido distinguir, según la naturaleza de las rocas-madres tres grandes tipos de suelos que presentan en comun un cierto número de propiedades agronómicas.

La uniformidad en esta región viticola es todavia más grande a escala de los mesoclimas, y, las variaciones observadas son demasiado débiles para que se las pueda atribuir un papel determinante en cuanto a la calidad de los vinos.

Igualmente, las diferencias observadas en lo que se refiere al crecimiento de los sarmientos y la maduración de la uva dependen esencialmente de la

mayor o menor profundidad de arraigamiento, con sus consecuencias sobre la nutrición mineral y la alimentación en agua de la viña.

RIASSUNTO

Uno studio agropedologico delle Côtes de Bourg ha permesso di distinguere, seguendo la natura delle rocce-madri, tre grandi tipi di suoli ma che presentano in comune un certo numero di proprietà agronomiche.

L'uniformità in questa regione viticola è ancora più grande a livello del mesoclima e le variazioni osservate sono troppo deboli perchè si possa attribuire loro un ruolo determinante riguardante la qualità dei vini.

Anche le differenze osservate per quanto riguarda la crescita dei sarmenti e la maturazione dell'uva dipendono essenzialmente dalla più o meno grande profondità delle radici con le sue conseguenze sulla nutrizione minerale e sull' alimentazione in acqua della vigna.

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.

ASSAF R., 1966. Etude sur la croissance des rameaux de diverses espèces fruitières. *Thèse Docteur-Ingénieur,* 104 pages, Toulouse.

BOUARD J., 1966. Recherches physiologiques sur la vigne et en particulier sur l'aoûtement des sarments. *Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles*, 345 pages, Bordeaux.

BOUARD J. et POUGET R., 1971. Physiologie de la croissance et du développement. in *Sciences et Techniques de la Vigne*, 2 tomes, Dunod, Paris.

BOUCHET R.J., 1962. Le problème de la défense des végétaux contre les gelées. *Bull. Techn. d'Inf.,* 167, 281-291.

BRANAS J., BERNON E. et LEVADOUX L., 1946. *Eléments de Viticulture Générale,* 400 pages, Ecole Nationale d'Agriculture, Montpellier.

BUGNON F. et BESSIS R., 1968. *Biologie de la Vigne. Acquisitions récentes et problèmes actuels,* 160 pages, Masson, Paris.

COMPAGNON J., 1970. Alimentation en eau de la vigne dans quelques sols de Graves. Influence sur le raisin. *Thèse de Doctorat de 3e Cycle,* 103 pages, Bordeaux.

DUCHAUFOUR Ph., 1970. *Précis de Pédologie,* 3e Edition, 481 pages, Masson, Paris.

DUFRESNOY J., 1932. Corrélation entre la température de l'air et la vitesse de croissance de la vigne. *C.R. Acad. Sci.,* 194, 639-641.

DURAND R., 1974. Estimation du rayonnement global à partir de la durée d'insolation. *Ann. Agro.*, 6, 779-795.

DUTEAU J., 1973. Les sols de vignobles des Côtes de Bourg. *Connaissance Vigne et Vin,* 4, 223-241.

DUTEAU J., 1976. Le vignoble des Côtes de Bourg. Les sols et le climat. Influence sur la croissance des sarments et sur la maturation du raisin. *Thèse de Doctorat de 3e Cycle,* 135 pages, Bordeaux.

GEIGER R., 1966. *The climate near the ground,* 611 pages, Harward University Press.

GESLIN H., 1947. Les climats locaux. Leur étude. *Bull. Techn. d'Inf.,* 23-24, 33-41.

GODARD M., 1949. Microclimats et mésoclimats au point de vue agronomique. *Ann. Agro.,* 4, 578-604.

GUINOCHET M., 1968. in HUGLIN P., 1972. *Bull. de l'O.I.V.,* 491, 7-25.

HENIN S., FEODOROFF A. et MONNIER G., 1960. *Le profil cultural,* 320 pages, Société d'Editions des Ingénieurs agricoles, Paris.

HUGLIN P., 1972. Caractéristiques écologiques des cépages et des vignobles. *Bull. de l'O.I.V.,* 491, 7-25.

JACQUINET A. et SIMON J.L., 1971. Contribution à l'étude de la croissance des rameaux de la vigne. *Rev. Suisse Vitic. Arboric.,* 5, 131-135.

LEMEE G., 1967. *Précis de Biogéographie,* 358 pages, Masson, Paris.

MERIAUX S., ROLLIN H. et RUTTEN P., 1974. Effets de la sécheresse sur quelques phénomènes de croissance de l'appareil végétatif de la vigne. *Connaissance Vigne et Vin,* 2, 109-128.

MOUTONNET P., BUSCARLET L. et MARCESSE J., 1967. Emploi d'un humidimètre à neutrons de profondeur associé à un réflecteur pour la mesure de la teneur en eau des sols au voisinage de la surface. *Ann. I.T.B.T.P.,* 233, 5 pages.

NIGOND J., 1971 et 1972. Le rôle du climat en viticulture. *Connaissance Vigne et Vin,* 4, 461-487 et 1, 17-55.

NIGOND J., DURAND R. et TABARD P., 1968. Quelques aspects de l'action du microclimat sur la vigne et les arbres fruitiers. *Phytoma,* 194, 20-30 et 195, 26-30.

PASZYNSKI J., 1968. Le bilan thermique de la surface active comme principe de classification climatologique. *Institut de Géographie de l'Académie des Sciences Polonaises,* 141-150.

PEGUY Ch. P., 1970. *Précis de Climatologie,* 468 pages, Masson, Paris.

POUGET R., 1968. Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis,* 3, 201-205.

PUCHEU-PLANTÉ B., 1975. Les sols viticoles du Sauternais. *Connaissance Vigne et Vin,* 3, 141-163.

PUECH J., 1969. Etude expérimentale de la circulation de l'eau non saturante des différents sols vers une zone d'absorption. *Ann. Agro.,* 3, 245-261.

REED H.S. et DUFRESNOY J., 1934. Méthodes de calcul de la courbe théorique de la croissance des sarments de vigne. *C.R. Acad. Sci.,* 198, 1624-1627.

SCAETTA H., 1935. in GODARD M., 1949. *Ann. Agro.,* 4, 578-604.

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 de Doctorat ès Sciences Naturelles,* 141 pages, Bordeaux.

SEGUIN G., 1975. Alimentation en eau de la vigne et composition chimique des moûts dans les grands crus du Médoc. Phénomènes de régulation. *Connaissance Vigne et Vin,* 1, 23-34.

VARLET GRANCHER C., 1974. Assimilation nette, utilisation de l'eau et microclimat. Quantité et qualité de la lumière solaire. *Ann. Agro.,* 6, 797-810.