L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE DANS DES SOLS DU HAUT-MÉDOC

G. SEGUIN

Laboratoire d'Œnologie et Chimie agricole
Faculté des Sciences de Bordeaux

Dans les grandes régions viticoles à climat tempéré, ce sont les étés peu humides qui permettent d'obtenir les meilleurs millésimes. L'alimentation en eau de la vigne doit donc avoir un rôle primordial dans la maturation du raisin mais, faute d'une technique suffisamment précise, on ne pouvait guère étudier sérieusement ce problème. A cause de la grande profondeur du système radiculaire de la vigne, il était impossible, par la méthode des prélèvements à la tarière, de mesurer les variations de l'humidité du sol dans toute la zone exploitée par les racines. L'emploi d'un humidimètre à neutrons permet de suivre régulièrement l'évolution des profils hydriques jusqu'à de très grandes profondeurs. L'étude présentée ici ne concerne que des points assez localisés mais montre les possibilités offertes par ce nouveau type de recherche dans un domaine particulièrement intéressant de la biologie de la vigne.

PLAN

I. — **TECHNIQUES D'ETUDES**

1. Principe de fonctionnement de l'humidimètre à neutrons.
2. Etude du régime de l'eau.
3. Etude du microclimat.
4. Etude de la maturation du raisin.
5. Etude physico-chimique des sols.

II. — **SOLS ETUDIES**

1. Caractères analytiques des sols étudiés.
2. Alimentation minérale de la vigne.

III. — **REGIME DE L'EAU**

1. Variations du niveau des nappes phréatiques.
2. Capacité de rétention et eau utile du sol.
3. Epaisseur de la frange capillaire.
4. Répartition des eaux de pluie dans le sol au cours de l'été.

IV. — **ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE**

1. Alimentation en eau de la vigne avant la véraison du raisin.
2. Alimentation en eau de la vigne après la véraison du raisin.
3. Conditions de vie des racines en hiver.

V. — **QUANTITES D'EAU CONSOMMEES PAR LA VIGNE**

1. Evapotranspiration réelle et potentielle.
2. Quantités d'eau consommées en 1966.
3. Quantités d'eau consommées en 1967.
4. Quantités d'eau consommées en 1968.

VI — **INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA MATURATION DU RAISIN ET LES CARACTERES DES VINS**

1. Production de sucres.
2. Acidité du raisin.
3. Influence de la pluviosité et de la profondeur d'enracinement.
4. Influence de l'alimentation en eau de la vigne sur la qualité des vins.
5. Influence de la richesse du sol sur la constitution des moûts.
6. Action régulatrice du sol.

VII. — **CONCLUSION**

I. — TECHNIQUES D'ETUDES

1. Principe de fonctionnement de l'humidimètre à neutrons.

A l'intérieur d'un tube en acier inoxydable placé en permanence dans le sol, on enfonce une sonde contenant une source de neutrons (Americium-Beryllium) qui envoie dans le milieu étudié un nombre constant de neutrons rapides. Ces neutrons sont ralentis, jusqu'à l'agitation thermique (neutrons thermiques), par chocs successifs sur les noyaux des différents atomes qu'ils rencontrent. De tous les atomes, c'est l'hydrogène qui, à cause de la faible masse de son noyau, présente le plus fort coefficient de ralentissement. Le ralentissement provoqué par les autres atomes contenus dans le sol (Si, Fe, Al, Ca, Mg, K, Na, etc) peut être considéré comme négligeable devant celui qui est dû à l'hydrogène. Or, si l'on excepte les horizons humifères, c'est l'eau qui, dans le sol, est la principale source d'hydrogène. On peut donc considérer que le flux de neutrons thermiques est proportionnel à l'humidité volumique (Hv) du sol, c'est-à-dire à la quantité d'eau contenue dans l'unité de volume du sol en place (on passe des valeurs de l'humidité volumique à celles de l'humidité pondérale en divisant la première par la densité apparente du sol sec). Les neutrons thermiques sont captés par un détecteur au trifluorure de bore. Ce détecteur transmet l'information à une échelle de comptage sur laquelle on lit le nombre de neutrons thermiques captés pendant un temps déterminé. On en déduit le nombre d'impulsions par seconde dans le milieu étudié. Afin d'éliminer les légères variations venant de l'appareil, on n'utilise pas directement cette valeur pour calculer l'humidité mais le rapport :

$$K = \frac{\text{nombre d'impulsions par seconde dans le milieu}}{\text{nombre d'impulsions par seconde dans l'étui}}$$

Dans son étui, la sonde est entourée d'un bloc de protection en polyéthylène qui thermalise les neutrons. Comme la sonde est verrouillée toujours dans la même position, la mesure faite dans l'étui sert de mesure de référence. La valeur de K reportée sur une courbe d'étalonnage permet de déterminer l'humidité du sol (1,2). Un réflecteur de neutrons en polyéthylène permet d'effectuer des mesures jusqu'à 10 cm de la surface (3).

Les caractéristiques de l'appareil utilisé sont les suivantes : référence étui = 118 impulsions par seconde ; référence dans l'eau = 515 impulsions par seconde (en utilisant, comme dans le sol, un tube en acier inoxydable).

Cet appareil présente de nombreux avantages : il permet de mesurer l'humidité directement sur le sol en place, très rapidement, aussi fréquemment qu'on le désire, toujours aux mêmes niveaux et sans aucune perturbation du sol et du système radiculaire des végétaux. Comme les résultats sont exprimés en humidité volumique, il est possible d'établir directement des bilans hydriques sans qu'il soit nécessaire de connaître la densité apparente du sol en place.

Un des principaux inconvénients de cet appareil vient des difficultés que présente l'établissement des courbes d'étalonnage dans les couches profondes du sol. Les courbes d'étalonnage utilisées ont été déterminées sur des horizons superficiels (40-50 cm) ayant une texture voisine de celle des couches profondes du sol. Les valeurs de l'humidité volumique comportent donc une certaine imprécision. Sur les schémas représentant les profils hydriques, on trouvera en abscisses, à côté des valeurs de l'humidité volumique dont la précision pourra être améliorée par la suite, les valeurs de K qui, elles, sont définitives. En ce qui concerne les bilans hydriques, l'erreur relative maximale est inférieure à 10 %. Cette erreur ne portant pas sur les chutes de pluies (qui représentent le plus souvent une proportion importante de l'eau consommée par la vigne), on peut estimer que l'erreur relative maximale sur les valeurs de l'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 5 %. Cet appareil donne donc d'excellents résultats en ce qui concerne l'étude qualitative de l'alimentation en eau de la vigne (zones d'alimentation, évolution de la teneur en eau d'un même sol, profondeur et vitesse d'infiltration des eaux de pluie, etc). Il permet en outre d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle, avec une précision nettement supérieure à celle que l'on pourrait obtenir par des prélèvements à la tarière.

2. **Etude du régime de l'eau.**

Dans les sols à étudier, des forages ont été faits à la tarière de 200 mm ce qui a permis de prélever des échantillons en vue d'une analyse physico-chimique et de noter la présence ou l'absence de racines dans les différentes zones du sol. Ces forages ont été tubés afin de suivre les variations du niveau de la nappe phréatique. A côté de ces forages, les tubes en acier inoxydables destinés à recevoir la sonde à neutrons ont été mis en place.

Les profils hydriques ont été relevés régulièrement pendant la période active du cycle végétatif de la vigne, environ tous les mois, du débourrement à la véraison, plus fréquemment de la véraison à la maturité (toutes les semaines ou tous les 15 jours). Pour ne pas surcharger les schémas,

tous les profils hydriques relevés n'ont pas été reproduits mais seulement les plus caractéristiques (notamment ceux qui correspondent à la demi-véraison et à la maturité du raisin).

3. **Etude du microclimat.**

Des stations microclimatiques ont été installées dans les crus étudiés afin de connaître la température, l'hygrométrie et la pluviosité locales.

4. **Etude de la maturation du raisin.**

Parallèlement à l'étude des profils hydriques, l'évolution de la maturation du raisin a été suivie (prélèvements de grappillons sur les 30 ceps situés aux alentours immédiats des tubes de mesure). L'acidité totale (méthode au bleu de bromothymol), les teneurs en sucres (méthode Bertrand), en acide tartrique (méthode au racémate), en acide malique (dosage microbiologique), et l'alcalinité des cendres ont été déterminées sur les jus de raisins.

5. **Etude physico-chimique des sols.**

L'analyse granulométrique est faite par la méthode ROBINSON.

Le carbone organique est dosé par la méthode ANNE et l'azote total par la méthode KJELDAHL.

La capacité totale d'échange (T) est déterminée par la méthode METSON.

Les cations métalliques échangeables (K^+, Na^+, Ca^{++}) sont dosés par photométrie de flamme sur le percolat à l'acétate d'ammonium neutre et normal. Le magnésium (méthode SCHACHTSCHABEL) et le cuivre échangeables sont dosés par spectrophotométrie d'absorption.

S = somme des cations métalliques échangeables.

V = taux de saturation du complexe absorbant = 100 S/T.

Le pH est mesuré dans l'eau avec un rapport sol/eau = 1/2,5.

Le fer libre est déterminé par la méthode DEB.

L'acide phosphorique assimilable est dosé par la méthode de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

Les résultats sont exprimés en pour cent de terre fine (< 2 mm) séchée à l'air. La capacité totale d'échange, les teneurs en cations métalliques échangeables et leur somme sont exprimées en milliéquivalents pour 100 g de terre fine séchée à l'air.

II. — SOLS ETUDIES

Le Médoc viticole forme une bande d'une dizaine de kilomètres de largeur et de 80 kilomètres de longueur bordant la rive gauche de la Gironde. Le vignoble des grands crus s'étend sur une série de croupes graveleuses en pente douce, séparées par des bas-fonds marécageux où coulent les « jalles », petits ruisseaux assurant le drainage des croupes et de l'arrière-pays. Les sols sont établis sur une nappe alluviale gravelo-sableuse (terrasse quaternaire a^{1b} de la carte géologique correspondant à une partie de la « nappe alluviale interne » de FABRE). Cette nappe gravelo-sableuse repose sur un soubassement d'argiles et de calcaires tertiaires (4).

1. Caractères analytiques des sols étudiés.

Parmi les sols dont l'évolution des profils hydriques a été suivie, nous en avons choisi quatre qui diffèrent essentiellement par la profondeur de leur enracinement. Ces sols appartiennent à des grands crus classés du Médoc. Leur encépagement est constitué par du Merlot (cépage rouge).

Les sols A et B se trouvent sur une même croupe de la région de Margaux (commune de Cantenac). Le sol A est situé près du sommet de la croupe à une altitude de 18 mètres. Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 11 mètres (le forage a été poursuivi jusqu'à cette profondeur). Des racines ont été identifiées avec certitude jusqu'à une profondeur d'au moins 400 cm. Le sol B se trouve à proximité du sol A mais sur une pente et en contrebas (altitude 15 mètres). Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 7,9 mètres. Des racines ont été identifiées jusqu'à – 270 cm.

Ces deux sols (tableaux I et II) sont relativement homogènes sur toute leur hauteur. Ils sont caractérisés par leur enracinement profond et par leur texture grossière (25 à 65 % de cailloux supérieurs à 2 mm). La terre fine a une texture sableuse (essentiellement des sables grossiers) avec de très faibles pourcentages d'argiles, surtout dans les deux premiers mètres du sol B.



Les teneurs en carbone et azote sont très faibles, même dans les couches les plus superficielles du sol. Les rapports C/N sont bas et indiquent une minéralisation rapide de la matière organique.

Les capacités totales d'échange (T) sont extrêmement faibles. Le complexe absorbant n'est cependant pas saturé par les cations échangeables d'où des réactions nettement acides (pH voisins de 5).

Les teneurs en acide phosphorique assimilable sont satisfaisantes dans le premier mètre du sol mais insignifiantes en profondeur.

Les teneurs en cations échangeables (K^+, Na^+, Mg^{++}, Ca^{++}) sont faibles, surtout en ce qui concerne le magnésium et le calcium. Ces teneurs sont cependant plus élevées dans les couches profondes du sol (on notera les taux relativement importants de potassium de – 370 à 490 cm en A et de – 190 à – 270 cm en B).

Le sol C est situé sur la même croupe que A et B, mais dans sa partie la plus basse (altitude = 13 mètres), en bordure d'une petite « jalle ». Des racines ont été identifiées jusqu'à – 100 cm.

Le sol D est situé sur la croupe de Saint-Julien à une altitude de 18 mètres. Le soubassement tertiaire est à une profondeur de 7,5 mètres. Des racines ont été identifiées jusqu'à – 160 cm. L'étude de ce sol n'a été entreprise qu'en 1967, soit un an après celle des sols A, B et C.

Bien qu'appartenant à deux régions différentes, les sols C et D ont en commun de nombreux caractères (tableaux III et IV). Ce sont des sols à enracinement peu profond, notamment C. Dans leurs horizons superficiels (0 — 60 cm pour C, 0 — 110 cm pour D) la texture est plus fine que celle des sols A et B : moins de cailloux et de sables grossiers mais davantage d'éléments fins. Bien que les capacités totales d'échange (T) soient plus élevées, le complexe absorbant est pratiquement saturé (V est voisin de 90 à 95 %) d'où une réaction nettement moins acide (pH voisins de 7).

Les teneurs en carbone, azote et acide phosphorique sont relativement élevées, surtout dans le sol D.

Les teneurs en cations échangeables sont, dans l'ensemble, plus importantes que dans les sols A et B surtout en ce qui concerne le magnésium et le calcium.

ISVV

TABLEAU I
Caractères analytiques du sol A

Profondeurs		0-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170	170-190	190-210	210-230	230-250
Terre fine %		54	35	38	46	54	51	60	59	74	60	55	65
Sables gros. %		69,3	82,7	90,5	91,1	83,7	79,6	83,0	79,4	85,9	81,0	79,2	77,7
Sables fins %		10,2	4,3	2,3	2,5	3,2	3,5	2,3	3,1	1,8	2,9	3,7	4,0
Sables t. f. %		6,5	4,4	3,1	3,0	3,2	2,5	2,0	2,9	1,7	2,5	3,2	2,6
Limons %		7,0	3,5	2,0	1,5	3,5	2,5	1,5	0,5	1,5	2,0	2,5	1,5
Argiles %		5,0	4,0	1,5	1,5	5,5	11,0	10,5	13,5	8,5	11,0	11,0	13,5
Hum. act. %		0,5	0,4	0,3	0,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,7
Mat. org. %		1,5	0,7	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2					
C %		0,85	0,39	0,20	0,11	0,19	0,14	0,12					
N %		0,070	0,035	0,022	0,014	0,017	0,011	0,011					
C/N		12,1	11,1	9,1	7,8	11,2	12,7	10,9					
Complexe absorbant	K+ méq.	0,27	0,14	0,12	0,11	0,27	0,21	0,27	0,14	0,14	0,15	0,15	0,18
	Na+ méq.	0,15	0,13	0,13	0,15	0,19	0,13	0,18	0,13	0,13	0,16	0,16	0,16
	Mg++méq.	0,07	0,04	0,09	0,09	0,05	0,11	0,13	0,07	0,10	0,11	0,11	0,07
	Ca++méq.	0,59	0,28	0,21	0,28	1,18	1,02	1,25	0,69	0,49	0,53	0,49	0,54
	Cu pp m	206	35										
	S méq.	1,08	0,59	0,55	0,63	1,69	1,47	1,83	1,03	0,86	0,95	0,91	0,95
	T méq.	4,60	2,70	2,20	1,80	3,45	3,20	4,00	3,00	2,50	2,65	2,85	3,20
	V %	23,4	21,8	25,0	35,0	48,9	45,9	45,7	34,3	34,4	35,8	31,9	29,6
	pH (eau)	4,60	4,90	5,00	5,05	5,20	5,05	5,05	4,85	4,75	4,65	4,60	4,70
Fer libre %		0,16	0,16	0,14	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,12
P_2O_5 %		0,040	0,050	0,034	0,025	0,025	0,019	0,019	0,013	0,014	0,016	0,006	0,009

TABLEAU I (suite)
Caractères analytiques du sol A

Profondeurs		250-270	270-290	290-310	310-330	330-350	350-370	370-390	390-410	410-430	430-450	450-470	470-490	490-510
Terre fine %		53	66	53	63	56	55	68	64	59	57	61	60	70
Sables gros. %		82,4	77,8	80,0	83,8	83,8	82,7	87,0	87,5	86,7	87,8	85,8	74,3	82,9
Sables fins %		3,1	4,5	3,6	2,7	3,0	3,9	2,4	2,5	3,1	2,9	2,8	7,5	3,4
Sables t. f. %		1,4	1,6	2,2	1,0	1,6	1,4	0,7	0,6	1,4	0,4	2,6	2,9	1,2
Limons %		2,0	2,5	3,5	3,5	3,0	3,1	2,5	3,5	2,5	2,5	3,5	4,6	3,8
Argiles %		10,5	13,0	10,0	8,5	8,0	8,4	7,0	5,5	6,0	6,0	5,0	10,3	8,3
Hum. act. %		0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0.4	0.4	0,3	0.4	0,3	0.4	0.4
Mat. org. %														
C %														
N %														
C/N														
Complexe absorbant	K+ méq.	0,17	0,24	0,15	0,13	0,21	0,30	0,40	0,46	0,36	0,49	0,46	0,43	0,32
	Na+ méq.	0 16	0,16	0,16	0,15	0,13	0,18	0,21	0,22	0,19	0,25	0,21	0,21	0,25
	Mg++méq.	0,05	0,11	0,07	0,01	0,04	0,13	0,05	0,03	0,13	0,07	0,13	0,07	0,09
	Ca++méq.	0,43	0,49	0,49	0,43	0,38	0,44	0,59	0,33	0,39	0,53	0,59	0,51	0,39
	Cu pp m										0			
	S méq.	0,81	1,00	0,87	0,72	0,76	1,05	1,25	1,04	1,07	1,34	1,39	1,22	1,05
	T méq.	3,20	3,00	3,10	2,60	2,50	2,50	3.20	2,30	1,80	2,15	2,70	2,20	2.80
	V %	25,3	33,3	28,0	27,6	30,4	42,0	39,0	45,2	59,4	62,3	51,4	55,4	37,5
	pH (eau)	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,65	4,55	4,55	4,55	4,55	4,60	4,60	4,70
Fer libre %		0,17	0,16	0,16	0,11	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,10	0,09	0,09	0,09
P_2O_5 %		0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005

TABLEAU II
Caractères analytiques du sol B

Profondeurs		0-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170	170-190	190-210	210-230	230-250	250-270
Terre fine %		55	59	40	45	59	63	59	61	62	57	49	47	34
Sables gros. %		79,0	79,0	86,1	85,3	91,1	87,8	92,2	90,1	87,8	78,8	70,7	69,2	80,3
Sables fins %		8,5	7,6	3,8	4,4	2,3	4,1	1,8	2,5	2,4	4,5	7,5	8,5	5,2
Sables t. f. %		3,3	3,4	2,2	1,9	1,7	2,3	1,2	1,6	2,0	2,3	3,2	1,1	1,9
Limons %		4,9	3,9	3,1	4,0	2,3	3,4	2,4	2,6	3,3	5,6	6,0	6,2	3,7
Argiles %		3,1	5,1	4,2	3,8	2,2	2,1	2,2	2,6	4,3	8,4	12,1	14,2	8,4
Hum. act. %		0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,8	0,5
Mat. org. %		0,9	0,7	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1						
C %		0,52	0,38	0,20	0,23	0,09	0,09	0,08						
N %		0,049	0,038	0,023	0,024	0,014	0,010	0,007						
C/N		10,6	10,0	8,7	9,6	6,4	9,0	11,4						
Complexe absorbant	K+ méq.	0,29	0,31	0,24	0,33	0,19	0,24	0,19	0,17	0,33	0,77	0,37	0,38	0,46
	Na+ méq.	0,16	0,13	0,13	0,13	0,10	0,13	0,10	0,13	0,12	0,21	0,19	0,18	0,25
	Mg++méq.	0,13	0,07	0,04	0,09	0,09	0,04	0,09	0,07	0,10	0,11	0,15	0,05	0,03
	Ca++méq.	0,62	0,41	0,31	0,58	0,43	0,69	0,49	0,48	0,62	1,05	1,15	1,12	1,05
	Cu pp m	93	65	30	30	7					3		0	
	S méq.	1,20	0,92	0,72	1,13	0,81	1,10	0,87	0,85	1,17	2,14	1,86	1,73	1,79
	T méq.	3,10	2,75	1,80	2,25	1,20	1,40	1,15	1,20	1,35	2,40	4,45	4,25	3,00
	V %	38,7	33,4	40,0	50,2	67,5	78,5	75,6	70,8	86,6	89,1	41,7	40,7	59,6
	pH (eau)	4,95	4,90	5,00	5,20	5,55	5,55	5,60	5,45	5,20	5,10	4,75	4,70	4,80
Fer libre %		0,15	0,13	0,12	0,11	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,09	0,10
P_2O_5 %		0,032	0,039	0,034	0,031	0,015	0,011	0,006	0,006	0,006	0,010	0,006	0,005	0,005

TABLEAU III
Caractères analytiques du sol C

Profondeurs		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-150
Terre fine %		93	92	95	96	93	85	83	83
Sables gros. %		58,0	57,9	64,0	74,0	82,5	79,2	81,0	76,5
Sables fins %		13,5	14,0	14,2	12,2	8,9	9,1	7,0	7,1
Sables t.f. %		4,9	5,1	4,9	3,4	2,1	2,3	2,6	4,1
Limons %		8,3	8,5	7,1	5,0	2,6	3,7	4,4	4,8
Argiles %		12,8	12,0	8,4	4,8	3,5	5,1	4,3	6,7
Hum. act. %		1,1	1,1	0,7	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5
Mat. org. %		1,4	1,4	0,7	0,3	0,2	0,3	0,4	0,8
C%		0,80	0,80	0,43	0,15	0,12	0,15	0,21	0,15
N%		0,069	0.071	0,043	0,018	0,014	0,016	0,014	0,012
C/N		11,6	11,3	10,0	8,3	8,6	9,4	15,0	12,5
Complexe absorbant	K+ méq.	0,25	0,24	0,15	0,12	0,10	0,11	0,10	0,15
	Na+ méq.	0,18	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12	0,13	0,15
	Mg++méq.	0,43	0,45	0,19	0,07	0,04	0,03	0,11	0,07
	Ca++méq.	6,55	6,51	4,20	2,04	1,44	1,74	1,74	2,50
	Cu pp m	13	17	0					
	S méq.	7,41	7,35	4,69	2,35	1,70	2,00	2,08	2,87
	T méq.	8,10	8,20	5,10	2,50	1,90	2,20	2,20	3,05
	V %	91,4	89,6	91,9	94,0	89,4	90,9	94,5	94,0
	pH (eau)	6,70	6,70	6,80	6,90	6,95	7,35	7,30	7,40
Fer lib. %		0,30	0,30	0,14	0,07	0,04	0,04	0,02	0,03
P_2O_5 %		0,039	0,035	0,034	0,018	0,008	0,006	0,007	0,008

TABLEAU IV
Caractères analytiques du sol D

Profondeurs		0-30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-170
Terre fine %		77	76	73	79	81	69	64	51
Sables gros. %		61,6	63,8	62,1	66,2	74,9	73,4	83,9	74,8
Sables fins %		9,2	9,3	11,8	11,7	8,3	8,2	4,6	7,5
Sables t.f. %		6,6	4,8	6,2	5,7	3,3	4,3	4,2	4,4
Limons %		10,5	9,8	8,8	7,0	5,6	3,3	3,3	4,9
Argiles %		11,1	10,3	9,6	8,1	7,0	5,1	3,5	7,6
Hum. act. %		0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5
Mât. org. %		2,0	1,2	0,9	0,7	0,4	0,3	0,2	0,3
C%		1,16	0,67	0,51	0,38	0,25	0,15	0,12	0,16
N%		0,091	0,066	0,049	0,035	0,025	0,016	0,011	0,012
C/N		12,7	10,2	10.4	10,9	10,0	9,4	10.9	13,3
Complexe absorbant	K^+ méq.	0,30	0,20	0,13	0,12	0,20	0,07	0,05	0,05
	Na^+ méq.	0,15	0,17	0,17	0,23	0,27	0,17	0,23	0,19
	Mg^{++} méq.	0,38	0,35	0,31	0,27	0,23	0,23	0,13	0,22
	Ca^{++} méq.	6,04	6,22	4,27	3,35	2.32	1,34	1,10	1,59
	Cu ppm	55	21	10	4				
	S méq.	6,87	6,94	4,88	3,97	3,02	1,81	1,51	2,05
	T méq.	7,45	6,75	5,35	4,30	3,35	1,90	1,60	2,40
	V %	92,2		91,2	92,3	90,1	95,2	94,3	85,4
	pH (eau)	6,40	6,75	6,65	6,95	6,75	6,85	7,00	6,65
Fer lib. %		0,30	0,28	0,22	0,21	0,22	0,28	0,14	0,16
P_2O_5 %		0,067	0,070	0,041	0,046	0,024	0,015	0,009	0,010

Les couches profondes ont une texture plus grossière et sont pauvres en éléments assimilables, étant semblables en cela aux sols A et B.

Remarque : On notera que le cuivre apporté par les traitements anti-cryptogamiques et qui peut devenir toxique, lorsque le pH est trop bas, reste localisé dans les horizons superficiels (5).

2. **Alimentation minérale de la vigne.**

En ce qui concerne l'alimentation minérale de la vigne, les résultats analytiques bruts n'ont pas une grande signification. Il est plus intéressant de déterminer les quantités totales d'éléments assimilables qui se trouvent à la disposition des racines en tenant compte : du pourcentage de cailloux (qui ne contiennent pas d'éléments directement assimilables), de la densité apparente du sol et de la profondeur d'enracinement (tableau V).

En A et B, les teneurs totales en azote sont faibles, la plus grande partie étant localisée dans les premiers centimètres du sol. Les teneurs totales en potassium et acide phosphorique sont importantes. Par contre, les teneurs en calcium et surtout en magnésium sont extrêmement faibles.

Le rapport K/Mg (exprimés en équivalents) qui devrait être inférieur à 1 est d'environ 3 en A et 4 en B d'où un phénomène d'antagonisme : l'excès de potassium doit gêner considérablement l'assimilation du magnésium. D'autre part, étant donné la réaction très nettement acide du sol, il est vraisemblable que l'excès d'ions H^+ est défavorable à l'assimilation des cations échangeables.

TABLEAU V

Quantités totales d'éléments nutritifs se trouvant dans la zone exploitée par les racines

Les résultats sont exprimés en kg et en équivalents par mètre carré de sol sur toute la hauteur exploitée par les racines. Si, par extrapolation, on veut calculer les teneurs par hectare, il faut multiplier ces résultats par 10.000.

N° de sol et profondeur exploitée par les racines		N	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	P_2O_5
Sol A (510 cm)	kg	0,42	0,71	0,32	0,10	0,90	0,73
	éq.		15,1	10,1	4,7	32,1	
Sol B (270 cm)	kg	0,41	0,43	0,13	0,05	0,54	0,47
	éq.		9,2	4,2	2,4	19,4	
Sol C (100 cm)	kg	0,80	0,15	0,08	0,09	2,17	0,50
	éq.		3,2	2,6	4,4	77,5	
Sol D (170 cm)	kg	1,05	0,18	0,15	0,14	2,44	0,95
	éq.		3,8	4,8	6,7	87,2	

Malgré des réserves importantes en éléments minéraux assimilables, l'alimentation de la vigne se fait dans de mauvaises conditions : le pH trop bas, l'antagonisme du potassium à l'égard du magnésium et la faible teneur en azote et calcium jouent le rôle de facteurs limitants. On comprend ainsi que ces sols portent une vigne peu vigoureuse et que les rendements y soient faibles.

En C et D, malgré des profondeurs moindres, les quantités de magnésium et surtout de calcium sont plus fortes qu'en A et B. Les rapports K/Mg (exprimés en équivalents) sont inférieurs à 1 : les risques d'antagonisme sont donc limités.

Le potassium peut sembler en quantité insuffisante ; en fait, les rapports 100 K/Ca (exprimés en équivalents) sont supérieurs à 4 : ils indiquent une bonne alimentation en potassium .(6)

Il s'agit donc de sols proches de la neutralité, riches en azote, bien pourvus en acide phosphorique, où les cations échangeables, en quantité suffisante, y sont bien répartis. L'alimentation minérale de la vigne se fait dans de bonnes conditions : les ceps sont vigoureux et les rendements beaucoup plus importants qu'en A et B.

III. — REGIME DE L'EAU

1. Variations du niveau des nappes phréatiques.

L'eau apportée par les pluies d'automne et d'hiver se rassemble pour former une nappe phréatique qui, par suite de la différence de perméabilité entre les sables graveleux de surface et le soubassement tertiaire, s'établit au-dessus de ce dernier. Une partie des eaux de la nappe phréatique s'écoule vers la Gironde, soit directement, soit par l'intermédiaire des jalles. Tant que les apports d'eau par les pluies sont supérieurs aux pertes (drainage vertical et latéral, évapotranspiration) le niveau de la nappe s'élève. Dès la fin de la période de forte pluviosité, son niveau commence à s'abaisser.

La profondeur par rapport à la surface du sol de la nappe phréatique dépend de l'épaisseur de sables graveleux recouvrant le soubassement tertiaire, épaisseur qui varie suivant les points étudiés. Dans les bas-fonds séparant les croupes médocaines, la nappe est proche de la surface (souvent, elle affleure en hiver) tandis qu'elle est située à une profondeur parfois importante (plus de 5 mètres) sur le sommet de certaines croupes.

A Cantenac et Saint-Julien, les variations du niveau des nappes phréatiques ont été suivies à l'aide de piézomètres (fig. 1).

Au cours de l'hiver, le niveau de la nappe phréatique est plus ou moins élevé : en un point donné, il dépend de la profondeur du soubassement tertiaire et varie d'une année à l'autre en fonction de la pluviosité. Ce niveau s'abaisse progressivement au cours de l'été; pour des conditions climatiques normales (la pluviosité de l'été 1968 a été exceptionnelle), il continue de s'abaisser jusqu'au début de l'automne.

On peut remarquer qu'à Saint-Julien où le sol est situé en bordure de la Gironde, l'amplitude des variations du niveau de la nappe phréatique est beaucoup plus grande qu'à Cantenac où les sols sont situés au bord d'une petite « jalle ».

L'évolution du niveau des nappes phréatiques a été également suivi en d'autres points du Médoc mais d'une façon moins précise, grâce à des puits. On peut considérer que, dans la région des grands crus médocains, le niveau supérieur de la nappe phréatique se situe à une profondeur de 1 à 4 mètres à la sortie de l'hiver lorsque commence la période de vie active de la vigne; il descend à une profondeur de 2 à 5 mètres en juillet et à une profondeur de 3 à 6 mètres au début du mois d'octobre.

2. **Capacité de rétention et eau utile du sol.**

Grâce à l'humidimètre à neutrons, la capacité de rétention peut être déterminée directement sur le sol en place. Après une période de fortes pluies ayant provoqué une nette remontée du niveau de la nappe phréatique et par conséquent ayant humecté le sol sur toute sa hauteur, on laisse celui-ci se ressuyer pendant plusieurs jours en l'absence de nouveaux apports d'eau. La partie des profils hydriques située au-dessus de la frange de remontée des eaux de la nappe phréatique par capillarité correspond alors à la capacité de rétention. Plusieurs mesures réalisées en hiver (période pendant laquelle l'évapotranspiration est négligeable) dans les conditions indiquées ci-dessus ont montré que, pour un sol déterminé, on retrouvait toujours le même profil hydrique. Le profil hydrique représentant la capacité de rétention a été reproduit sur chacun des schémas correspondant aux années 1966, 1967 et 1968 : il servira de référence pour comparer l'état d'humidité du sol au cours de ces trois années. On notera que, dans ces sols à texture grossière, les valeurs moyennes de la capacité de rétention (exprimées en humidité volumique, donc environ deux fois plus fortes que si elles étaient exprimées en humidité pondérale) sont extrêmement faibles (tableau VI). Les réserves en eau utile (différence entre les teneurs en eau correspondant à la capacité de rétention et au point de flétrissement permanent) semblent donc très limitées. Si l'on tient compte du volume de sol exploité par les racines, les quantités d'eau disponibles pour la vigne sont, dans le cas d'un enracinement profond, beaucoup plus importantes que ce qu'une étude superficielle du sol permettrait d'imaginer. Elles sont cependant insuffisantes pour assurer une bonne alimentation en eau de la vigne au cours d'une longue période de sécheresse.

Remarque : Les circonstances permettant de déterminer la capacité de rétention (forte pluviosité suivie d'au moins 10 jours sans pluie) sont assez rares au cours de l'hiver. Lorsqu'elles surviennent, il arrive que la nappe phréatique soit déjà proche de la surface : il n'est plus possible de déterminer la capacité de rétention dans les couches profondes du sol (ce fut le cas pour le sol D).

3. **Epaisseur de la frange capillaire.**

Il est intéressant, nous le verrons par la suite, de déterminer l'épaisseur de la frange de remontée par capillarité de l'eau de la nappe phréatique. L'étude de plusieurs profils hydriques permet de déterminer cette épaisseur avec précision. Les différents profils hydriques (correspondant

au sol A) représentés sur la figure 2 se raccordent par leur partie inférieure au profil de la nappe phréatique et par leur partie supérieure au profil correspondant à la capacité de rétention. La frange capillaire est comprise entre ces deux points. Dans ce sol à texture gravelo-sableuse, elle a une épaisseur de 40 cm ; dans les sols B et D, son épaisseur est de l'ordre de 40 à 50 cm.

Remarque : A première vue, il peut paraître étonnant que les teneurs en eau au sein de la nappe phréatique ne dépassent pas 30 %. Il faut se souvenir que l'on mesure le volume d'eau contenu dans l'unité de volume de sol en place. Or, les seuls cailloux occupent un volume important (on peut voir sur le tableau I qu'entre 4 et 5 mètres, dans le sol A, les cailloux représentent environ 40 %). En tenant compte du volume occupé par la terre fine, on comprend que le volume des vides susceptibles d'être occupés par l'eau ne dépasse pas 30 % et varie suivant les pourcentages de cailloux et le tassement de la terre fine.

4. **Répartition des eaux de pluie dans le sol au cours de l'été.**

Lorsque la chute de pluie est très faible (2 à 3 mm), seule la couche superficielle du sol est imprégnée. L'eau disparaît très rapidement par évaporation.

Lorsqu'elle est plus importante, l'eau pénètre plus profondément dans le sol et diffuse vers les couches inférieures plus sèches (par différence de potentiel capillaire). Il s'établit un profil hydrique où la teneur en eau est inférieure à la capacité de rétention (ce fut le cas au cours de l'été 1966). Très souvent, lorsque les précipitations sont particulièrement abondantes, le profil qui tend à s'établir est voisin de celui correspondant à la capacité de rétention. Grâce à la forte perméabilité des sols A et B où la texture grossière permet un drainage rapide, les eaux de pluie s'infiltrent rapidement et profondément sans créer de saturation. Les profils hydriques relevés le 3 octobre 1966 (fig. 3 et 6) après 5 jours de pluie (45 mm) et 24 heures seulement après la dernière chute montrent que la teneur en eau du sol est voisine de la capacité de rétention sur une profondeur de 180 et 140 cm.

Il est intéressant de savoir ce qui se produit lorsqu'une forte pluie tombe sur des sols dont la teneur en eau est déjà voisine de la capacité de rétention .Par suite de la forte pluviosité observée au cours de l'été 1968, les profils hydriques des sols étudiés étaient très proches de la capacité de rétention les 2 et 11 septembre (fig. 5, 8 et 13). Après 12 jours de pluies au cours desquels il est tombé 154 mm à Cantenac et

105 mm à Saint-Julien, les profils hydriques ont été relevés le 24 septembre, moins de 24 heures après la dernière chute de pluie. On peut constater sur les figures 5, 8 et 13 que cette eau en excédent a traversé le sol très rapidement pour aller rejoindre les nappes phréatiques dont les niveaux ont remonté d'une trentaine de centimètres (fig. 1). On a observé cependant une très légère sursaturation, notamment en profondeur (tableau VI : on remarquera que les écarts par rapport à la capacité de rétention sont plus faibles dans le premier mètre du sol), mais il ne faut pas oublier que les mesures ont été réalisées moins de 24 heures après la dernière chute de pluie.

TABLEAU VI

Humidité des sols le 24 septembre 1968 et écarts avec l'humidité correspondant à la capacité de rétention

Les résultats sont exprimés en humidité volumique %.
La capacité de rétention du sol D n'a pu être déterminée dans les couches profondes. Celle du sol C n'est pas connue avec suffisamment de précision.

		A	B	C	D
Moyenne sur l'ensemble du profil	Humidité du sol le 24 sept. 1968	19,9	12,8	25,8	13,8
	Capacité de rétention	19,7	11,4	—	—
	Ecarts	+0,2	+1,4	—	—
Moyenne sur le premier mètre	Humidité du sol le 24 sept. 1968	13,5	12,5	24,6	19,1
	Capacité de rétention	13,9	11,6	—	17,4
	Ecarts	−0,4	+0,9	—	+1,7

Les mêmes études ont été faites sur d'autres sols du vignoble bordelais. On peut constater, par exemple sur des sols limono-argilo-sableux des Premières Côtes de Bordeaux, qu'à la suite d'une forte pluie, les horizons superficiels restent engorgés pendant plusieurs jours.

IV. — ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE

1 Alimentation en eau de la vigne avant la véraison du raisin.

A partir du printemps, les nappes phréatiques commencent à s'abaisser. En comparant les profils hydriques successifs des sols A, B et D

(fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12 et 13), on remarque qu'au cours de l'été, la vigne consomme de l'eau dans des zones qui, durant l'hiver, sont occupées par la nappe phréatique (par exemple, sur la figure 6, au-dessous de — 180 cm, profondeur qui était celle de la nappe phréatique le 28 janvier 1966). Au cours des divers forages effectués dans les sols de Cantenac et Saint-Julien, on a d'ailleurs pu observer la présence de racines et de radicelles dans ces zones profondes du sol. On peut interpréter ce phénomène si l'on admet que, durant la période de croissance de la vigne, les radicelles se développent dans la zone d'abaissement de la nappe phréatique.

Certaines radicelles puisent de l'eau dans les réserves (eau capillaire suspendue) des couches superficielles du sol, ces réserves étant plus ou moins réalimentées par les pluies (fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12 et 13 : la quantité d'eau absorbée dans le sol entre deux dates est proportionnelle à la surface comprise entre les profils hydriques correspondant à ces deux dates). D'autres radicelles absorbent l'eau laissée dans le sol par la nappe phréatique à mesure qu'elle s'abaisse. Enfin, certaines radicelles qui sont en contact avec la frange capillaire (eau capillaire soutenue) ont à leur disposition de l'eau facilement utilisable (ce cas est particulièrement net dans le sol B où de très nombreuses radicelles ont été identifiées de – 240 à – 270 cm). On comprend ainsi l'étonnante résistance à la sécheresse des vieilles vignes dans ces sols où, malgré leur profondeur, les réserves en eau utile sont relativement faibles (par contre, les plants à enracinement superficiel, notamment les plus jeunes, souffrent du manque d'eau au cours des étés arides). Ces sols présentent donc la particularité de ne pas être entièrement tributaires des chutes de pluie pour assurer l'alimentation en eau de la vigne avant la véraison du raisin.

Remarque : Dans le sol C, à enracinement très superficiel, la nappe phréatique ne semble pas jouer de rôle dans l'alimentation en eau de la vigne, comme nous le verrons plus loin.

2. **Alimentation en eau de la vigne après la véraison du raisin.**

Si l'on compare les profils hydriques correspondant à la demi-véraison du raisin (du 17 au 26 août suivant les années) et ceux correspondant au début des vendanges (du 19 au 27 septembre suivant les années) on constate (fig. 3, 4, 6 et 7) que, durant cette période, les variations des profils hydriques sont extrêmement faibles, sinon nulles, au-dessous du niveau où se trouve la frange capillaire au moment de la véraison du raisin (au-dessous de — 520 cm pour le sol A et de — 280 cm pour le sol

B). Les profils hydriques intermédiaires qui n'ont pas été reproduits afin de ne pas surcharger les schémas le montrent très nettement en 1966 et 1967 (il faut cependant souligner qu'un mouvement de l'eau reste possible, même si le profil hydrique ne varie pas). Les très légères variations que l'on peut observer dans le bas des profils hydriques sont dues à l'abaissement de la nappe phréatique et de sa frange capillaire.

Remarque : Ces faits n'ont pu être vérifiés sur le sol D car, au moment de la véraison, le niveau de la frange capillaire est situé à l'extrémité du tube de mesure. Ils ne l'ont pas été non plus en 1968 en raison de la remontée des nappes phréatiques pendant l'été.

Au cours des forages, on n'a d'ailleurs pas rencontré de racines et de radicelles au-dessous de ces niveaux. Par contre, dans le sol B, on a pu observer une très forte densité de radicelles de – 240 à – 270 cm, zone qui, dans ce sol, est située immédiatement au-dessus du niveau où se trouve la frange capillaire au moment de la véraison.

Pour interpréter ce phénomène, il faut considérer qu'à partir du mois d'août la croissance de la vigne devient de plus en plus faible (7). C'est vers cette même époque que se produisent la véraison du raisin et le début de sa maturation. Or, si l'abaissement de la nappe phréatique se poursuit, il n'est sans doute plus compensé par une poussée correspondante des radicelles dont la croissance, comme celle de toute la plante, est alors pratiquement arrêtée. Au fur et à mesure qu'elle s'abaisse, la nappe phréatique a un rôle de plus en plus réduit dans l'alimentation en eau de la vigne. Celle-ci se fait alors, essentiellement, à partir des réserves du sol et des pluies.

3. **Conditions de vie des racines en hiver.**

Le niveau des nappes phréatiques remontant à partir de l'automne, une partie du système radiculaire de la vigne est immergée. Si les racines ne se développent pas dans les sols saturés (8), elles supportent sans inconvénients graves un séjour temporaire dans l'eau au cours de l'hiver, période pendant laquelle elles sont à l'état de vie très ralentie (l'immersion temporaire du sol en hiver a été utilisée pour lutter conte le phylloxéra).

V. — QUANTITES D'EAU CONSOMMEES PAR LA VIGNE

1. Evapotranspiration réelle et potentielle.

Les études effectuées à l'Institut National de la Recherche Agronomique (1964) ont permis de préciser les relations qui existent entre l'alimentation en eau des végétaux et la production. La production, c'est-à-dire la quantité de matière sèche produite, dépend de la photosynthèse. Or, celle-ci varie constamment car elle est sous la dépendance de nombreux facteurs (lumière, température, gaz carbonique, eau). Chacun de ces facteurs peut être limitant et suffit à masquer l'action de tous les autres. Parmi ces facteurs, l'eau est celui qui, dans les conditions naturelles, a l'influence prépondérante.

L'alimentation en eau des végétaux est régie par la « loi » de l'offre et de la demande mais ces termes n'ont plus la signification qu'on leur attribuait autrefois. La demande ne correspond pas aux « besoins en eau » du végétal, mais découle directement des exigences imposées à chaque instant par le climat. Elle est définie par l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) L'offre ne correspond pas à ce que les pluies et le sol peuvent apporter, mais à ce que le sol (par évaporation directe) et la plante (par transpiration) sont capables de céder à l'atmosphère par unité de temps. Elle est définie par l'évapotranspiration réelle (E.T.R.). Elle dépend des quantités d'eau disponibles dans le sol mais aussi de toutes les résistances s'opposant au passage de l'eau du sol jusqu'à l'atmosphère, notamment aux niveaux de passage sol-racines et feuilles-air.

Pour maintenir la turgescence cellulaire, l'eau absorbée par la plante doit être égale à l'eau transpirée. Si le sol et la plante sont capables d'assurer le débit défini par l'évapotranspiration potentielle instantanée, la turgescence cellulaire est maintenue et les stomates restent ouverts : le facteur eau n'est pas limitant. Mais cette éventualité est rarement réalisée, même si l'eau se trouve en quantité suffisante dans le sol (à cause des niveaux de résistance cités plus haut). Le plus souvent, il existe un déséquilibre entre l'offre et la demande : la turgescence diminue et entraîne chez les feuilles une régulation stomatique (les stomates se ferment plus ou moins) et cuticulaire qui isole la plante du milieu extérieur. Il s'ensuit une réduction des échanges gazeux, du gaz carbonique notamment, ce qui limite l'activité photosynthétique et par conséquent l'élaboration de matière sèche. Ce déséquilibre hydrique existe même chez les végétaux ne présentant aucun flétrissement ; même dans des régions

subhumides, les plantes cultivées dans les meilleures conditions subissent un déséquilibre hydrique quotidien qui est particulièrement élevé pendant les heures les plus chaudes (et aussi les plus lumineuses) de la journée, c'est-à-dire, au moment où la photosynthèse pourrait être la plus active (« dépression de midi »). L'élaboration de matière sèche n'aurait donc lieu que durant un temps réduit par rapport à la période active de végétaiton. Connaître la quantité d'eau évapotranspirée n'est donc pas suffisant : la valeur la plus intéressante est celle du déficit de l'évapotranspiration réelle par rapport à l'évapotranspiration potentielle.

2. **Quantités d'eau consommées en 1966.**

L'été 1966 a été caractérisé par des températures déficitaires en juillet et août mais supérieures à la normale en septembre. Après une période de forte pluviosité au début du mois de juin (environ 120 mm en 20 jours), les pluies ont été faibles par la suite, notamment au cours de la maturation du raisin : 24 mm seulement du 17 août au 27 septembre à Cantenac,

TABLEAU VII

Conditions climatologiques à Cantenac

Tm Max = moyenne des températures maximales (en °C)
Tm Min = moyenne des températures minimales (en °C)
Tm Moy = températures moyenne (en °C)
Les températures ont été relevées sous abri, à 2 mètres du sol.
Les jours de grande chaleur sont ceux où la température de l'air a dépassé 30 °C.
Les jours de pluie sont ceux où les précipitations ont dépassé 0,2 mm.
Les durées d'ensoleillement (moyennes en heures par jour) ont été relevées à la Station Météorologique de Mérignac.
Les dates correspondent aux profils hydriques reproduits sur les schémas.

		Tm. Max.	Tm. Min.	Tm. Moy.	Jours de grande chaleur	Pluies (mm)	Jours de pluie	Ensoleillement moyen
1966	23.6/17.8	23,5	12,9	18,2	4	58,0	16	8,2
	17.8/13.9	25,0	13,3	19,1	3	22,6	6	7,3
	13.9/27.9	24,8	9,5	17,1	1	1,8	1	9,3
1967	8.7/17.8	28,3	14,1	21,2	16	93,4	10	9,1
	17.8/ 5.9	27,7	13,1	20,4	6	14,2	2	8,6
	5.9/19.9	21,3	8,3	14,8	0	28,0	6	6,5
1968	12.6/26.8	25,7	13,0	19,3	12	184,7	24	8,5
	26.8/ 2.9	24,3	15,3	19,8	0	94,5	6	5,0
	2.9/23.9	21,5	11,9	16,7	0	169,7	14	5,1

l'essentiel des précipitations (16 mm) s'étant produit dans la dernière semaine du mois d'août (tableau VII).

A l'échelon régional, l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) calculée par la formule THORNTHWAITE a présenté les valeurs indiquées dans le tableau VIII.

A l'aide des profils hydriques et en tenant compte des chutes de pluie, l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) a été calculée avant et après la demi-véraison du raisin qui se situe aux environs du 17 août (tableau VIII).

Le déficit de l'évapotranspiration réelle par rapport à l'évapotranspiration potentielle est indiqué sur le tableau VIII.

Le calcul exact de l'évapotranspiration réelle entre le 23 juin et le 17 août est pratiquement impossible du fait que l'on ne peut évaluer, d'une part les quantités d'eau absorbées à partir de la frange capillaire, et d'autre part les pertes par drainage lent. On peut cependant avoir une idée de l'importance de l'évapotranspiration réelle au cours de cette période en faisant les calculs sur les premiers mètres du sol seulement (jusqu'à : 360 cm pour le sol A, 240 cm pour le sol B et 120 cm pour le sol C).

TABLEAU VIII

Evapotranspiration potentielle (ETP) Evapotranspiration réelle (ETR) et déficit ETR-ETP (d) en 1966

Tous les résultats sont exprimés en millimètres par jour. En l'absence d'un réflecteur de neutrons qui permet de faire des mesures près de la surface, les valeurs de ETR ont été calculées, en 1966, à partir de — 20 cm : elles sont sous-estimées d'environ 0,1 mm par jour pour la seule période du 13 au 27 septembre. A côté des valeurs de ETR, on a indiqué la profondeur de sol qui a servi à faire les calculs. Les limites inférieures ont été choisies de manière à ce que les variations d'humidité provenant de l'abaissement des nappes phréatiques n'interviennent pas dans les calculs.

	23.6/17.8	17.8/13.9	13.9/27.9
ETP	3,5	3,3	2,6
ETR (sol A)	2,7 (—20—360 cm)	1,7 (—20—500 cm)	1,1 (—20—500 cm)
ETR (sol B)	2,5 (—20—240 cm)	1,5 (—20—280 cm)	0,9 (—20—280 cm)
ETR (sol C)	3,2 (—20—120 cm)	1,3 (—20—120 cm)	0,7 (—20—120 cm)
d (sol A)		1,6	1,5
d (sol B)		1,8	1,7
d (sol C)		2,0	1,9

On voit sur le tableau VIII que l'évapotranspiration réelle est relativement élevée avant la véraison du raisin. Si l'on tient compte du fait que les radicelles peuvent puiser de l'eau à partir de la frange capillaire, la valeur de l'évapotranspiration réelle doit être encore plus élevée. Dans le sol C le déficit ETR — ETP est extrêmement faible, ce qui semble confirmer que, par suite de son enracinement très superficiel, la vigne ne s'alimente pas aux dépens de la nappe phréatique.

A partir du 17 août, l'évapotranspiration réelle est beaucoup plus faible et le déficit ETR-ETP important. De la véraison aux vendanges, la pluviosité a été extrêmement faible (24 mm) et l'alimentation en eau de la vigne s'est faite presque uniquement à partir des réserves du sol. Or, au moment de la véraison, les sols étaient déjà partiellement asséchés (fig. 3, 6 et 9) et, à mesure que les racines puisaient de l'eau, celle qui restait dans le sol était retenue de plus en plus énergiquement (par augmentation du potentiel capillaire) si bien que l'alimentation en eau a été de plus en plus réduite.

On peut remarquer cependant (tableau VIII) que du 13 au 27 septembre, les déficits ETR — ETP ont été légèrement plus faibles que dans la période précédente. Bien que les réserves en eau aient été encore plus réduites qu'au moment de la véraison, le « système sol-plante » a pu satisfaire plus facilement une « demande climatique » plus faible (l'ETP était d'environ 2,6 mm par jour contre 3,3 mm par jour du 17 août au 13 septembre).

On remarque également sur le tableau VIII que l'évapotranspiration réelle a été d'autant plus forte que l'enracinement était profond, c'est-à-dire que les réserves en eau utilisable par les racines étaient importantes (elle a été plus élevée dans A que dans B et plus élevée dans B que dans C).

En résumé, l'alimentation en eau de la vigne a été nettement insuffisante au cours de l'été 1966, notamment dans le sol C.

3. **Quantités d'eau consommées en 1967.**

Après une période fraîche au début du mois de juin, les températures ont été, dans l'ensemble, supérieures à la normale du 20 juin au 3 août. Le début du mois d'août a été généralement froid. Du 15 août au 3 septembre on a observé de fortes chaleurs tandis que le reste du mois de septembre a été caractérisé par sa fraîcheur. La pluviosité a été faible en juin et juillet avec cependant de gros orages les 13 et 14 juillet. Du

8 août au 16 août, on a observé de fortes précipitations en Médoc (70,7 mm à Cantenac ; 63,4 mm à Saint-Julien), contrairement à ce qui s'est passé dans les autres régions viticoles du Bordelais. Après trois semaines de sécheresse, on a observé de nouvelles pluies à partir du 3 septembre, pluies qui se sont poursuivies irrégulièrement jusqu'au début des vendanges. La pluviosité, de la véraison (17 août) au début des vendanges (19 septembre), a été de 42,2 mm à Cantenac et de 38,6 mm à Saint-Julien, l'essentiel des précipitations s'étant produit à partir du 3 septembre (tableau VII).

Les évapotranspirations potentielle et réelle ainsi que le déficit ETR — ETP ont été calculés de la même manière qu'en 1966 (Tableau IX).

TABLEAU IX
Evapotranspiration potentielle (ETP)
Evapotranspiration réelle (ETR) et déficit ETR-ETP (d) en 1967

	8.7/17.8	17.8/5.9	5.9/19.9
ETP	4,0	3,6	2,2
ETR (sol A)	2,6 (0 — 380 cm)	2,8 (0 — 520 cm)	1,9 (0 — 520 cm)
ETR (sol B)	2,5 (0 — 260 cm)	2,9 (0 — 280 cm)	1,5 (0 — 280 cm)
ETR (sol C)	3,0 (0 — 110 cm)	2,8 (0 — 110 cm)	1,8 (0 — 110 cm)
ETR (sol D)	3,2 (0 — 140 cm)	3,1 (0 — 180 cm)	1,9 (0 — 180 cm)
d (sol A)		0,8	0,3
d (sol B)		0,7	0,7
d (sol C)		0,8	0,4
d (sol D)		0,5	0,3

A la suite des pluies du 8 au 16 août, les sols étaient humides au moment de la véraison du raisin (fig. 4, 7, 10 et 12) alors qu'ils étaient déjà partiellement asséchés à la même époque en 1966 (pour les sols A, B et C, les humidités moyennes dans le premier mètre de sol étaient respectivement supérieures de 14 %, 22 %, et 20 % à celles de 1966 à la même époque). Les évapotranspirations réelles ont été élevées et leur déficit par rapport à l'évapotranspiration potentielle relativement réduit du 17 août au 5 septembre. On a pu observer la même chose en fin de maturation du raisin car des pluies abondantes et régulièrement réparties ont réapprovisionné les réserves en eau du sol. Le potentiel capillaire du sol s'étant maintenu à un niveau beaucoup plus bas qu'en

1966, l'alimentation en eau de la vigne s'est faite dans d'excellentes conditions au cours de l'été 1967. A Cantenac, dans les quinze derniers jours précédant les vendanges, les déficits de l'évapotranspiration réelle par rapport à l'évapotranspiration potentielle ont été , en moyenne, 3,6 fois plus faibles qu'en 1966.

Remarque : Afin de pouvoir comparer les quatre sols pendant les mêmes périodes, l'évapotranspiration réelle du sol D a été calculée jusqu'au 19 septembre, alors que les vendanges y ont été plus tardives que sur les sols A, B, et C.

4. **Quantités d'eau consommées en 1968.**

Le mois de juin a été ensoleillé, peu pluvieux mais assez frais. Le mois de juillet a été également très ensoleillé, avec une pluviosité et des températures proches de la normale. Par contre, les mois d'août et septembre ont été caractérisés par leur fraîcheur, par un ensoleillement déficitaire et par une pluviosité anormalement élevée. (On notera sur le tableau VII qu'il n'y a pas eu un seul jour de grande chaleur au cours de la maturation du raisin). On a observé seulement deux périodes sans précipitations : du 15 au 27 août et du 4 au 12 septembre.

L'étude des profils hydriques relevés en 1968 (fig. 5, 8, 11 et 13) montre que, par suite d'une pluviosité importante, l'humidité des sols est restée élevée pendant la maturation du raisin et que cette humidité a augmenté de la véraison aux vendanges (les profils hydriques sont de plus en plus décalés vers la droite). Dès le 2 septembre, on a constaté qu'une partie de l'eau apportée par les pluies avait traversé le sol sur toute sa hauteur et avait rejoint les nappes phréatiques dont les niveaux ont commencé à remonter. Dans ces conditions, il n'a pas été possible d'établir des bilans hydriques et de déterminer avec suffisamment de précision les quantités d'eau consommées par la vigne.

VI. — INFLUENCE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VIGNE SUR LA MATURATION DU RAISIN ET LES CARACTERES DES VINS

Parallèlement à l'étude des profils hydriques, l'évolution de la maturation du raisin a été suivie sur les sols A, B, C, et D. Bien que certains phénomènes semblent dépendre assez étroitement de l'alimentation en eau de la vigne, il est difficile d'établir des corrélations précises entre celle-ci et la maturation du raisin : de nombreux facteurs interviennent.

1. **Production de sucres.**

Au moment de la véraison, une partie des glucides se trouvant dans les souches et les rameaux migrent vers le raisin (9). Les sucres qui, par la suite, s'accumulent dans les baies proviennent essentiellement de l'activité photosynthétique.

En 1966, les teneurs en sucres des moûts ont été aussi élevées qu'en 1967 (tableau X) mais, compte-tenu des rendements, la production globale de sucres à l'hectare a été inférieure d'environ 30 % à celle de 1967. Or, si les mois de juillet et août ont été relativement frais, les températures et l'ensoleillement ont été supérieurs à la normale saisonnière en septembre. C'est donc la mauvaise alimentation en eau de la vigne qui a joué le rôle de facteur limitant.

TABLEAU X

Maturation du raisin en 1966

La demi- véraison s'est située aux environs du 15 août.
Les vendanges ont commencé le 25 septembre.

		Sucres g/l	Acidité méq/l	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Alcalinité des cendres méq/l
A	8.8	20	431	261	200	37
	17.8	110	279	178	140	38
	23.8	137	204	154	88	41
	30.8	162	168	150	52	40
	13.9	193	108	115	28	41
	20.9	208	92	98	20	—
B	8.8	27	371	215	180	31
	17.8	120	256	166	120	32
	23.8	150	196	143	89	40
	30.8	165	162	137	56	39
	13.9	196	111	115	32	39
	20.9	205	92	98	20	—
C	8.8	30	380	261	140	31
	17.8	107	300	188	140	30
	23.8	132	223	150	104	40
	13.9	179	114	115	32	41
	20.9	188	92	101	16	—

En 1967, contrairement à ce qui s'est passé dans d'autres régions viticoles du Bordelais, l'alimentation en eau de la vigne a été bonne en Médoc. La photosynthèse a été très active de la véraison au 5 septembre, période chaude (température maximale moyenne = 27,7 °C ; température moyenne = 20,4 °C) et ensoleillée : le 5 septembre, le degré alcoolique en puissance était déjà voisin de 10° (tableau XI). Du 5 au 21 septembre, la photosynthèse a été plus réduite car les températures anormalement basses (température moyenne = 14,8 °C) ont été le facteur limitant. Compte-tenu des rendements, la production de sucres à l'hectare a été importante malgré le fléchissement observé en fin de maturation.

TABLEAU XI

Maturation du raisin en 1967

Les pourcentages de grains vérés le 17 août étaient :
47 % en A, 60 % en B, 23 % en C et 53 % en D.
Les vendanges ont commencé le 22 septembre.

		Sucres g/l	Acidité méq/l	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Alcalinité des cendres méq/l
A	17.8	87	323	178	184	37
	5.9	185	118	95	57	40
	19.9	207	94	98	37	42
	21.9	207	93	96	37	43
B	17.8	93	334	176	198	39,5
	5.9	186	118	89	67	40
	19.9	203	90	96	37	44
	21.9	205	90	96	36	45
C	17.8	71	358	180	212	38
	4.9	170	133	105	64	38,5
	19.9	195	99	98	36	38,5
	21.9	195	95	96	35	40
D	17.8	82	361	210	193	42
	4.9	165	133	114	58	43
	19.9	199	99	100	42	45
	25.9	212	88	97	34	46

Bien qu'il n'ait pas été possible d'établir des bilans précis, on peut considérer que l'alimentation en eau de la vigne a pu se faire dans de bonnes conditions en 1968. La production de sucres a été normale de la véraison (plus tardive qu'en 1966 et 1967) au 11 septembre grâce à une période de très beau temps du 3 au 10 septembre (température maximale moyenne = 23, 4 °C ; ensoleillement = 8, 9 heures par jour). Mais on

peut voir sur le tableau XII que, du 11 au 23 septembre, période plus froide et très peu ensoleillée, la teneur en sucres du jus de raisin n'a pratiquement pas augmenté. On notera que, par crainte de la pourriture et malgré une véraison plus tardive d'une huitaine de jours, les vendanges ont été aussi précoces que les autres années alors que le raisin n'avait pas atteint un degré suffisant de maturité.

TABLEAU XII

Maturation du raisin en 1968

Les pourcentages de grains vérés le 26 août étaient :
62 % en A, 73 % en B, 37 % en C et 78 % en D.
Les vendanges ont commencé le 23 septembre.

		Sucres g/l	Acidité méq/l	Acide tartrique méq/l	Acide malique méq/l	Alcalinité des cendres méq/l
A	26.8	107	252	167	116	40
	2.9	144	195	149	88	41
	11.9	166	142	126	48	42
	23.9	169	109	101	44	42
B	26.8	111	260	167	126	39
	2.9	141	184	148	80	41
	11.9	172	134	129	40	41
	23.9	177	101	92	40	41
C	26.8	91	312	169	174	40
	2.9	128	206	147	102	40
	11.9	160	152	133	50	39
	23.9	161	108	101	45	43
D	27.8	105	261	164	132	38
	2.9	134	206	152	96	40
	11.9	162	149	145	42	39
	23.9	159	106	105	40	42

En résumé, on peut dire que les effets de l'alimentation en eau de la vigne, de la température et de l'ensoleillement sont étroitement imbriqués ; la déficience d'un seul de ces facteurs suffit à masquer l'action favorable des autres et à limiter la photosynthèse.

2. **Acidité du raisin.**

Au moment de la véraison, le raisin contient des taux importants d'acides organiques : acide tartrique, acide malique et, en beaucoup plus faible quantité, acide citrique. L'acidité du jus de raisin est alors très élevée. De la véraison aux vendanges, cette acidité diminue rapidement

par dilution (due à l'augmentation de volume des grains), par disparition d'une partie des acides (surtout par combustion respiratoire) et enfin par neutralisation partielle des fonctions acides (migration de bases vers le raisin).

La teneur en acides organiques du jus de raisin dépend de l'importance relative des apports et des dégradations. En ce qui concerne l'acide malique, les synthèses sont toujours inférieures aux pertes par combustion respiratoire et par transformation en glucides (10) : sa teneur diminue constamment de la véraison aux vendanges. L'acide tartrique est plus stable et, pour des conditions climatiques normales, la diminution de son taux dans le jus de raisin est surtout due au phénomène de dilution. RIBÉREAU-GAYON et PEYNAUD (11) ont cependant observé une disparition de cet acide au cours des périodes de sécheresse et un afflux important à la suite de pluies. La disparition de l'acide tartrique peut s'expliquer par une combustion respiratoire et par une migration vers les racines où il s'accumule (10). Il est plus difficile d'expliquer les apports importants que l'on observe au cours de certaines périodes car, selon G. RIBÉREAU-GAYON la synthèse de l'acide tartrique n'aurait lieu que dans les organes en cours de croissance (jeunes feuilles, raisins verts) : elle serait pratiquement inexistante au cours de la maturation du raisin. PEYNAUD a montré que l'augmentation du taux d'acide tartrique est en relation avec des précipitations abondantes qui augmentent la circulation de l'eau dans la souche (11). Les résultats obtenus au cours de cette étude confirment ces observations.

Il faut cependant souligner que la remontée du taux d'acide tartrique dans le jus de raisin dépend davantage de la consommation d'eau par la plante que de l'intensité de la pluviosité : les effets d'une même pluie sont très différents suivant qu'elle tombe sur un sol déjà humide ou fortement asséché. Les études faites en Médoc et dans d'autres régions viticoles du Bordelais semblent indiquer que les apports d'acide tartrique au raisin sont liés à l'importance de l'évapotranspiration réelle ; cet acide accumulé dans les racines (10) pourrait être « véhiculé » jusqu'au raisin par la circulation ascendante de l'eau. S'il en est ainsi, on peut penser que l'alimentation en eau de la vigne détermine en partie l'acidité du moût en réglant l'intensité des apports d'acide tartrique au raisin.

En ce qui concerne la valeur finale de cette acidité, il ne faut pas négliger l'influence des températures. Lorsqu'elles sont élevées (ce fut le cas en 1967 de la véraison au début du mois de septembre) la combustion des acides est rapide et généralement supérieure aux apports, même

lorsque l'évapotranspiration réelle est importante. D'autres facteurs interviennent également (augmentation du volume des grains, migration des bases) si bien qu'il est difficile de déterminer avec précision l'influence de la consommation d'eau sur l'acidité finale du raisin. On constate néanmoins (8) que dans les sols saturés d'eau, l'acidité du raisin reste toujours élevée.

Comme en 1966 la pluviosité a été faible et assez uniforme dans toute les régions viticoles du Bordelais, contrairement à ce qui s'est produit en 1967, il est possible de comparer les crus étudiés en Médoc avec d'autres situés dans la région des Graves et des Premières Côtes de Bordeaux où l'évapotranspiration réelle a été beaucoup plus élevée (12). On a pu constater qu'au moment des vendanges l'acidité du moût était d'autant plus basse que la valeur moyenne de l'évapotranspiration réelle avait été faible au cours de la maturation du raisin. Ces études qui portaient sur une quinzaine de sols ont montré que, suivant les valeurs de l'évapotranspiration réelle, l'acidité pouvait varier de 92 à123 méq. par litre.

3. **Influence de la pluviosité et de la profondeur d'enracinement.**

Lorsque les précipitations sont faibles, les incidences sur la maturation du raisin sont difficilement perceptibles. Lorsqu'elles sont importantes, on peut constater que l'eau apportée par les pluies et qui reste localisée dans les horizons superficiels, est consommée préférentiellement (la teneur en eau du sol augmentant, le potentiel capillaire diminue et l'eau peut être absorbée plus facilement).

A la suite de précipitations importantes, on observe généralement une brusque arrivée d'eau dans le raisin qui peut provoquer l'éclatement des baies et leur envahissement par la pourriture grise, notamment lorsque la pluie survient en fin de maturation. Outre les inconvénients dus à la pourriture (pertes de récolte, manque de couleur, goûts de moisi), cet afflux d'eau s'accompagne d'une dilution des sucres et, parfois, d'une augmentation d'acidité, caractères peu favorables à l'élaboration d'un vin de qualité.

On savait déjà que les phénomènes accompagnant une forte précipitation ont une intensité plus faible dans les grands crus médocains que dans d'autres régions viticoles. Comme nous l'avons déjà vu, l'eau apportée par les pluies s'infiltre rapidement sans créer de saturation. Dans ces sols à enracinement profond, seule la partie superficielle du système

radiculaire de la vigne est affectée par cette légère augmentation d'humidité. Or, la densité des racines dans les couches de subsurface étant plus faible que dans les sols à enracinement superficiel, les surfaces absorbantes situées dans les zones humectées par la pluie sont plus réduites. La physiologie de la vigne et du raisin est beaucoup moins perturbée sur ce type de sol que sur ceux à enracinement superficiel, imperméables et mal drainés où la presque totalité des racines est brutalement plongée dans un milieu saturé d'eau.

Les pourcentages de grains pourris ou éclatés étaient, le 23 septembre 1968, de 5 % en A, 41 % en B, 50 % en D et 70 % en C, c'est-à-dire, d'autant plus importants que l'enracinement est superficiel. On peut également constater que si les jeunes ceps à enracinement superficiel souffrent du manque d'eau au cours des étés arides, c'est sur leurs raisins que la pourriture apparaît en premier au cours des étés pluvieux.
Remarque : Les taux de pourriture indiqués plus haut sont exceptionnellement élevés. Il faut souligner que, d'une part, l'été 1968 a été anormalement pluvieux et que, d'autre part, ces résultats ont été obtenus sur du Merlot qui, en raison de sa maturité plus avancée, a éclaté plus facilement. Dans des pièces contiguës aux parcelles de A et de B, plantées de Cabernet-Sauvignon, les pourcentages de grains pourris ou éclatés étaient respectivement de 1 % et 5 % le 23 septembre 1968.

4. Influence de l'alimentation en eau de la vigne sur la qualité des vins.

La somme des températures moyennes et des durées d'ensoleillement, de la demi-véraison au début des vendanges, ont été sensiblement identiques en 1966 et 1967 (tableau XIII). La différence essentielle entre ces deux années est venue de l'alimentation en eau de la vigne qui a été bonne en 1967 et fortement déficitaire en 1966.

TABLEAU XIII

Somme des températures moyennes et de la durée d'ensoleillement du 17 août au 20 septembre inclus en 1966 et 1967

Les températures ont été relevées à Cantenac. Les durées d'ensoleillement ont été mesurées à la Station météorologique de Bordeaux-Mérignac.

	1966	1967	Différence %
Somme des températures moyennes	642,7°C	630,2°C	1,9 %
Durée d'ensoleillement en heures	270,2	264,8	2,0 %

En 1967, les rendements ont été supérieurs d'environ 30 % à ceux de 1966 mais, en examinant la constitution des moûts le 20 septembre 1966 (tableau X) et le 21 septembre 1967, (tableau XI), on constate que, pour un sol donné, elle est sensiblement identique en ce qui concerne l'acidité totale, les teneurs en sucres et en acide tartrique. La principale différence vient des teneurs en acide malique qui ont été plus élevées en 1967. Si l'on n'a pas observé de différences notables dans la constitution grossière des moûts, il n'en a pas été de même en ce qui concerne les caractères des vins. La dégustation des vins obtenus à Cantenac a montré que le millésime 1966 est plus « riche » (arôme, tanin, couleur), plus puissant, plus moelleux, plus fin que le millésime 1967. La totalité de la récolte a été conservée tandis qu'en 1967 une partie des vins a dû être écartée pour qualité insuffisante.

Il est difficile de conclure à partir des résultats de deux années même si, par une coïncidence heureuse, les conditions climatiques ont permis d'étudier essentiellement l'influence de l'alimentation en eau de la vigne. On constate néanmoins qu'une mauvaise alimentation en eau de la vigne, conséquence d'un assèchement progressif des profils, a permis d'obtenir, en 1966, un vin d'une haute qualité.

5. **Influence de la richesse du sol sur la constitution des moûts.**

Les tableaux X, XI et XII montrent que la richesse du sol ne semble pas avoir d'influence notable sur la constitution grossière des moûts qui varie peu suivant les sols étudiés (elle diffère surtout pour C où la véraison est plus tardive qu'en A, B et D). Par contre, les rendements sont beaucoup plus élevés sur les sols riches et ayant une constitution chimique équilibrée (sols C et D). En 1967, année où l'alimentation en eau de la vigne a été bonne dans tous les sols et n'a pas constitué un facteur limitant comme en 1966, les rendements obtenus sur les sols C et D ont été respectivement supérieurs de 80 % et 40 % à ceux des sols A et B. La teneur en sucres légèrement plus faible sur le sol C (tableau XI), peut s'expliquer par une maturation plus tardive mais aussi par des rendements trop élevés. Une taille plus sévère permettrait, peut-être, d'améliorer la qualité des moûts obtenus dans cette parcelle (de superficie restreinte il est vrai).

6. **Action régulatrice du sol.**

Les sols typiques des grands crus médocains sont caractérisés par leur profondeur, leur perméabilité et leur faible capacité de rétention. Grâce à ces caractères, l'humidité du sol varie, d'une année à l'autre,

dans des marges relativement étroites et cela quelle que soit la pluviosité. On a calculé le plus grand écart d'humidité entre le moment où le sol fut le plus humide et celui où il fut le plus sec au cours des années 1966, 1967 et 1968. Ces écarts sont extrêmement faibles (tableau XIV) sur les sols profonds et à faible capacité de rétention (sol A et B) contrairement au sol C. Il est également intéressant de faire ces calculs sur le premier mètre du sol, zone où les variations de la teneur en eau sont les plus importantes (tableau XIV). On notera que les pourcentages de pourriture relevés le 23 septembre 1968 étaient d'autant plus élevés que ces écarts d'humidité sont grands dans le premier mètre de sol.

TABLEAU XIV

Ecarts d'humidité entre le moment où le sol a été le plus humide et celui où il a été le plus sec au cours des années 1966, 1967 et 1968

Les valeurs sont exprimées en humidité volumique pour cent. Les dates correspondantes sont indiquées sous les valeurs de l'humidité.

L'été 1966 ayant été extrêmement sec et l'été 1968 anormalement pluvieux (humidité du sol légèrement supérieure ou égale à la capacité de rétention), il est peu vraisemblable que l'on puisse enregistrer dans l'avenir des écarts plus importants.

		SOL A	SOL B	SOL C	SOL D
Moyenne sur l'ensemble du profil	Plus forte humidité	19,9 % 24.9.1968	12,8 % 24.9.1968	25,8 % 24.9.1968	13,8 % 24.9.1968
	Plus faible humidité	16,6 % 27.9.1966	7,0 % 27.9.1966	10,8 % 27.9.1966	8,4 % 19.9.1967
	Ecarts	3,3 %	5,8 %	15,0 %	5,4 %
Moyenne sur le premier mètre	Plus forte humidité	13,5 % 24.9.1968	12,5 % 24.9.1968	24,6 % 24.9.1968	19,1 % 24.9.1968
	Plus faible humidité	9,8 % 27.9.1966	8,1 % 27.9.1966	7,1 % 27.9.1966	7,5 % 19.9.1967
	Ecarts	3,7 %	4,4 %	17,5 %	11,6 %

L'action régulatrice du sol ne se manifeste nettement que dans les terrains profonds portant une vigne suffisamment âgée qui a eu le temps de développer son système radiculaire en profondeur. C'est sans doute à cause d'une plus grande régularité dans leur alimentation en eau que les vieilles vignes du Médoc donnent un meilleur vin (certains grands crus éliminent le vin produit par des plants de moins de huit ans et le vendent à plus bas prix sous une appellation particulière). On comprend également que ces vignes donnent encore un vin de qualité (bien que

nettement inférieur à celui des grands millésimes) lorsque l'été est caractérisé par des conditions climatiques médiocres.

En favorisant l'extension en profondeur du système radiculaire de la vigne, la pauvreté du sol pourrait donc être considérée, de ce point de vue, comme un facteur de qualité. Inversement, l'emploi abusif des engrais qui permet souvent l'établissement d'un système radiculaire superficiel, rend la vigne plus sensible aux excès d'humidité, notamment lorsque le sol est imperméable et mal drainé.

La perméabilité du sol qui est un des caractères essentiels des grands crus médocains ne servirait à rien s'il n'existait pas un réseau hydrographique suffisant pour assurer le drainage des sols : ils resteraient saturés d'eau pendant la plus grande partie de l'année comme c'est le cas dans la Haute-Lande (13). On constate d'ailleurs que les meilleurs crus du Médoc sont situés sur les croupes bordant la vallée de la Gironde ou le cours des « jalles ». L'importance de cette situation privilégiée est connue empiriquement depuis fort longtemps. On a coutume de dire dans le pays que, pour donner du bon vin, « la vigne doit avoir la rivière ». Si c'est pour des raisons historiques et commerciales que les vignobles se sont autrefois établis le long des fleuves (14, 15), si de nos jours on considère que les plans d'eau jouent un rôle important dans la régulation des températures, c'est aussi par leur rôle dans le drainage des sols que les cours d'eau ont, du moins en Médoc, une influence sur la qualité des vins.

VII. — **CONCLUSION**

La région médocaine appartient à ce que DION (14) appelle les « marges septentrionales » de culture de la vigne. Les conditions climatiques générales et plus particulièrement les conditions de température et d'ensoleillement y sont à peine suffisantes pour obtenir une bonne maturation des raisins rouges.

Mais les effets de ces conditions climatiques générales **a priori** peu favorables, sont en partie compensés par l'action régulatrice des facteurs naturels. Grâce à la situation géographique et au site de ses grands crus, le Haut-Médoc est une des régions viticoles où se trouvent réunis les principaux éléments capables d'assurer une bonne régulation des températures : proximité de plans d'eau importants (Gironde et Océan Atlantique), proximité de forêts, exposition, relief de forme convexe (croupes), présence à la surface du sol de cailloux dont les « effets calorifiques »

sont particulièrement sensibles sur une vigne cultivée au ras du sol (16). Mais ces facteurs, si importants soient-ils, ne permettent pas d'expliquer à eux seuls la grande qualité des vins médocains. On peut en rechercher les causes dans la constitution physique et chimique des sols.

Constitution chimique du sol.

L'analyse chimique de nombreux échantillons de sols (17) montre que les teneurs en éléments minéraux assimilables, notamment en cations échangeables, sont faibles. Mais, à cause de l'extension en profondeur du système radiculaire de la vigne et de la richesse relative de la roche-mère, les quantités totales d'éléments assimilables se trouvant à la disposition des racines sont importantes. Par contre, dans de nombreux cas, la pauvreté en matière organique et en azote (localisés dans les couches superficielles du sol), le pH trop bas, les antagonismes de cations peuvent jouer le rôle de facteurs limitants. La vigne se comporte alors comme si elle poussait sur un sol pauvre en tous éléments. On considère que la diminution de vigueur des ceps qui en résulte permet d'obtenir des vins de qualité mais en faible quantité.

Perméabilité du sol.

Un des caractères les plus importants des sols du Haut-Médoc est leur perméabilité. Elle est due, tout d'abord, à la texture grossière de la roche-mère (avec des proportions importantes de cailloux) qui favorise le drainage et surtout, à la position topographique des grands crus (sur des croupes, en bordure de la Gironde et des jalles qui s'y déversent) qui permet l'écoulement des eaux de drainage. Les profils hydriques relevés aussitôt après des précipitations abondantes montrent que l'eau s'infiltre très rapidement sans que le sol soit jamais saturé : les teneurs en eau du sol n'excèdent pas les valeurs correspondant à la capacité de rétention. De ce fait, à la suite de fortes pluies, l'alimentation en eau des vignes à enracinement profond est beaucoup moins perturbée sur ce type de sol que sur ceux à enracinement superficiel, imperméables et mal drainés où les racines se trouvent plongées dans un milieu saturé d'eau.

Les dégradations du raisin qui en résultent généralement (éclatement des baies et envahissement par la pourriture grise, manque de couleur, pertes de récolte, dilution des sucres et parfois augmentation d'acidité) sont très atténuées. On observe donc une action régulatrice du sol qui limite les effets d'une pluviosité excessive.

Alimentation en eau de la vigne.

Les teneurs en eau utile des sols du Haut-Médoc viticole sont très faibles. Si, comme pour les teneurs en éléments minéraux assimilables, on tient compte du volume de sol exploité par les racines, les quantités d'eau disponible pour les plantes sont beaucoup plus importantes que ne le laisent prévoir les résultats analytiques. Il faut cependant remarquer que l'évapotranspiration, au cours d'un mois sec et chaud, est capable d'assécher fortement le sol et d'amener la teneur en eau de certains profils au voisinage du point de flétrissement. Mais la présence d'une nappe phréatique dans le sous-sol des grands crus médocains laisse la possibilité à la vigne de s'alimenter facilement à ses dépens, soit que les radicelles puisent l'eau directement dans la frange capillaire, soit qu'elles absorbent celle laissée dans le sol par la nappe phréatique au fur et à mesure qu'elle s'abaisse. Nous observons encore une action régulatrice du sol et de la nappe phréatique qui permet d'assurer une bonne alimentation en eau de la vigne même au cours des périodes prolongées de sécheresse.

A partir du mois d'août, le rôle de la nappe phréatique, dans l'alimentation en eau de la vigne, devient de plus en plus faible. Cela se traduit, au cours des étés peu pluvieux, par une réduction de l'alimentation en eau de la vigne qui semble favorable à une bonne maturation du raisin.

Toutes ces actions régulatrices du sol qui limitent les effets d'une sécheresse comme d'une pluviosité excessives, permettent d'obtenir un régime de l'eau présentant une certaine constance d'une année à l'autre (la teneur en eau du sol varie dans des marges extrêmement étroites, quelle que soit la pluviosité). On comprend ainsi que les grands crus du Médoc produisent encore un vin de qualité (bien que nettement inférieur à celui des grands millésimes) lorsque l'été est caractérisé par des conditions climatiques médiocres.

Profondeur du sol et du système radiculaire de la vigne.

Ces actions régulatrices ne se manifestent que dans les sols de graves profondes où des vignes suffisamment âgées ont eu le temps de développer leur système radiculaire en profondeur. Lorsque la vigne est trop jeune ou lorsque les propriétés physico-chimiques du sol permettent la formation d'un enracinement superficiel, les ceps souffrent autant des excès d'humidité que de la sécheresse. La pauvreté relative des horizons superficiels qui favorise le développement des racines dans les couches profondes du sol peut donc être considérée, de ce point de vue, comme un facteur de qualité.

S'il est possible de déterminer, dans une région délimitée, un ensemble de facteurs naturels favorables à la production de vins de qualité, il est actuellement difficile d'expliquer d'une manière satisfaisante les variations que l'on observe entre les vins produits dans cette même région. Certes, il existe des différences suivant les crus, mais ces différences ne sont pas significatives. Le cru est un tout complexe où le site, les microclimats, les sols, les cépages, les porte-greffes, les soins du viticulteur et du vinificateur etc, apportent leur contribution à l'élaboration d'un vin de qualité.

LEGENDE DES FIGURES

Fig. 1. - Pour les deux sols de Cantenac (A et B), il s'agit de la même nappe phréatique. La différence de niveau provient du fait que l'altitude du sol B est inférieure à celle du sol A. Le sol D est celui de Saint-Julien.

On remarquera sur ce schéma que l'abaissement des nappes phréatiques se poursuit jusqu'au début de l'automne.

Fig. 2. - Les profils hydriques correspondant à la frange capillaire se raccordent par leur partie inférieure au profil hydrique de la nappe phréatique (N.P.) et par leur partie supérieure au profil hydrique correspondant à la capacité de rétention (C.R.). La frange capillaire est comprise entre ces deux points. Son épaisseur est d'environ 40 cm.

Fig. 3 à 13 - C.R. = profil hydrique correspondant à la capacité de rétention.
N.P. = profil hydrique correspondant à la nappe phréatique.

Les quantités d'eau puisées dans le sol entre deux dates sont proportionnelles à la surface comprise entre les profils hydriques correspondant à ces deux dates. Pour déterminer l'évapotranspiration réelle, il faut également tenir compte de l'eau apportée par les pluies.

En général, les quantités d'eau consommées par la vigne sont supérieures à celles apportées par les pluies : le sol s'assèche progressivement et les profils hydriques sont de plus en plus décalés vers la gauche. Lorsque les apports d'eau par les pluies sont supérieurs aux quantités absorbées par la vigne, la teneur en eau du sol augmente et les profils hydriques se décalent vers la droite (ce fut le cas au cours de l'été 1968).

On remarquera sur ces schémas que la vigne absorbe de l'eau sur toute la hauteur du sol exploitée par les racines (de 1 à 5 mètres suivant le cas). On remarquera également que la vigne consomme de l'eau dans des zones qui, au cours de l'hiver, sont occupées par la nappe phréatique (sur la figue 6 on a indiqué dans la partie droite du schéma les profondeurs de la nappe phréatique à différentes dates).

On notera également les faibles variations de l'humidité du sol au-dessous de 500 cm (fig. 3 et 4) et de 270 cm (fig. 6 et 7) entre la véraison du raisin et le début des vendanges (voir IV 2).

A la suite de précipitations importantes, le profil hydrique qui s'établit est voisin de celui correspondant à la capacité de rétention (fig. 3 et 6 : profils hydriques du 3 octobre 1966 ; fig. 5, 8 et 13 : profils hydriques du 2 et du 24 septembre 1968).

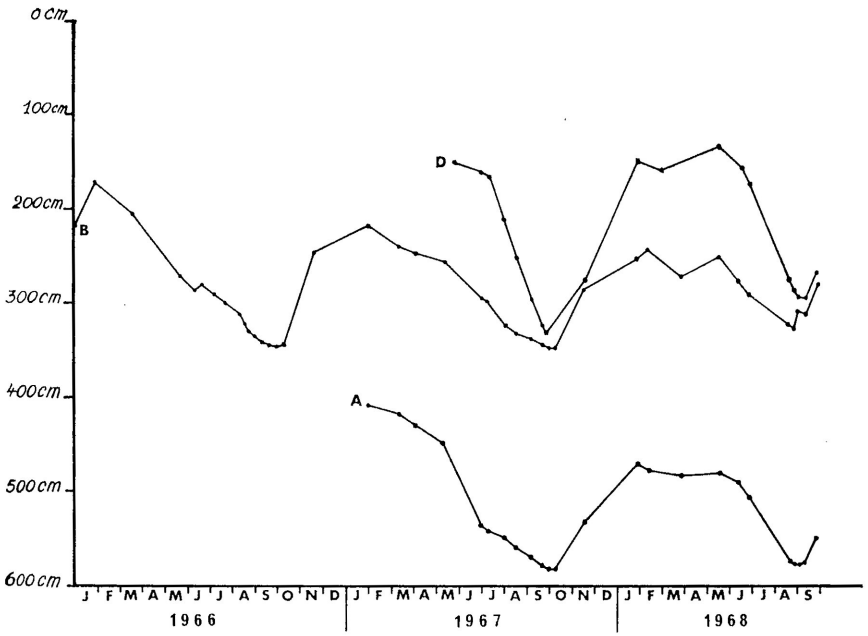


Fig. 1. — Variations du niveau des nappes phréatiques en 1966, 1967 et 1968

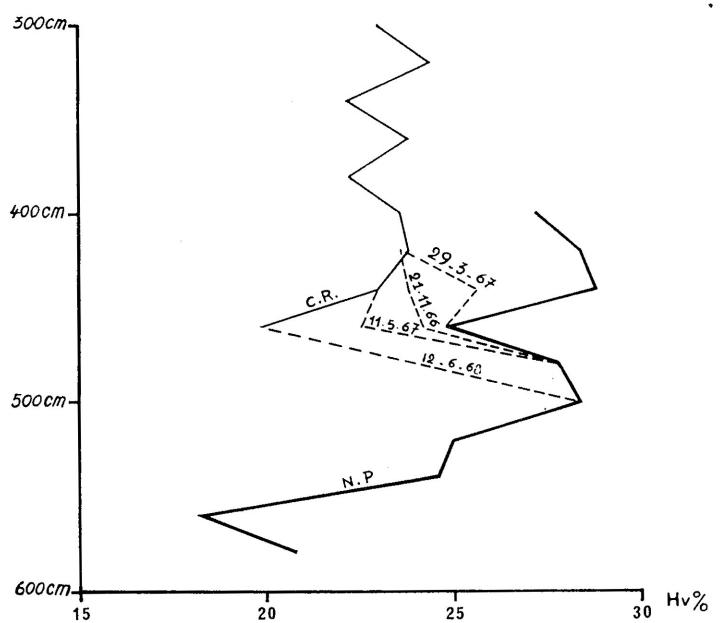


Fig. 2. — Epaisseur de la frange capillaire (sol A)

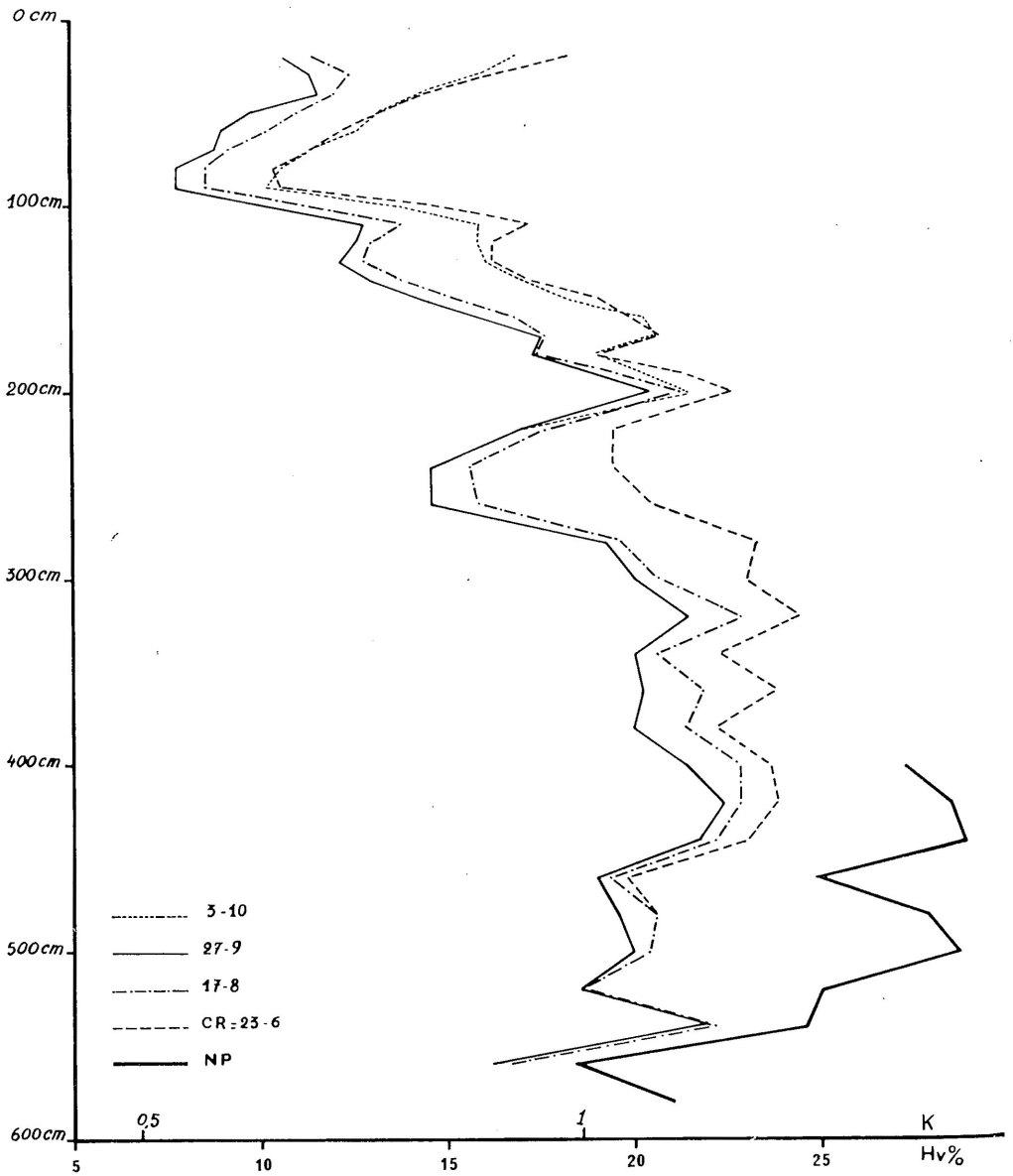


Fig. 3. — Profils hydriques du sol A en 1966

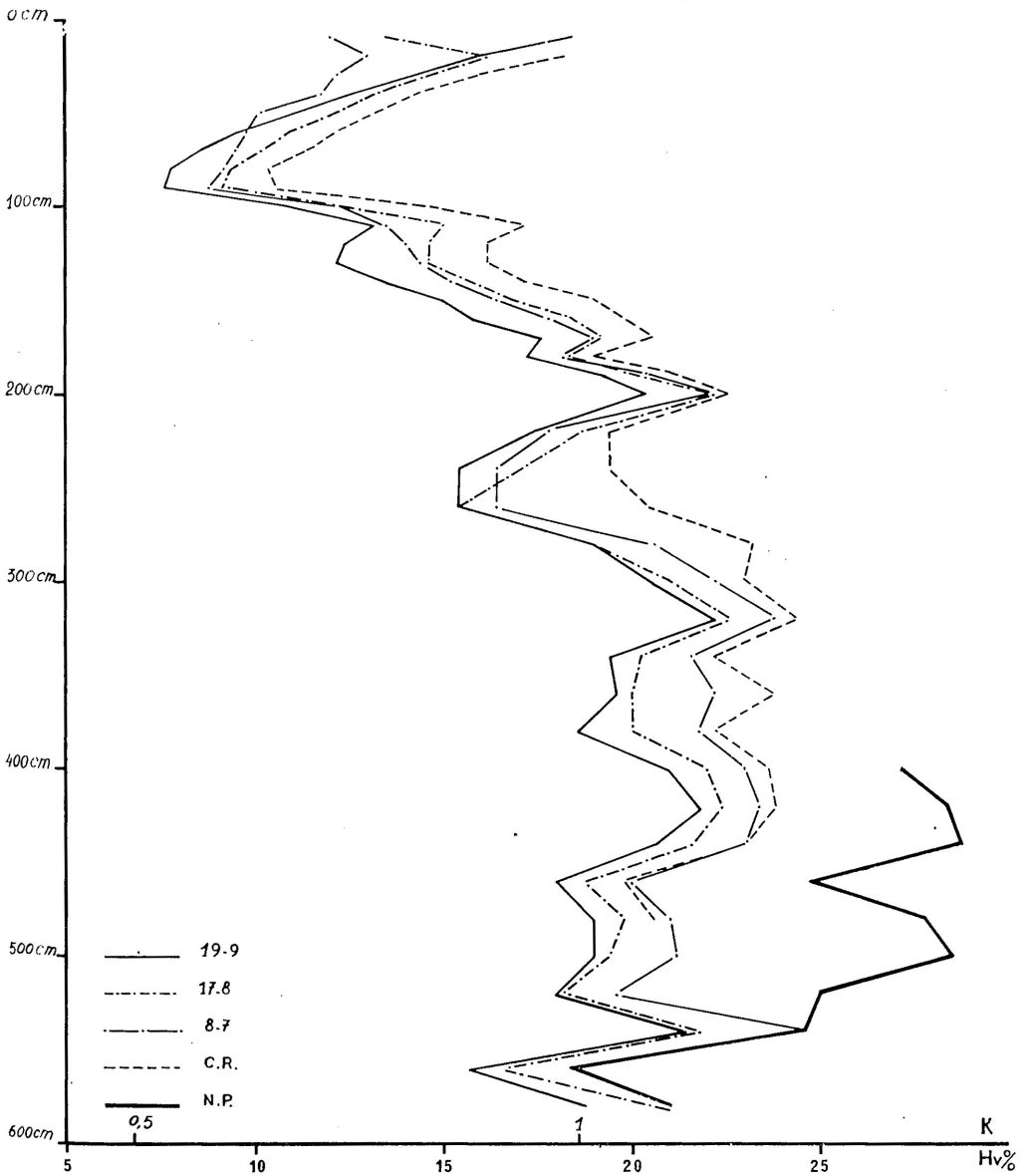


Fig. 4. — Profils hydriques du sol A en 1967

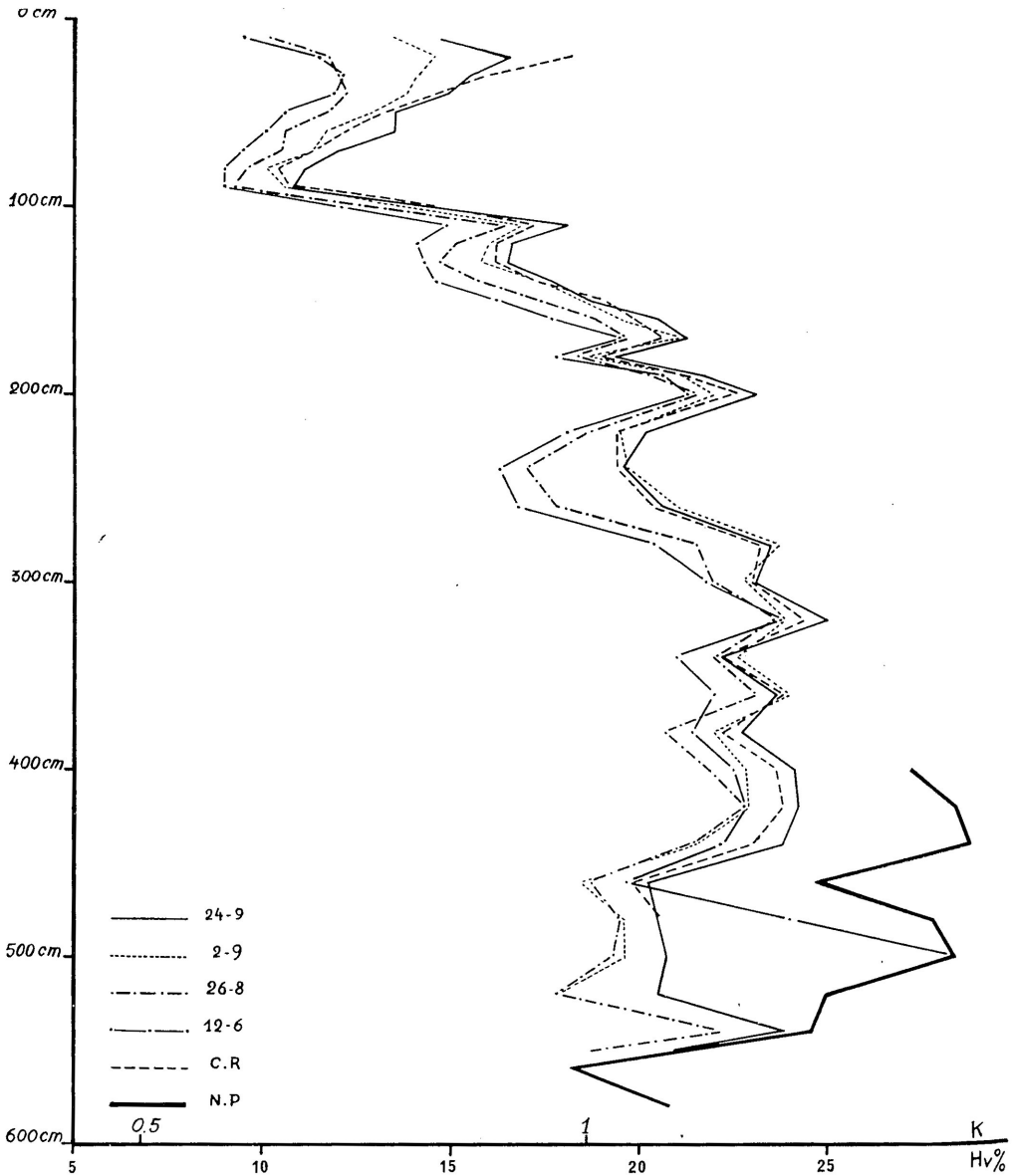


Fig. 5. — Profils hydriques du sol A en 1968

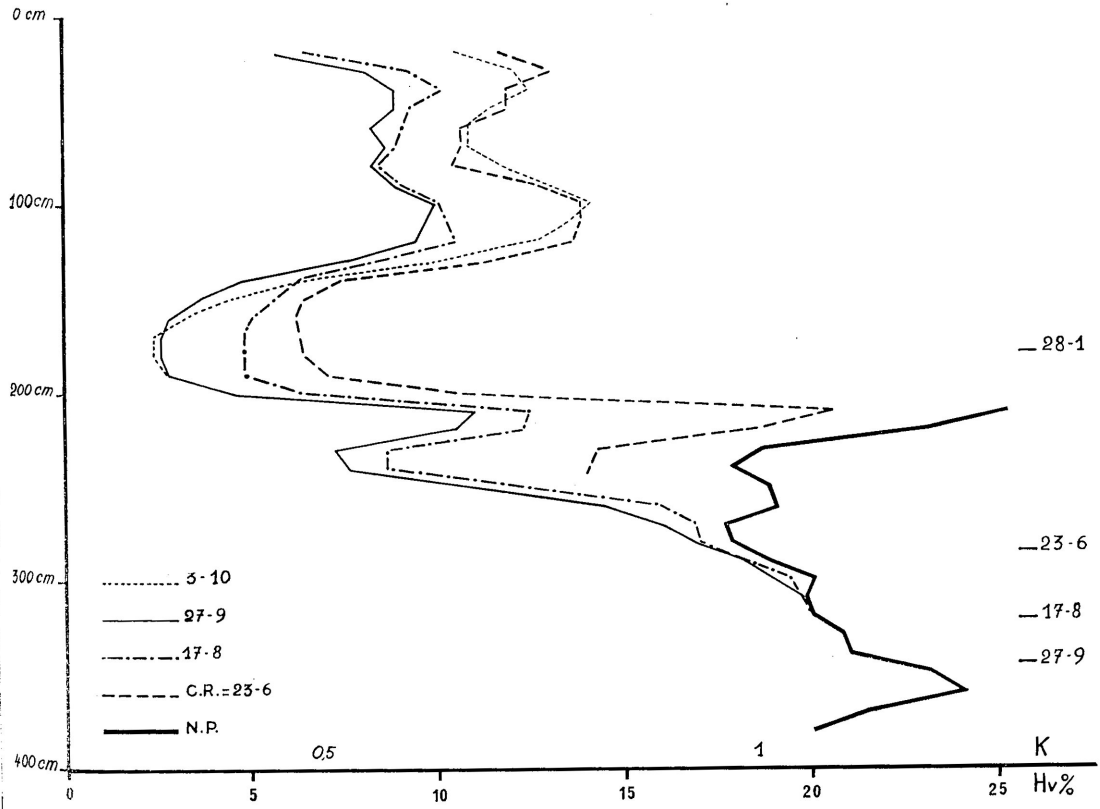


Fig. 6. — Profils hydriques du sol B en 1966

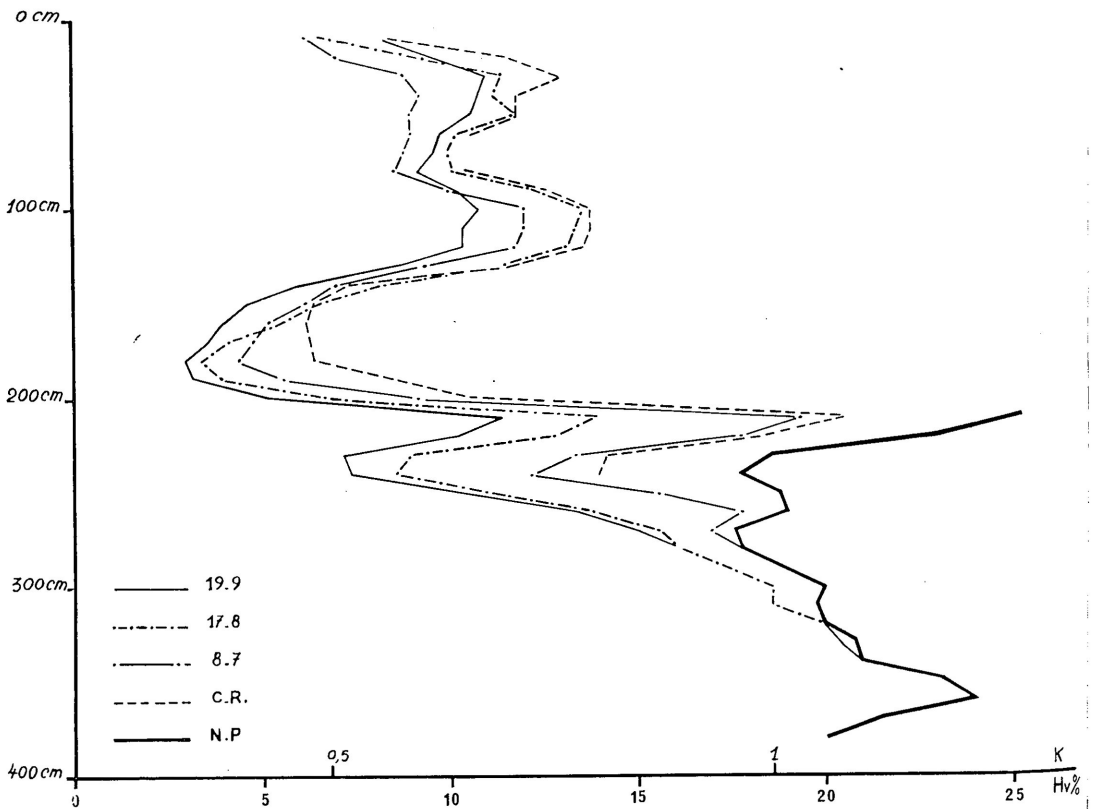


Fig. 7. — Profils hydriques du sol B en 1967

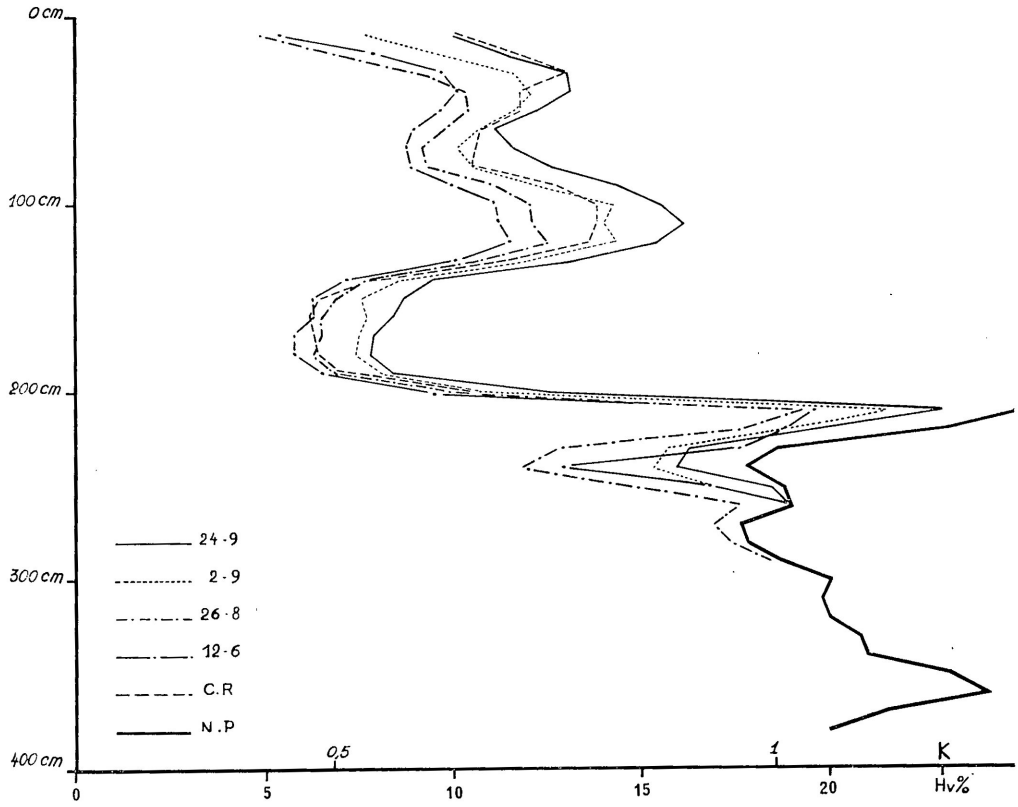


Fig. 8. — Profils hydriques du sol B en 1968

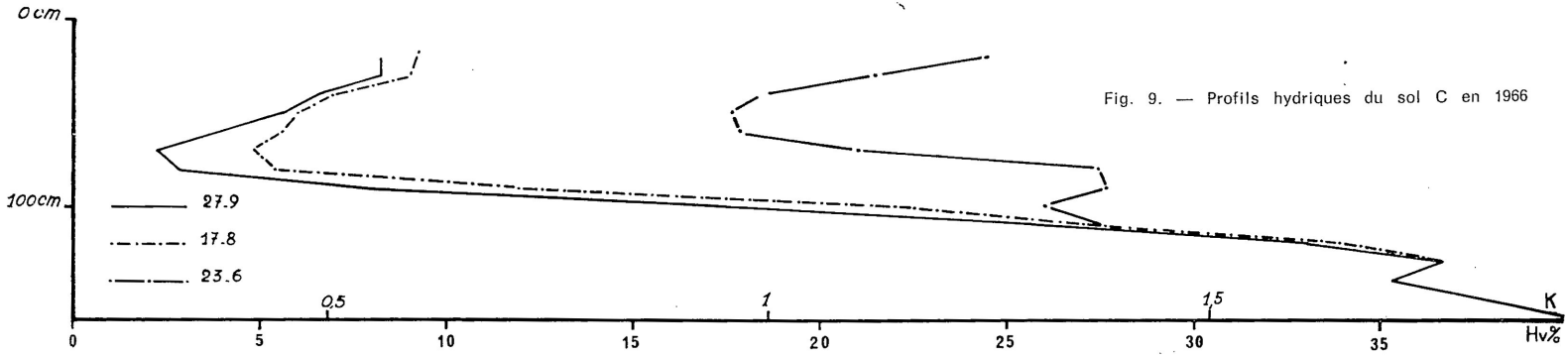


Fig. 9. — Profils hydriques du sol C en 1966

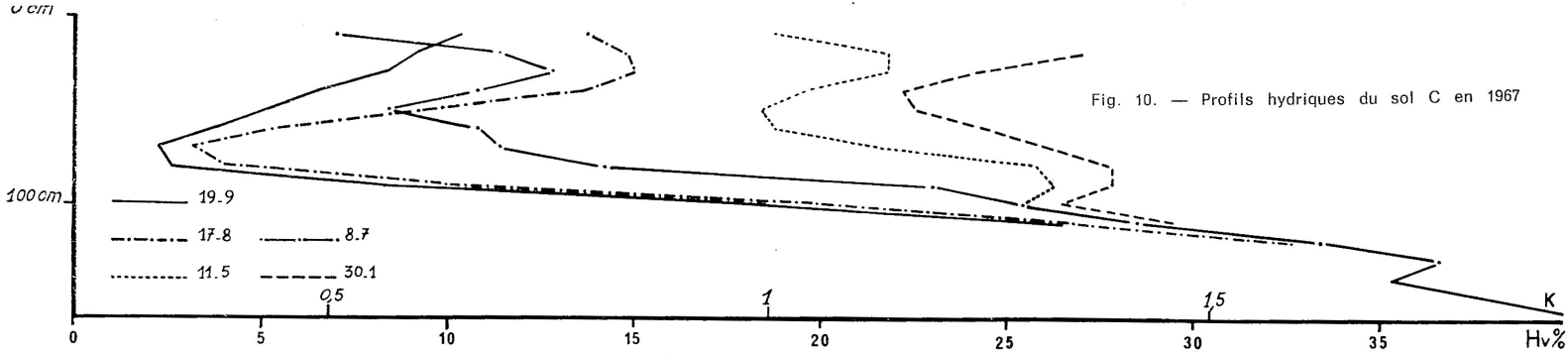


Fig. 10. — Profils hydriques du sol C en 1967

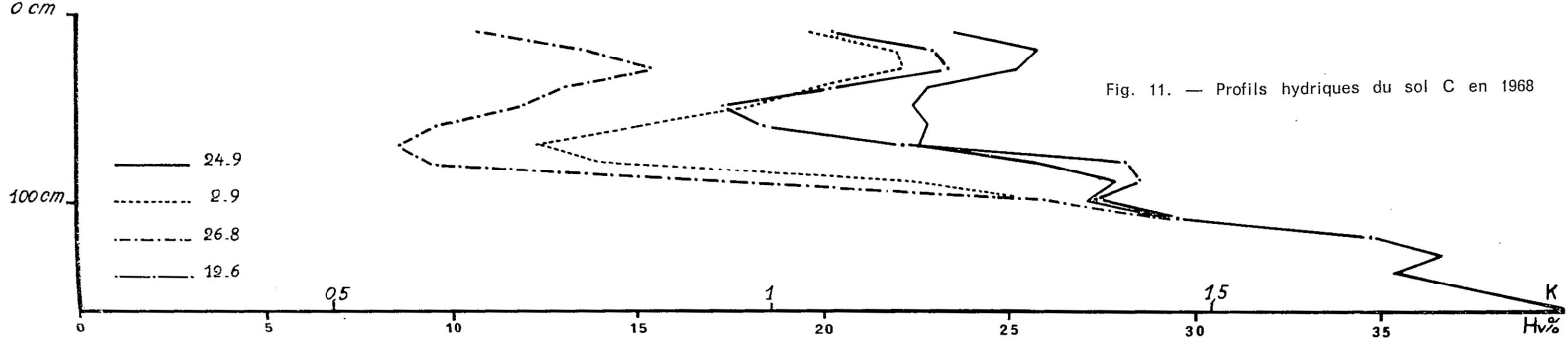


Fig. 11. — Profils hydriques du sol C en 1968

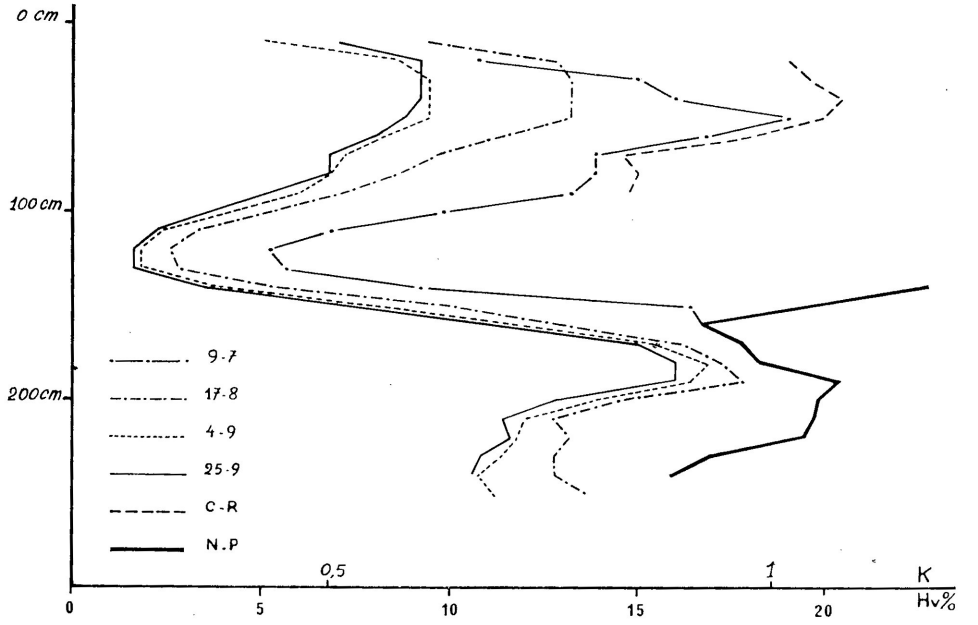


Fig. 12. — Profils hydriques du sol D en 1967

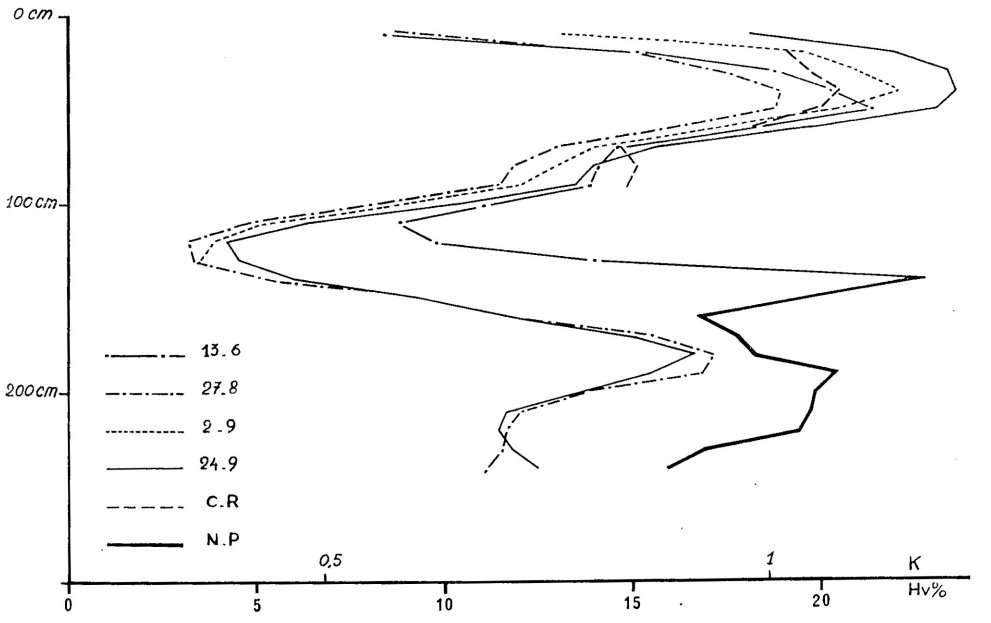


Fig. 13. — Profils hydriques du sol D en 1968

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) 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).

(2) MAERTENS C., MORIZET J., STUDER R., 1965. Modalités d'utilisation en agronomie d'un humidimètre à ralentissement de neutrons. **Ann. Agron., 16** (1) (5-23).

(3) MOUTONNET P., BUSCARLET L., 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 p.).

(4) FABRE A., 1939. **Les terrains de revêtement du Médoc** (346 p.). Imprimerie Drouillard, Bordeaux.

(5) DELAS J., DELMAS J., RIVES M. et BAUDEL C., 1959. Toxicité du cuivre dans les sols viticoles du Sud-Ouest atlantique. **C. R. Acad. Agri.** (651-655).

(6) STRASMAN A., QUIDET P. et BLANCHET R., 1958. Dynamique du potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes. **Ann. Agron. V** (635-658).

(7) BRANAS J., BERNON G. et LEVADOUX L., 1946. **Eléments de viticulture générale** (400 p.). Ecole Nationale d'Agriculture, Montpellier.

(8) SEGUIN G., 1968. Les discontinuités texturales dans les sols du vignoble bordelais. **Connaissance de la Vigne et du Vin. 2** (127-134).

(9) MOREAU L., VINET E., 1932. Rôle des matières de réserve de la vigne dans la mise à fruits des cépages et dans la véraison des raisins. **Ann. Agron.** (363-374).

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

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

(12) SEGUIN G. et COMPAGNON J. Résultats non publiés.

(13) ENJALBERT H., 1960. **Les pays aquitains** (618 p.) tome I **(Le modelé et les sols).** Imprimerie Bière, Bordeaux.

(14) DION R., 1959. **Histoire de la vigne et du vin en France, des origines au XIX^e siècle** (771 p.). Imprimerie Sévin et Cie, Paris.

(15) ENJALBERT H., 1954. **Comment naissent les grands crus : Bordeaux, Porto, Cognac.** (32 p.). A. Colin, Paris.

(16) PETIT-LAFITTE A., 1868. **La vigne dans le bordelais** (692 p.). J. Rothschild, Paris.

(17) SEGUIN G., 1965. Etude de quelques profils de sols du vignoble bordelais (107 p.). **Thèse de Doctorat de 3^e cycle,** Bordeaux.