

Quelques aspects de l'influence du milieu édaphique sur l'enracinement de la vigne, conséquences sur la qualité du vin

R. MORLAT *, A. PUISSANT † **, C. ASSELIN **, H. LEON **, M. REMOUE ***

avec la collaboration technique de

J. ROBICHET, R. CHAMPENOIS et G. VENIN

SOMMAIRE

La vigne trouve dans les vignobles de la Moyenne Vallée de la Loire des conditions de développement variables selon les milieux rencontrés. L'enracinement est confronté à des « ambiances » physico-chimiques très diversifiées qui peuvent agir fortement sur la croissance de la vigne, sa production et suivant l'état physiologique de la plante résultant des conditions trophiques, la qualité du moût et du vin. Dans la mesure où l'enracinement est le principal siège de transfert entre le milieu édaphique et la vigne, il nous a semblé intéressant, à l'aide de quelques cas précis, de rechercher les modifications éventuelles subies par le système racinaire confronté à une large gamme de variation des propriétés physico-chimiques du sol et sous-sol et d'étudier les répercussions possibles sur quelques paramètres phytotechniques, physiologiques et sur le type de vin.

I. — MATERIEL ET METHODES

1.1. ACQUISITION DES DONNEES SUR LE SYSTEME RACINAIRE DE LA VIGNE

Les méthodes sont nombreuses mais, suivant l'objectif et les contingences des études, nous avons choisi deux types de techniques.

- Méthode qualitative non destructive de l'enracinement par l'observation sur des parois verticales de fosses. Le système racinaire est retranscrit sur des schémas le plus fidèlement possible.

* Station d'Agronomie, I.N.R.A., route de Saint-Clément, Beaucouzé, 49000 Angers.

** Station d'Œnologie, I.N.R.A., route de Saint-Clément, Beaucouzé, 49000 Angers.

*** Domaine expérimental viticole, 49260 Montreuil-Bellay.

• Méthode quantitative destructive pondérale. Les racines sont extraites du sol selon les horizons pédologiques (fig. 1) et sont séparées par classes de diamètres, puis pesées après séchage à l'étuve à 105°C. Le volume souterrain exploré correspond à la surface moyenne disponible par cep selon la densité de plantation. Chaque fosse est positionnée par rapport à un cep dont les mensurations (circonférence greffon et porte-greffe) se situent au voisinage de la moyenne d'une population de 100 souches mesurées. L'étude ayant pour objet la caractérisation de l'enracinement moyen du peuplement, l'ensemble des racines (appartenant au cep et étrangères) est retenu.

L'expression des résultats est faite à volume constant d'horizon (données isovolumiques). Les vignes de Cabernet franc étudiées étaient adultes (quinze à vingt ans), mais le porte-greffe pouvait varier (3309 C, Téléki 5 BB). L'importance du travail ne nous permettait pas d'assurer plus d'une répétition.

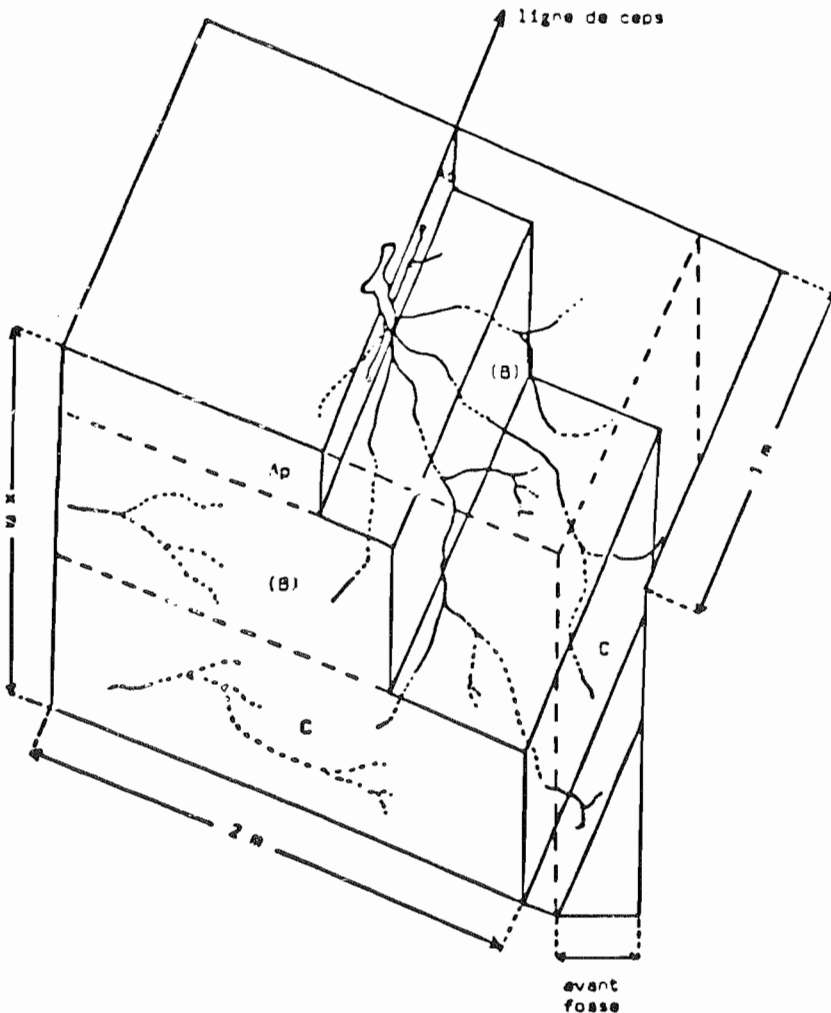
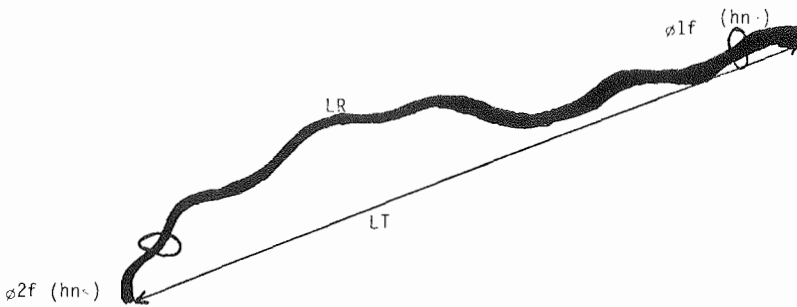
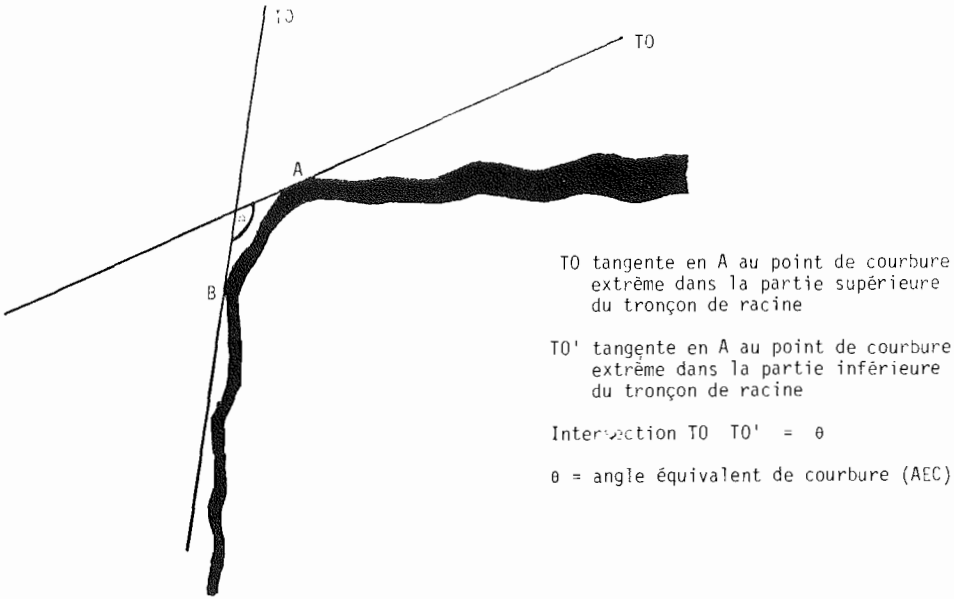


FIGURE I. — Méthode de prélèvement
Diagram showing the sampling technic of root system

Pour mieux comprendre l'influence du milieu sur l'enracinement, certains paramètres morphologiques ont été définis et mesurés sur les racines de diamètre supérieur à 2 mm (fig. II) :

- la longueur théorique d'un tronçon de racine (LT) qui correspond au trajet rectiligne qui serait effectué par une racine se développant dans un milieu à contraintes nulles ;



LT longueur théorique d'un tronçon de racine
 LR longueur réelle mesurée au curvimètre

$$\frac{\phi 1f (hn-)}{\phi 2f (hn<)} = \Delta \phi$$

FIGURE II. — Schémas montrant les principes de détermination des différents paramètres de morphologie racinaire étudiés

Principles of root morphology index measures

- la longueur réelle mesurée (LR), à l'aide d'un curvimètre ;
- l'angle équivalent de courbure (AEC) mesuré selon la méthode représentée par la figure 2 ;
- le diamètre et sa décroissance entre la partie supérieure et la partie inférieure d'un tronçon de racine (\emptyset et $\Delta \emptyset$).

1.2. PARAMETRES MESURES SUR LE SOL ET LE SOUS-SOL

Pour chaque profil étudié, des prélèvements dans chaque horizon sont effectués et servent aux déterminations analytiques classiques :

- analyse mécanique, analyse granulométrique, paramètres chimiques (matière organique, azote kjeldhal, pH, capacité d'échange cationique, cations échangeables, etc.), paramètres de la structure (stabilité structurale, coefficient de perméabilité,

TABLEAU 1. — Résultats des mesures de résistance à la pénétration
Data of mechanical resistance for different kinds of viticultural soils

Types de sol	Horizons	résistance à la pénétration en bars	humidité du sol en % de la terre séchée à 105°C au moment de la mesure	Humidité à la capacité de rétention %
Sol limono-sablo-carbonaté sur craie du Turonien moyen (Pararendzine à sol brun calcaire peu argilisé)	Ap (0-15cm)	6 ± 1,1 ^x	21,5	21,6
	(B)(15-35cm)	5 ± 0,6	19,2	18,9
	B/C(35-65cm)	7 ± 1,0	20,2	22,8
	C(> 75cm)	16,6 ± 0,7	18,9	19,3
Sol sableux calcique à rubéfaction nette sur sables calcaires du Turonien supérieur. (sol brun calcique)	Ap1 (0-20cm)	3 ± 0,5	9,3	7,6
	Ap2 520-40cm)	3 ± 0,5	10,8	9,5
	(B)(40-60cm)	4 ± 0,4	7,9	6,2
	R(> 60cm)	> 30	7,3	-
Sol sableux acide parfois resaturé sur sable à sable argileux parfois sur faciès gréseux (sol brun acide) du Sénonien.	Ap (0-25cm)	5 ± 0,8	4,0	4,7
	B (25-45cm)	4,5 ± 0,5	5,5	3,0
	C (45-55cm)	4 ± 0,5	6,0	2,5
	IIC (55-150)	15 ± 1,0	10,0	14,3
Sol sableux à sablo-argileux saturé à peu acide sur sable argileux (sol brun faiblement lessivé sur IIBt d'ancien sol lessivé) du Sénonien	Ap1 (0-15cm)	4 ± 0,5	10,3	9,8
	Ap2 (15-40cm)	9,5 ± 1,1	8,5	9,0
	B (40-75cm)	12,5 ± 2,4	13,9	14,4
	IIBt(75-110cm)	18 ± 1,4	24,2	23,3
Sol limono-caillouteux riche en matière organique sur argile limoneuse à hydromorphie de profondeur. (Sol brun lessivé à lessivé à hydromorphie de profondeur sur limons à silex du Sénonien).	Ap (0-15cm)	5 ± 1,0	37,6	35,6
	A12 (15-45cm)	7 ± 1,9	41,2	35,8
	Btg1 (45-60cm)	12 ± 0,7	43,2	53,3
	Btg2 (60-90cm)	11 ± 0,8	42,0	47,3
	Cg (> 90cm)	24 ± 1,8	50,3	51,4
Sol sablo-limoneux battant et hydromorphe à forte différenciation texturale sur argiles compactes. (Sol lessivé hydro-morphe complexe à pseudogley en voie de dégradation sur argiles de l'Eocène).	Ap (0-10cm)	4,5 ± 0,4	18,7	10,9
	A2g+IIBtg(10-35cm)	7,5 ± 1,3	18,5	19,7
	IIBtg (35-70cm)	15 ± 1,9	24,3	25,6
	IICg (> 70cm)	21,2 ± 1,5	20,6	19,6

x intervalle de confiance de la moyenne à 95%

densité apparente déterminée au densitomètre à membrane, densité réelle), paramètres hydriques (capacité de rétention pour l'eau, humidité du sol, humidité au point de flétrissement permanent) ;

- pour caractériser l'état de compaction du sol et du sous-sol, des mesures de résistance mécanique à la pénétration (pénétromètre LABOTEST) ont été réalisées à raison de vingt répétitions par horizon. Ces travaux ont été effectués au début du printemps, lorsque la teneur en eau des différents sols était légèrement inférieure à la capacité au champ (Tableau 1).

II. — DEFINITION DE QUELQUES MILIEUX TYPIQUES DES VIGNOBLES ROUGES DE LA MOYENNE VALLEE DE LA LOIRE

Dans cette région où le climat est doux et sec (600 mm/an) avec une arrière-saison en moyenne favorable à la maturation du raisin, le vignoble rouge (Saumur, Chinon, Bourgueil) est établi sur trois grands étages géologiques qui sont :

- le Turonien ;
- le Sénonien ;
- le Tertiaire.

Ceux-ci sont constitués de sous-étages eux-mêmes présentant des faciès pétrographiques très variés. Nous ne retiendrons que quelques-uns d'entre-eux, parce qu'ils correspondent à des surfaces viticoles importantes ou qu'ils constituent des milieux extrêmes de croissance et d'expression de la vigne.

A. LA CRAIE GLAUCONIEUSE ET MICACÉE DU TURONIEN MOYEN

Les études antérieures (MORLAT, 1975 ; DUPONT, 1978 ; MORLAT, 1978 a, 1978 b ; DUPONT et MORLAT, 1980) ont permis de distinguer trois grands types de sols, développés sur cette roche et qui correspondent chacun à un stade d'altération de la craie :

- sol jeune sur pentes faibles à moyennes, très calcaire à texture sableuse à sablo-limoneuse, riche en glauconie saine et à profil très peu différencié (Pararendzine intergrade sol brun calcaire à faible altération) ;
- sol à profil différencié avec horizon d'altération argilo-sableux à très bonne structure et décarbonatation avancée, se rencontrant sur les pentes faibles. La profondeur peut atteindre 50 à 60 cm (sol brun calcaire à calcique) ;
- sol à profil très différencié, avec décarbonatation totale de la matrice. L'horizon d'altération devient très argileux (35 à 40 % d'argile) à la suite de la transformation des minéraux glauconieux. Il prend une teinte verdâtre caractéristique. Le profil présente une différenciation texturale très nette entre les horizons supérieurs sablo-limono-argileux et les horizons inférieurs argileux. La profondeur du sol peut atteindre 1 m à 1,50 m. La capacité d'échange cationique et les réserves hydriques augmentent considérablement. Il s'agit de sols bruns calciques à eutrophes à caractère planosolique.

B. LES SABLES CALCAIRES DU TURONIEN SUPERIEUR

Ils prennent l'aspect d'un falun à texture grossière (sables grossiers) et portent des sols à texture très sableuse (80 à 90 % de sable en moyenne). La décarbonatation entraîne une relative concentration en oxydes de fer qui donne à ces terrains une teinte rougeâtre accentuée. Les sols viticoles qui se rencontrent surtout sur des pentes faibles ou des plateaux présentent une profondeur qui varie entre 80 cm et 1 m

et reposent sur un sable calcaire très consolidé (grès calcaire). Ils sont en général pauvres en matière organique, peu fertiles et très secs.

C. LES FORMATIONS NON CALCAIRES DU SENONIEN

Elles occupent le sommet des buttes, des pentes faibles et des plateaux dans les vignobles de Chinon et Saumur. Deux grands types de faciès pétrographiques peuvent être distingués :

1. **Le faciès à dominante limoneuse** : Bien développé dans la région de Chinon et plus particulièrement en Touraine (Azay-le-Rideau, Vouvray, Amboise, Montrichard), il se présente sous la forme d'un limon argilo-caillouteux légèrement acide, souvent riche en magnésium, dont la majeure partie du stock argileux est constituée par des minéraux gonflants (smectites). Les sols qui se développent dans ce matériau sont constitués par des horizons supérieurs limono-sablo-argileux très caillouteux (40 à 50 % de cailloux et graviers siliceux) qui passent progressivement à une argile dans l'horizon sous-jacent, voire à une argile lourde en profondeur (40 à 50 % d'argile). Le sol possède en général une bonne teneur en matière organique (2 à 3 %) qui lui confère une teinte foncée. La différenciation texturale entre les horizons supérieurs et profonds est plus ou moins accentuée. Une légère acidification se produit en surface ($\text{pH} \approx 6,0$) et est consécutive à un lessivage modéré des cations et des colloïdes minéraux (sols bruns lessivés à lessivés à hydromorphie de profondeur). Enfin, ces terrains présentent une bonne stabilité structurale grâce à leur teneur en matière organique et à un fort pourcentage d'argiles gonflantes et une réserve utile en eau moyenne à forte.

2. **Le faciès à dominante sableuse à sablo-argileuse**. Il s'agit d'une formation riche en sable de granulométrie grossière qui présente des variabilités spatiales à l'échelle parcellaire avec des passages au sable argileux.

Lorsque le sol est très sableux, son pH peut s'abaisser jusqu'à 5,5 en surface avec une réserve en cations et matière organique faible. La texture grossière favorise un lessivage important des éléments fertilisants et est responsable de réserves hydriques peu élevées. De nombreuses carences minérales s'observent sur les vignes plantées dans ces terrains (sol brun mésotrophe à acide). Si le sol est sablo-argileux en profondeur, la réserve en cations (en particulier le calcium) est plus forte, le pH voisin de la neutralité et les horizons supérieurs, bien qu'ayant subi un léger lessivage des colloïdes minéraux, contiennent au moins 10 % d'argile et de limons (sols bruns faiblement lessivés). Les réserves hydriques sont plus importantes et l'alimentation minérale de la vigne est correcte dans l'ensemble, sauf parfois pour la magnésie.

D. LES ARGILES DE L'EOCENE CONTINENTAL

Elles se situent soit en position de plateaux dont l'altitude est comprise entre 90 et 110 m, soit aux sommets de nombreuses buttes viticoles. Ces argiles sableuses, originellement acides, sont souvent surmontées par un matériau d'apport constitué de sable-limoneux riche en cailloux et graviers de grès et poudingues. La différenciation texturale entre ces deux matériaux est très nette, brutale, et entraîne, en période pluvieuse, l'établissement d'une nappe perchée temporaire dans les horizons de surface. L'hydromorphie est favorisée par le colmatage progressif des horizons profonds sous-jacents qui, par processus d'accumulation d'argile, présentent un compactage important. L'hydromorphie, associée à des mécanismes de dégradation et de lessivage secondaire d'argile, détermine des zones de couleur rouille appauvries en argile, riches en oxyde de fer, aérées mais très cimentées et désertées par les racines ; ainsi que des zones de couleur grise très argileuses abondamment exploitées par un fin chevelu racinaire. Les sables limoneux de surface sont acides, très mal structurés et contiennent un type de matière organique qui, sous végétation naturelle, s'humifie et minéralise mal. Ces sols (sols lessivés hydromorphes à pseudo-gley en voie de dégradation) ont une valeur agronomique faible et posent de nombreux problèmes d'alimentation minérale en viticulture.

III.— LES GRANDS TYPES D'ENRACINEMENT DANS LES VIGNOBLES ROUGES DE LA MOYENNE VALLEE DE LA LOIRE

A. DEVELOPPEMENT ET DIVISION DU SYSTEME RACINAIRE

L'exploitation volumique du sol par l'enracinement peut se traduire par des courbes cumulatives des pourcentages pondéraux de chaque classe de diamètre des racines et par l'indice de division racinaire, IDR (DUPONT et MORLAT, 1980) suivant :

$$\text{IDR} = \frac{\Sigma [R (1 - 2 \text{ mm}) + R (2 - 5 \text{ mm})]}{\Sigma [R (5 - 10 \text{ mm}) + R (> 10 \text{ mm})]}$$

Les racines de faible diamètre sont nombreuses et l'indice de division racinaire est élevé, $2,33 < \text{IDR} < 3,48$ (tableau 2, fig. 3), dans les sols limono-argileux calcaires du Turonien moyen. Sur sables calcaires du Turonien supérieur, l'enracinement est surtout constitué par des racines de gros et moyen diamètres, ce qui entraîne un indice de division racinaire faible ($\text{IDR} = 0,59$). Par conséquent, l'exploitation radriculaire du sol par unité volumique y est nettement moins bonne que dans les sols sur craie.

TABLEAU 2. — Variations de l'Indice de Division Racinaire dans quelques milieux édaphiques de la Moyenne Vallée de la Loire

Root ramification Index variations in few geopedological sequences of Middle Valley of Loire

Milieux édaphiques	IDR (calculé pour l'ensemble du profil pédologique étudié)
Sol brun calcaire anthropique sur craie du Turonien moyen	3,48
Sol brun calcaire épais à Bca sur craie du Turonien moyen	2,33
Sol brun calcique sur sables calcaires du Turonien supérieur	0,49
Sol brun acide sableux sur sable argileux du Sénonien	0,29
Sol lessivé à hydromorphie de profondeur sur Sénonien (limons à silex)	1,27
Sol lessivé dégradé à pseudogley sur argiles tertiaires	0,43

$$\text{IDR} = \frac{\Sigma [R (1-2 \text{ mm}) + R (2-5 \text{ mm})]}{\Sigma [R (5-10 \text{ mm}) + R (> 10 \text{ mm})]}$$

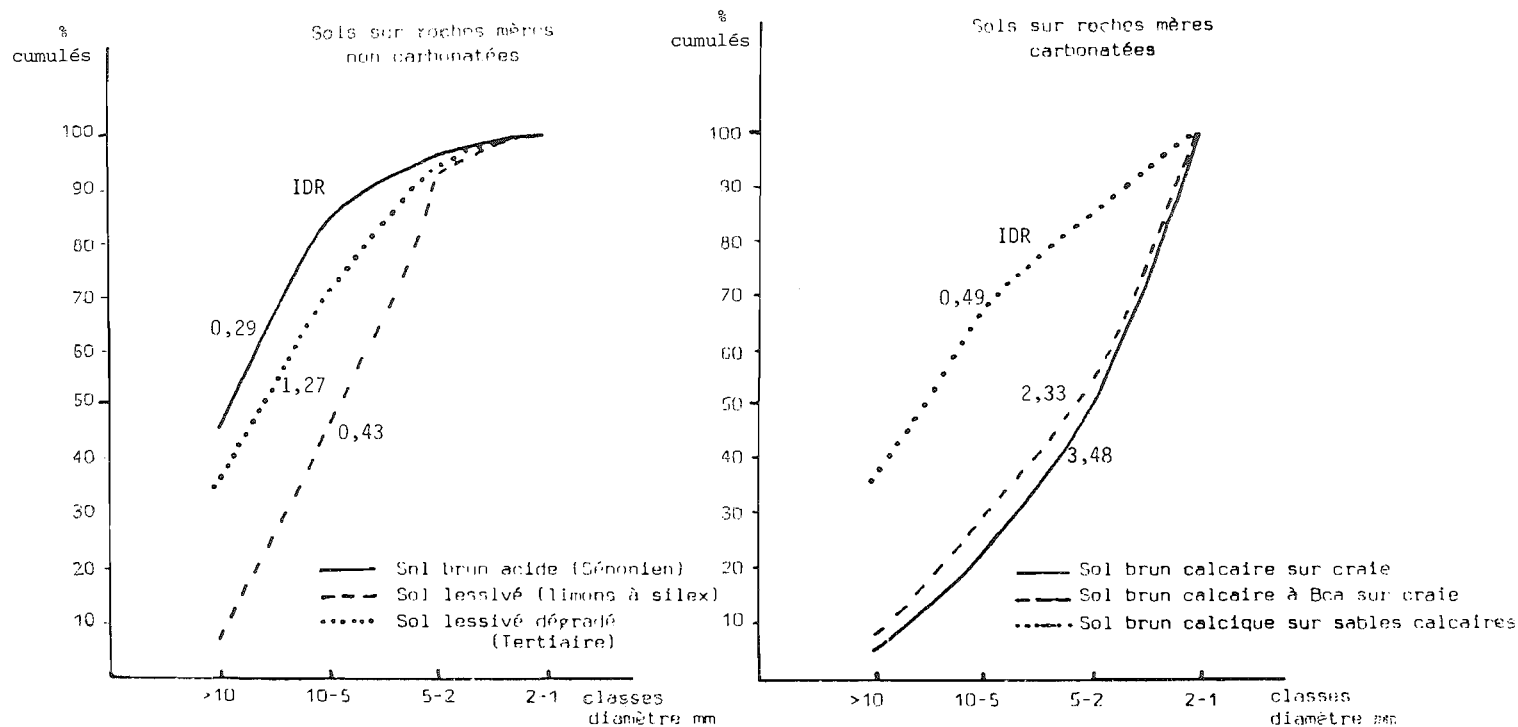


FIGURE III. — Courbes cumulatives par profil pédologique concernant les classes de diamètre de racines (données isovolumiques)

Cumulative curves of roots classes diameter in different pedological conditions (isovolumetric data)

Dans les faciès limoneux du Sénonien, l'enracinement est relativement divisé (IDR = 1,27) et bien réparti, alors qu'au contraire il est très mal développé et très peu ramifié dans les faciès sableux (IDR = 0,29). Enfin, dans les profils à forte différenciation texturale, sur les argiles de l'Eocène continental, le système racinaire exploite mal le sol car il est peu divisé (IDR = 0,43).

Ces résultats indiquent que l'intensité avec laquelle l'enracinement de la vigne colonise le sol, varie largement selon le type de profil pédologique et le matériau géologique de départ. Il semble que des facteurs limitants différents (réserves hydriques faibles, différenciation texturale, hydromorphie, résistance à la pénétration) jouent le même rôle néfaste sur la ramification du système racinaire.

B. LA MORPHOLOGIE DES RACINES

- Le rapport longueur réelle/longueur théorique d'un tronçon de racine (fig. IV b) traduit, dans certaines conditions, l'influence négative que peut exercer le milieu édaphique sur la pénétration en profondeur de l'enracinement. Ce rapport est toujours inférieur à 1,3 dans les profils limono-argileux des sols bruns calcaires sur craie du Turonien moyen et il varie peu selon les horizons. Cela traduit une relative « isotropie » du milieu, favorable au développement d'un système racinaire avec un minimum de contraintes. Le rapport LR/LT augmente sensiblement dans les sables rubéfiés très pauvres (sols bruns calcaies) qui surmontent les sables calcaires cimentés du Turonien supérieur car il y a un blocage des racines par la roche consolidée sous-jacente.

Il atteint 1,5 dans les horizons argilo-sableux (IIBtg) profonds des sols développés sur le faciès sablo-argileux du Sénonien. Cette augmentation est due à la différenciation texturale entre les horizons très sableux de surface et les argiles sableuses. En sols sur limons à silex, le rapport LR/LT subit une augmentation (1,5) dans l'horizon limono-argileux caillouteux A12 situé au-dessus de l'argile limoneuse. Dans les argiles de l'Eocène continental, le rapport LR/LT est élevé sur l'ensemble du profil et voisin de 1,5. Il traduit parfaitement les mauvaises caractéristiques physiques de ces sols.

- L'angle équivalent de courbure (AEC) (fig. IV c) met en évidence l'effet négatif de la différenciation texturale entre horizons de surface et de profondeur qui existe dans beaucoup de sols. Il enregistre une diminution importante dans le second horizon de la majorité des profils, sauf pour les sols limono-argileux calcaires sur craie du Turonien moyen où il varie peu en fonction de la profondeur (130 à 140°) et traduit la faible résistance à la pénétration de ces milieux. L'effet des sables calcaires consolidés est net puisque AEC passe de 150° en surface à environ 90° dans l'horizon (B). Les racines deviennent horizontales au contact de la roche.

Dans les sols non calcaires, les variations de l'angle équivalent de courbure sont importantes. Il y a une diminution très forte de AEC dans les horizons profonds argilo-caillouteux des sols développés sur les argiles de l'Eocène continental. En sols sur limons à silex, AEC enregistre une décroissance nette (105°) dans les horizons lessivés et caillouteux qui surmontent les argiles sous-jacentes. Les mêmes constatations s'appliquent aux sols sur faciès sablo-argileux du Sénonien. Ce paramètre morphologique des racines intègre bien le critère différenciation texturale entre horizons.

- La décroissance du diamètre moyen $\Delta \varnothing$ d'un tronçon de racine (fig. IV a) traduit les contraintes physiques et mécaniques du milieu édaphique auxquelles sont confrontées les racines « charpentières ». En sol limono-argileux calcaire sur craie, $\Delta \varnothing$ varie peu le long du profil et présente des valeurs faibles (1,1 à 1,2). Par contre, dans les sols sur sables rubéfiés calcaies du Turonien supérieur, le critère $\Delta \varnothing$ est élevé et atteint des valeurs supérieures à 2 au contact de la roche calcaire consolidée.

En sols sur limons à silex, $\Delta \varnothing$ est faible (< 1,5) et reste à peu près constant sur tout le profil. Il peut traduire un enracinement puissant et développé très profondément. Au contraire, dans les sols à horizons sableux sur argiles sableuses (sol brun faiblement lessivé sur IIBt) du Sénonien et les sols lessivés hydromorphes sur argiles caillouteuses de l'Eocène continental, ce rapport augmente beaucoup (1,5 à 2) dans les horizons d'accumulation, mal structurés, peu poreux et à mauvais drainage. Dans ces derniers cas, l'enracinement est mal développé en profondeur et son pouvoir d'exploration est faible.

En recherchant les corrélations statistiques entre les valeurs des différents para-

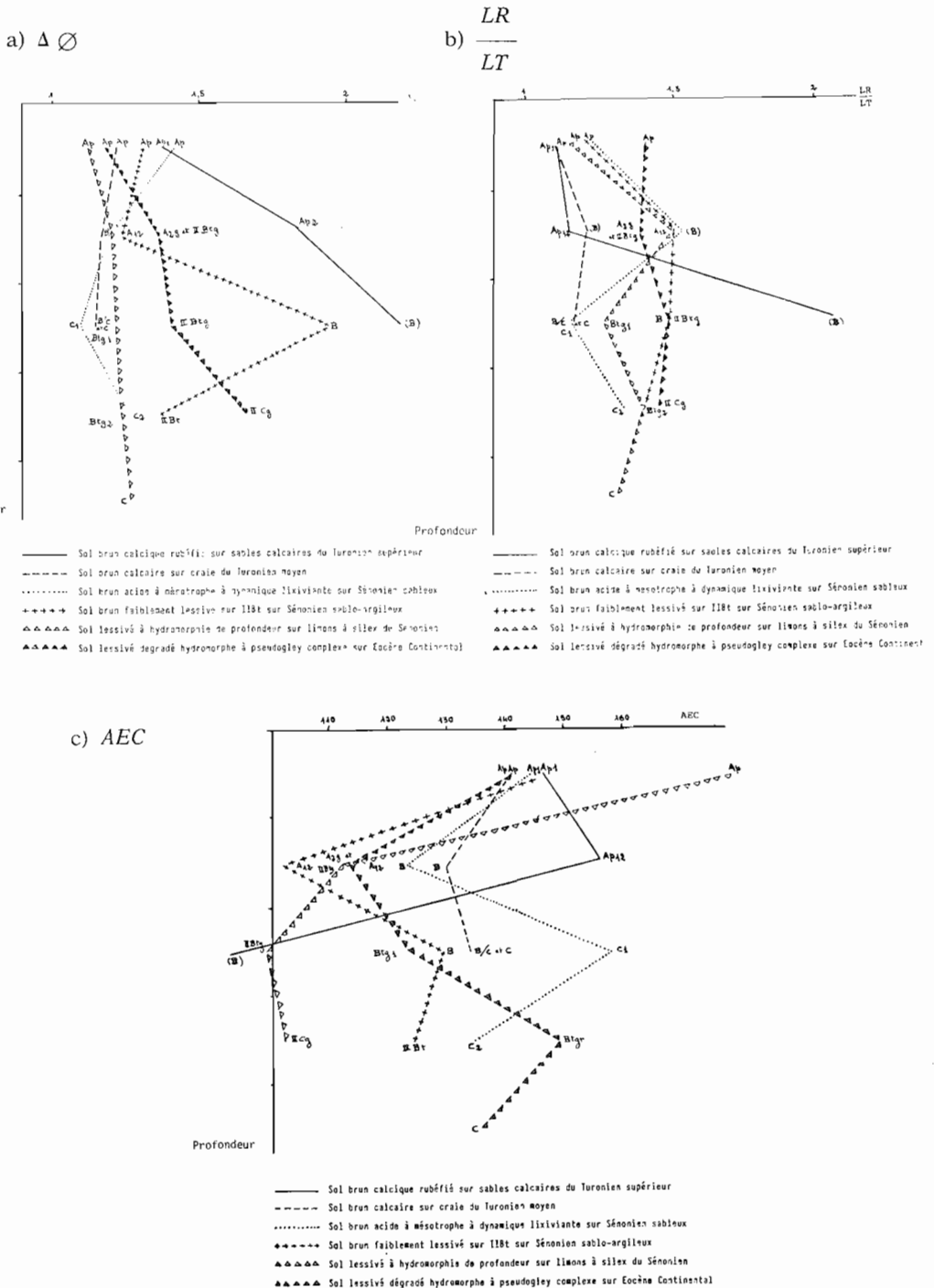


FIGURE IV. — Variations selon les horizons pédologiques des paramètres de morphologie racinaire étudiés

Variations of root morphology index

mètres morphologiques étudiés et les principales caractéristiques physiques du milieu édaphique (densité apparente, résistance mécanique à la pénétration, granulométrie, charge en cailloux), il est possible de hiérarchiser l'influence de chacune d'entre elles sur tel ou tel paramètre. Pour cela, nous avons utilisé la méthode de la covariance, avec calcul du coefficient de corrélation entre les deux variables étudiées. Un ajustement des valeurs par régression simple a été effectué.

Pour les trois critères morphologiques pris en compte (LR/LT, AEC, $\Delta \emptyset$), il y a absence de corrélation avec la teneur en argile des horizons et avec leur charge en cailloux. Ce dernier paramètre joue un rôle peu important sur le rapport LR/LT en augmentant les microsinosités de la racine. Par contre, LR/LT est bien corrélé à l'angle équivalent de courbure AEC (fig. V). Ce sont les grandes courbures racinaires qui font

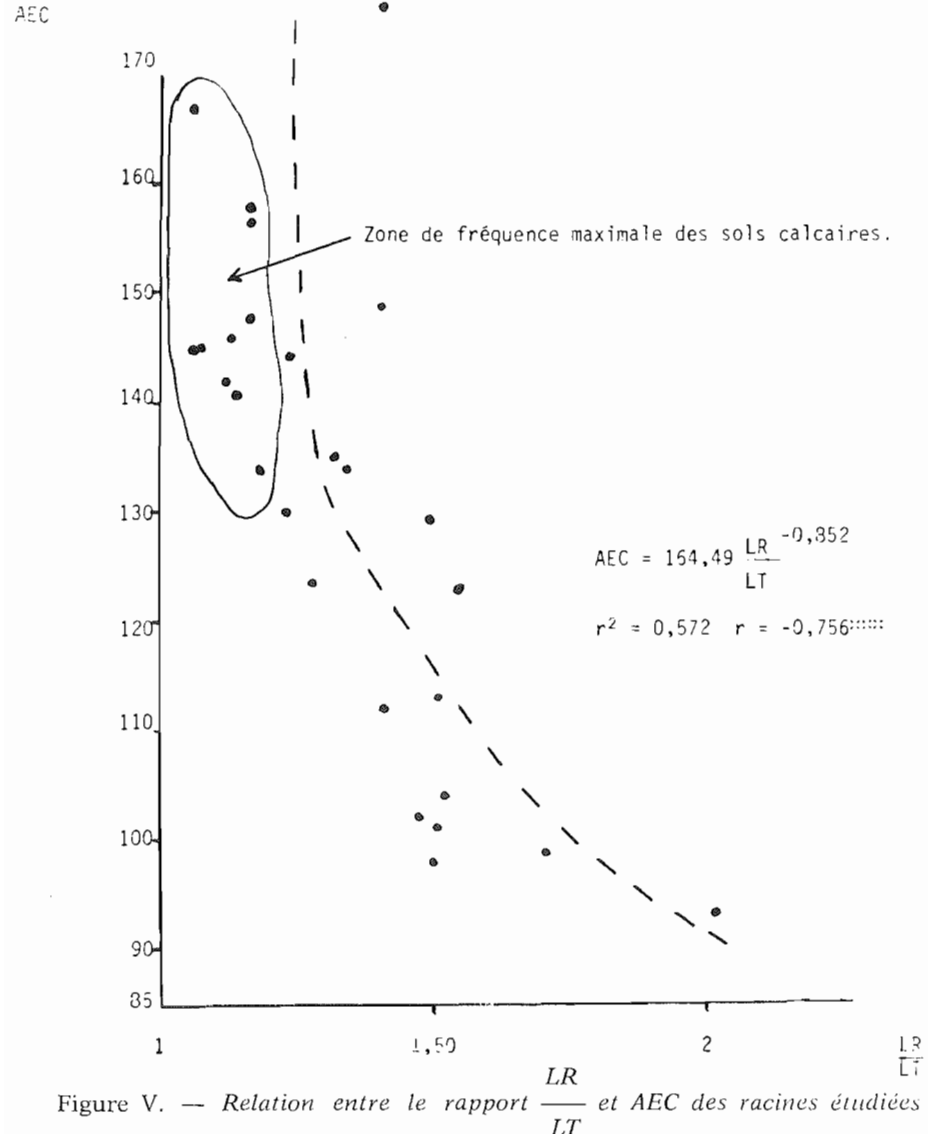


Figure V. — Relation entre le rapport $\frac{LR}{LT}$ et AEC des racines étudiées

Relationships between $\frac{LR}{LT}$ ratio and AEC for studied roots

Variable expliquée $Y = f(x)$	variable explicative x	r	% variance expliquée	Equation d'ajustement par méthode de régression simple
L R L T	résistance à la pénétration bars	0,430 *	18,9	$\frac{LR}{LT} = 1,235 + 0,369 \log RP$
	Densité apparente g / cm ³	0,705 : : : : :	49,7	$\frac{LR}{LT} = 1,207 Da^{0,367}$
A E C	Résistance à la pénétration bars	- 0,534 : : : :	28,5	$AEC = 197,68 Rp^{-0,184}$
	Densité apparente g / cm ³	- 0,904 : : : : : - 0,910 : : : : :	81,7 82,8	$AEC = -65,1 Da + 231$ (Eocène+Sénonien sableux) $AEC = -39,85 Da + 171,2$ (sols calcaires et limons)
$\Delta \emptyset$	Résistance à la pénétration bars	0,719 : : : :	51,7	$\Delta \emptyset = 0,034 Rp + 1,045$

- * significatif à 5%
: : : significatif à 1%
: : : : : significatif à 1%

TABLEAU 3. — Relations entre paramètres de morphologie racinaire et propriétés physiques du milieu

Relationships between root morphology characters and physical properties

surtout varier le rapport LR/LT. Elles se rencontrent dans les sols qui présentent des horizons à différenciation texturale très nette et qui comportent un niveau à forte résistance à la pénétration (cailloutis induré, roche consolidée, horizon argileux compact). Le rapport LR/LT est assez mal corrélé à la résistance à la pénétration du sol ($r = 0,430$) (tableau 3) avec un ajustement de type linéaire, mais l'est beaucoup mieux à la densité apparente ($r = 0,705$). Cela pourrait peut-être s'expliquer par le fait que le paramètre densité apparente intègre mieux les composantes du volume sol (macrofissures, microfissures, charge en cailloux, etc.). L'angle équivalent de courbure (AEC) est mieux corrélé à la résistance à la pénétration ($r = 0,534$) et très bien corrélé à la densité apparente ($r = -0,904$ pour les sols sableux du Sénonien et argilo-caillouteux de l'Eocène, $r = -0,910$ pour les sols sur craie et les limons à silex du Sénonien).

Le paramètre $\Delta \emptyset$ est le mieux corrélé à la résistance mécanique à la pénétration du sol ($r = 0,719$). Une augmentation de la résistance à la pénétration entraîne une augmentation de $\Delta \emptyset$ et traduit l'influence négative des horizons compactés sur le développement en profondeur des grosses racines.

Le paramètre $\Delta \emptyset$ serait un indice intéressant qui pourrait permettre de prévoir la présence d'un enracinement développé profondément.

En conclusion, la densité apparente, qui représente à la densité de solide près, la porosité du sol (micro et macroporosité) est un paramètre important qui agit sur la morphologie du système racinaire.

La différenciation texturale entre horizons et la résistance à la pénétration jouent un rôle négatif sur le développement du système racinaire de la vigne dans les sols où la pédogénèse permet la création d'horizons compactés et imperméables. L'hydro-morphie accentue d'ailleurs le phénomène.

Dans les sols sableux (sol brun calcique à rubéfaction sur Turonien supérieur, sol brun mésotrophe à acide sur Sénonien) où la teneur en argile et limons ne dépasse pas 15 % en surface, la ramification du système racinaire et son développement en profondeur sont limités. Il semblerait que la faible réserve en eau de ces milieux soit responsable d'un mauvais enracinement de la vigne.

En sols limono-argileux calcaires sur craie du Turonien moyen, l'enracinement est très divisé et l'exploitation du sol est maximale. De même, les paramètres LR/LT, AEC et $\Delta \emptyset$ présentent des valeurs proches de l'optimum et traduisent donc des contraintes physiques minimales. Les faibles valeurs de $\Delta \emptyset$ révèlent un enracinement de la vigne établi très profondément dans la craie friable. Le développement des racines dans la roche calcaire augmente la fragmentation et la porosité fissurale du matériau.

IV. — QUELQUES ASPECTS DES CONSEQUENCES DES CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME RACINAIRE SUR LA QUALITE ET LE TYPE DE VIN

Dans le cadre d'un protocole expérimental mis au point au Centre de Recherches Agronomiques I.N.R.A. d'Angers (station d'Agronomie, station de Viticulture, station d'Oenologie), un essai multifactoriel (SALETTE J. *et al.*, 1980), en place depuis 1978, a pour but d'étudier l'influence du « milieu écogéopédologique » sur les types de vins rouges du Val de Loire. Plusieurs parcelles expérimentales, situées dans les vignobles de Saumur Champigny, Chinon et Bourgueil, sont conduites avec le cépage Cabernet Franc greffé sur SO 4 âgé de huit ans, en taille Guyot simple, palissage plan (hauteur foliaire 1,10 m) et à la densité de 5.000 pieds à l'hectare.

Les vignes ayant la même orientation des rangs (N. NE. S. SW) sont entretenues par désherbage chimique intégral et la fertilisation minérale est adaptée à la richesse de chaque sol.

Milieu écogéopédologique	Vigueur Poids de bois de taille g / cep	Surface foliaire primaire m ² / cep	Résistance stomatique à la diffusion s cm ⁻¹ ^{•1}	Potentiel de sève des feuilles bars ^{•1}
Pararendzine intergrade sol brun calcaire à faible argilisation sur craie glauconieuse	504,70	1,52	2,05	- 26,5
Sol brun mésotrophe resaturé en surface sur grès et poudingues de l'éocène	416,80	1,01	4,80	- 28,5
F Snédécor	8,98**	4,82*	53,58***	1,97 (ns)

•1 Mesures faites en septembre 1980 - Période sèche

+ significatif à 5%
 ** " à 1%
 *** " à 1%

TABLEAU 4. — *Données concernant la partie aérienne de la vigne*
Characteristics of aerial vine canopy

Nous prendrons comme exemple la comparaison entre une parcelle située en sol limono-sablo-argileux carbonaté (Pararendzine intergrade sol brun calcaire peu argileux) sur craie sablo-glaucnieuse et micacée du Turonien moyen et une parcelle située en sol sablo-caillouteux dont la profondeur exploitable est limitée par des grès et poudingues altérés (sol brun eutrophe à mésotrophe à dynamique lixiviante) sur Eocène continental et qui se rapproche beaucoup des sols sableux qui se développent sur le Sénonien.

L'enracinement de la vigne entre ces deux milieux varie fortement. Sur craie du Turonien moyen, le système racinaire est très ramifié, présente une morphologie optimale et se développe profondément dans la roche friable. Au contraire, sur grès et poudingues de l'Eocène continental, l'enracinement est peu divisé, la morphologie des racines traduit des conditions de milieu moins favorables et surtout l'épaisseur exploitée est beaucoup plus faible.

La plante réagit par son système racinaire à ces conditions variables de milieu édaphique et cela entraîne des modifications sensibles sur le plan phytotechnique et physiologique, qui se traduisent, au moins certaines années climatiques (avec période sèche, 1978, 1980), par des changements significatifs dans la constitution et le type du vin.

Bien sûr, nous ne pouvons faire abstraction de la situation topographique qui varie selon les deux types de milieu. Les sols sablo-caillouteux mésotrophes resaturés sur grès et poudingues de l'Eocène se situent au sommet des buttes ou en position de plateau dont l'altitude varie entre 80 et 110 m, alors que les sols limono-argileux carbonatés sur craie du Turonien se rencontrent sur pentes faibles et replats dont l'altitude est comprise entre 40 et 55 m. Ces différences de topographie peuvent jouer un rôle au niveau du mésoclimat associé à chaque milieu géopédologique. Notre étude intègre ce facteur mais, au stade actuel de l'investigation, nous ne pouvons isoler son propre rôle. En conséquence, les résultats obtenus sur les vins seront exposés en faisant référence non seulement au milieu édaphique, mais en tenant compte du système écogéopédologique. Il n'en reste pas moins vraie que, pour l'année 1978 à arrièrè saison sèche, l'effet mésoclimat a dû être négligeable par rapport à l'effet milieu édaphique.

A. VIGUEUR

Elle est plus élevée pour la vigne implantée en sol sur craie (tableau 4) et se traduit par un poids de bois de taille et une surface foliaire par cep significativement plus importantes que dans le cas de celle installée en sol sablo-caillouteux sur grès et poudingues. Cette différence de développement de la plante est en étroite relation avec les possibilités d'exploitation des couches profondes par les racines et de leur fonctionnement pendant certaines « périodes critiques » (véraison-maturation).

B. L'ALIMENTATION HYDRIQUE

Le climat de la vallée de la Loire se caractérise par son arrièrè saison relativement sèche débutant en septembre et se poursuivant jusqu'à fin octobre. La pluviométrie annuelle moyenne est faible (580-600 mm). Ces conditions climatiques, si elles sont en général favorables à la maturation du raisin, peuvent entraîner dans certaines conditions de milieu édaphique des difficultés d'alimentation en eau de la vigne.

Les profils hydriques réalisés au cours de l'année 1980 (fig. VI) traduisent des différences considérables dans l'alimentation de la vigne plantée dans les deux types de sols.

En sol limono-argileux calcaire sur craie, le dessèchement s'effectue sur une épaisseur de plus de 3 mètres avec une grande régularité et atteste un enracinement très profond. La participation des horizons de surface à l'alimentation en eau de la vigne n'est pas prépondérante. Par contre, en sol sablo-caillouteux sur grès et poudingues, l'absorption de l'eau se fait seulement sur une épaisseur de 1 mètre car l'enracinement est peu développé en profondeur. En année sèche, l'épuisement des réserves en eau

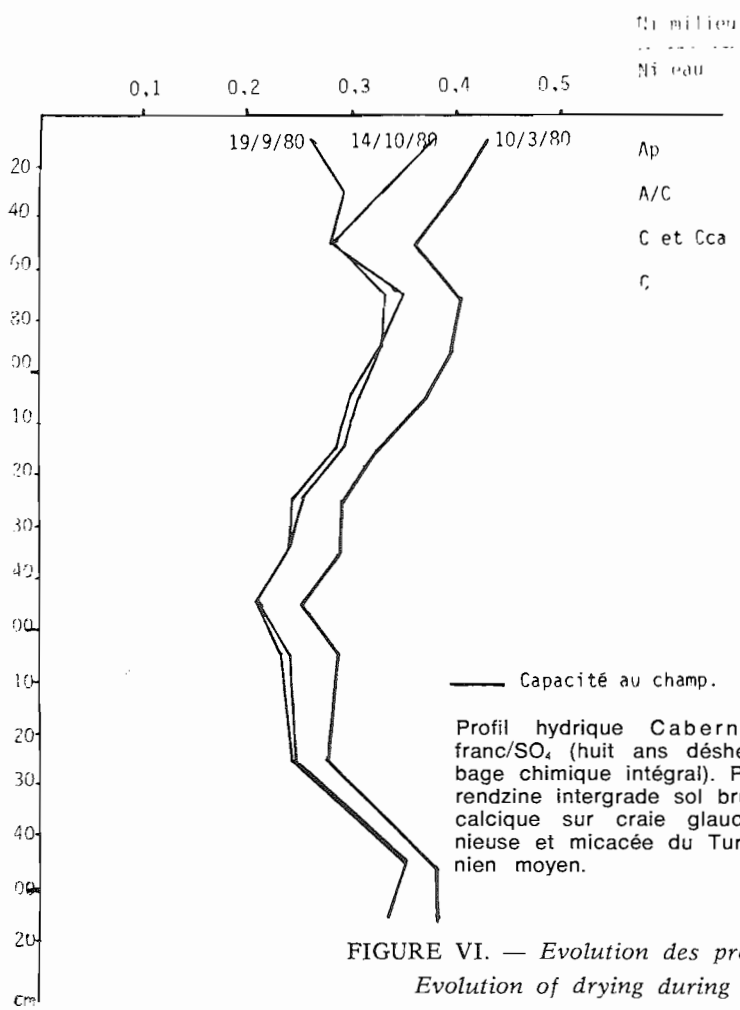
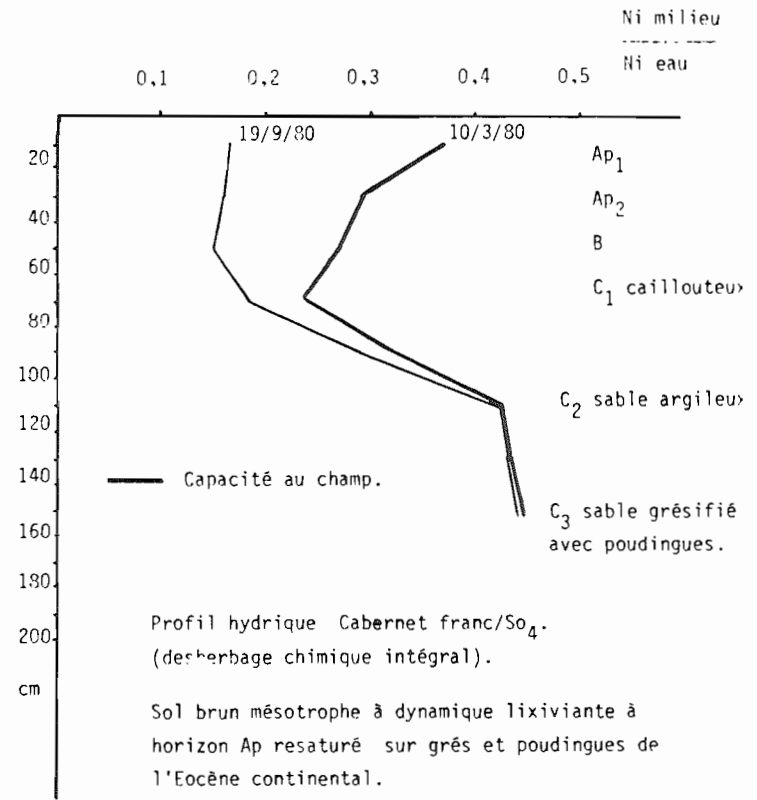


FIGURE VI. — Evolution des profils hydriques pendant l'année 1980
Evolution of drying during grape ripening period in 1980



disponible pour la vigne est rapide et la plante est placée dans de mauvaises conditions physiologiques pendant la période de maturation.

Des mesures effectuées en septembre 1980 (tableau 4) pendant une période de sécheresse, ont montré des différences hautement significatives de résistance stomatique à la diffusion des feuilles. Les valeurs les plus élevées s'observent pour la vigne cultivée en sol sableux sur grès et poudingues et traduisent une réduction importante de la transpiration du couvert. Par contre, le potentiel de sève de la feuille (tableau 4) est le même quel que soit le milieu, et relativement élevé (— 26 à — 28 bars). La fermeture des stomates diminue fortement les échanges gazeux avec l'atmosphère et en particulier ceux concernant le gaz carbonique. On peut penser que le bilan photosynthétique de la vigne plantée en sol sur craie est meilleur que celui de la vigne plantée en sol sablo-caillouteux sur grès et poudingues, pendant la période de maturation du raisin en 1980. Malgré un niveau chimique satisfaisant dans les couches supérieures du sol, il est possible qu'en période sèche l'alimentation minérale soit entravée en sol sablo-caillouteux sur grès et poudingues par l'assèchement du sol, alors qu'elle peut s'effectuer en profondeur dans la craie aux dépens des réserves naturelles en potassium, magnésium et calcium de cette roche. Le développement végétatif, en étroite relation avec les possibilités d'alimentation en eau, joue un rôle important sur le microclimat lumineux de la souche et en particulier des grappes. Le niveau d'éclairage de la zone fructifère est supérieur (20 % de l'énergie PAR* reçue) dans le cas de la vigne en sol sablo-caillouteux sur grès et poudingues (fig. VII) et traduit

* Energie PAR : radiations comprises entre 400 et 700 nm et qui sont actives au niveau de la photosynthèse (Photosynthetically Active Radiation).

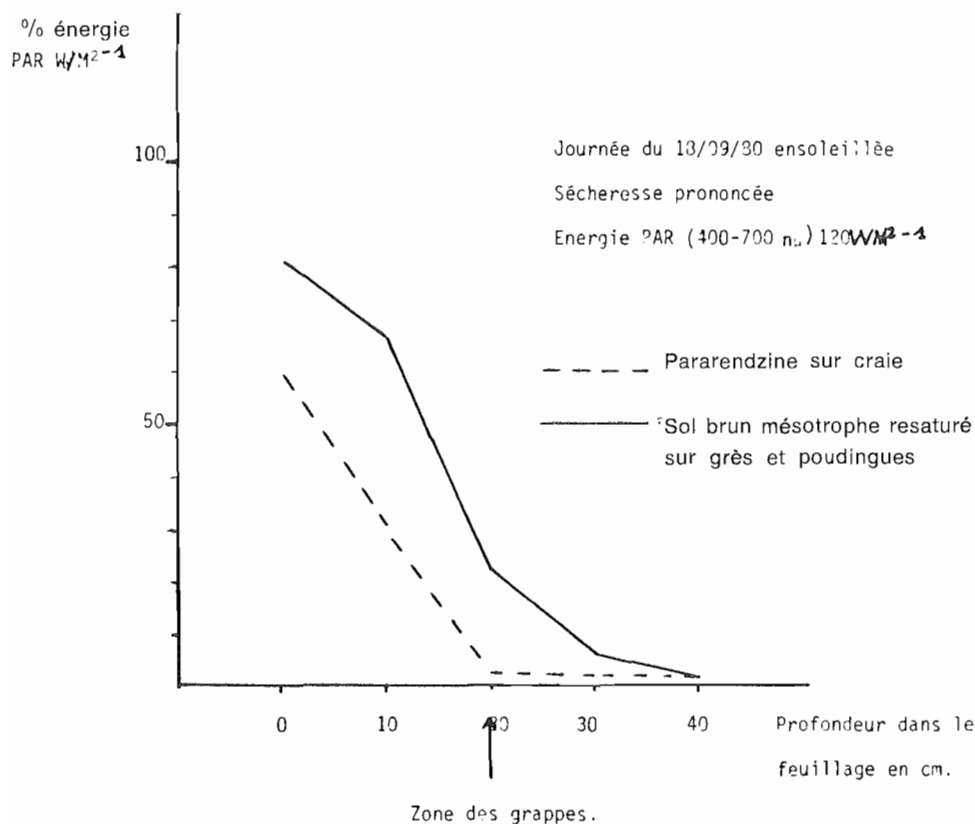


FIGURE VII. — Microclimat lumineux du couvert selon le milieu écogéopédologique
Photosynthetically active radiation in the vine canopies for two géopédological

Milieu écogéopédologique	Degré alcoolique	Acidité totale g/l	Intensité colorante	Nuance	Anthocyanes mg/l	Polyphénols totaux g ac gall/l	Données sur les colorants			Rendement kg/souche
							Degré ionisation %	Degré polymérisation %	Rendement extraction dans le vin	
Pararendzine intergrade sol brun calcaire sur craie glau- conieuse et micacée du Turonien moyen	11°46	3,87	5,68	0,509	294	1,385	25,8	42,35	29,8	2,64
Sol brun méso- trophe à dynamique lixi- viante resaturé sur grès et poudingues de l'Eocène conti- nental	11°08	3,30	2,11	0,702	363	1,35	4,94	71,1	27,95	1,99

TABLEAU 5. — Principales données concernant les vins de l'année 1978
Data of wines from 1978 (year with dry ripening period)

un environnement très favorable à la maturation du raisin, car l'entassement du feuillage est moindre que celui de la vigne plantée en sol sur craie dont les grappes ne reçoivent que 3 à 4 % de l'énergie PAR totale qui atteint le couvert.

C. CARACTERISTIQUES DES VINS

Les parcelles expérimentales sont récoltées chaque année et la vendange est microvinifiée séparément après éraflage et foulage manuels (40 kg de grappes). La macération s'effectue en chambre chaude thermorégulée. Une chaptalisation dans les limites de la législation en vigueur (2,5°) est effectuée si besoin est pour obtenir un vin d'environ 11,5°. Après fermentation malolactique, les vins sont soutirés et mis en bouteilles avec adjonction d'anhydride sulfureux. Après passage au froid (stabilisation), ils sont filtrés puis conservés dans une cave dont la température et l'hygrométrie varient peu au cours de l'année. Les vins sont dégustés environ un an après leur élaboration par un jury de dégustateurs composé de viticulteurs du cru et de techniciens (I.N.A.O., I.N.R.A., O.N.I.V.I.T., G.D.D.V., I.T.V...). Seuls les résultats de 1978 sont actuellement disponibles et permettent une interprétation en année à arrière saison sèche.

Le rendement par souche (tableau 5) est plus élevé en sol sur craie qu'en sol sablo-caillouteux sur grès et poudingues et pourrait entraîner une dilution des constituants nobles du vin dans le premier cas. Pourtant, dans l'ensemble, il n'en est rien, puisque celui issu du système écogéopédologique sur craie présente des caractéristiques analytiques plus favorables à la qualité que celui provenant du système sablo-caillouteux sur grès et poudingues. Son degré alcoolique est plus fort, son acidité est supérieure (sans atteindre un chiffre trop élevé) ainsi que son intensité colorante. La nuance (densité optique 420 nm/densité optique 520 nm) est plus forte pour le vin issu du système écogéopédologique sur grès et poudingues que pour celui provenant du système sur craie. Cela se traduit par une « robe » tuilée très reconnaissable dans le premier cas, même pour les vins jeunes, mais qui, en général, évolue défavorablement au cours du

TABLEAU 6. — Analyse biométrique par la méthode de Mann et Whitney
(Test non paramétrique) de la dégustation de 1978

Biometric analysis (Mann and Whitney method) from wines degustation (1978)

Milieu écogéopédologique	Note moyenne de dégustation	U	t calculé	t _{SF} 1%
Pararendzine sur craie	16,23	114,5	+3,40 *** (n-4=8)	2,9
Sol brun mésotrophe resaturé sur grès et poudingues	13,18	29,5	-3,40 *** (n-4=8)	

*** : significatif à 1%
t_{SF} : test t de Student Fischer

vieillessement (« pelure d'oignon »). Par contre, le vin produit dans le système sur craie possède des caractéristiques qui permettent de prévoir une bonification importante lors de la conservation.

L'analyse sensorielle de ces deux types de vin (dégustation) fait ressortir une préférence hautement significative (tableau 6) des dégustateurs pour celui provenant du système écogéopédologique sur craie. La couleur a été jugée trop pâle dans l'ensemble pour le vin issu des grès et poudiques, son arôme neutre, son goût peu prononcé à moyen avec une harmonie suffisante. Par contre, le vin provenant du système sur craie a été jugé avec une couleur normale, un bouquet agréable, un goût racé et élégant et très harmonieux.

CONCLUSION

L'étude montre l'influence du milieu édaphique sur le développement du système racinaire de la vigne et ses conséquences sur le fonctionnement de la plante ainsi que sur le produit final, dans le cas d'une année à arrière saison sèche.

Les milieux géopédologiques sur craie présentent des contraintes minima pour l'établissement de l'enracinement avec une très bonne exploitation volumique. L'épaisseur de sol et de roche participant à l'alimentation hydrique est considérable. Par contre, dans les sols sablo-caillouteux oligotrophes, resaturés ou lessivés hydromorphes sur argiles compactes, l'enracinement présentant de mauvaises caractéristiques morphologiques est peu ramifié et se développe mal en profondeur.

Ces différences se répercutent sur la partie aérienne (vigueur, surface foliaire) et, en période sèche, le fonctionnement physiologique de la vigne est très perturbé dans les sols où l'enracinement est mal développé. Le vin est fortement influencé et présente une qualité supérieure lorsqu'il est produit en sol limono-sablo-carbonaté sur craie, bien que la vigueur, la potentialité de rendement et le microclimat lumineux du couvert pourraient entraîner une diminution des principes de qualité.

SUMMARY

SOME ASPECTS OF GEOPEDOLOGICAL ENVIRONMENT
ON THE ROOT SYSTEM OF VINE; AND RESULTS ON THE QUALITY OF WINE

In the vineyards of Loire Middle Valley, the vine root system is very influenced by soil and underground rock conditions. The root system is very widely developed on calcareous soils and is very deep. But in a sandy soil or a soil with a very compacted layers, the root system of vine is less deep. For to explain with more accuracy the medium influence on the root system, a study of few root morphological parameters is realized. Three kinds of parameters are computed (fig. 2).

$\frac{LR}{LT}$

— The $\frac{LR}{LT}$ ratio. Real length/theoretical length of a piece of root in each pedological horizon.

— The curvature angle of a piece of root (AEC).

— The decrease of the root diameter ($\Delta \varnothing$) calculated on a piece of root.

$\frac{LR}{LT}$

— ratio is badly correlated with mechanical resistance of each horizon but

we have a better relation with dry bulk density. We obtain a good correlation, coefficient between AEC and mechanical resistance or dry bulk density and we observe the same thing with $\Delta \varnothing$ (Table 3).

These important differences of root system type change physiological behaviour of vine. During a dry maturation period, water supply of vine on chalky soils is less deficient than on mesotrophic brown soils. In the case of our experimentation the wine quality and type are also very influenced by geopedological conditions.

Bibliographie

- DUPONT J. (1978). — Les problèmes de l'adaptation de la vigne dans le vignoble de Chinon. Thèse Doctorat 3^e cycle, Université de Poitiers, 74 p.
- DUPONT J., MORLAT R. (1980). — Aspects géopédologiques du vignoble de Chinon et problèmes agroviticoles associés. Conn. Vigne et Vin, 14, 1, 1-18.
- MORLAT R. (1975). — Les sols du Saumurois : pédologie et utilisation agronomique appliquée au vignoble. Thèse Doctorat 3^e cycle, Université de Poitiers, 111 p + annexes.
- MORLAT R. (1978 a). — Description des sols (de vignoble) sur craie micacée et glauconieuse du Saumurois (Turonien). Caractères agronomiques liés à la viticulture. Science du Sol, Bull. AFES, 2, 113-127.
- MORLAT R. (1978 b). — Contribution à l'étude des séquences géopédologiques sédimentaires du vignoble Saumurois. Essai sur une méthodologie pour la caractérisation d'un milieu viticole de cru. Conn. Vigne et Vin, 4, 219-243.
- SALETTE J., MORLAT R., PUISSANT A., ASSELIN C., LEON H., REMOUE M. (1980). — Recherche des relations entre le milieu (écogéopédologique) et le type de vin : cas du vignoble rouge de la Moyenne Vallée de la Loire. Premiers résultats et principaux problèmes. Colloque franco-roumain « Relations Sol-Vigne », Bordeaux, I.N.R.A., 23-27 juin. 7 p.

