Connaissance Vigne Vin, 1981, **15**, N° 4, 229-246.

CARACTERISATION DE QUELQUES COMPOSANTES DU POTENTIEL CHLOROSANT DES DIFFERENTS MILIEUX CARBONATES DANS LE VIGNOBLE DU VAL DE LOIRE

R. MORLAT * et C. COURBE **

Station d'Agronomie
* Institut National de la Recherche Agronomique
Route de St Clément, Beaucouzé, 49000 Angers (France)
** Laboratoire de Pédologie
Université de Poitiers, 86000 Poitiers (France)

Travail réalisé avec la collaboration technique
de Mme J. ROBICHET * et G. VENIN *

Le vignoble du Val de Loire est pour partie établi dans des sols carbonatés issus de roches calcaires, le plus souvent crayeuses. Le comportement de la vigne est variable suivant les situations. Notre étude porte sur les vignobles de la Moyenne Vallée de la Loire (Saumur, Chinon, Bourgueil). Nous avons retenu en particulier deux grands types de milieux carbonatés pour lesquels le comportement de la vigne vis-à-vis de la chlorose ferrique est très différent, soit :

— les craies limono-argileuses du Turonien inférieur sur lesquelles les symptômes de chlorose ferrique de la vigne sont souvent très graves même avec les porte-greffes les plus résistants (DUPONT J., 1978),

— les craies glauconieuses et micacées et sables verts calcaires du Turonien moyen où les cas de chlorose ferrique sont rares ou absents quel que soit le porte-greffe.

Sur un grand nombre d'échantillons (243) prélevés dans de multiples parcelles (89) viticoles, nous avons procédé à des déterminations analytiques pouvant fournir une explication des différences de comportement de la vigne selon les milieux carbonatés retenus. Parmi celles-ci la caractérisation du fer extractible est l'un des éléments de cette étude.

MATERIEL ET METHODES

I. — DETERMINATIONS CHIMIQUES

L'étude a porté sur des échantillons (243) de sols viticoles comprenant trois grands types d'horizons pédologiques : Ap, (B) ou A/C, B/C et C qui correspondent à trois stades d'évolution pédogénétique reconnus sur formations crayeuses :

— Rendzine grise ou Pararendzine ;

— Sol brun calcaire anthropique ou sol brun calcaire peu argilisé ;

— Sol brun calcique à eutrophe souvent argilisé.

Les déterminations analytiques suivantes ont été réalisées sur tous les échantillons :

— pH eau (rapport sol/solution 1/2,5 méthode électrométrique) ;

— calcaire total (méthode au calcimètre Bernard) ;

— calcaire actif (méthode DROUINEAU GALET, 1942).

Pour caractériser la disponibilité en microéléments et en particulier en fer, de nombreux extractifs ont été utilisés :

— l'eau (FULLER, LANPSA, 1975) ;

— HCl 0,1 N ;

— l'EDTA 0,02 M (sel disodique) (pH $\simeq$ 4,8) (CHENG et BREY, 1953 ; VIRO, 1955) ;

— le DTPA 0,005 M ajusté à pH 7,3 (LINDSAY et NORWELL, 1969, 1978) ;

— l'oxalate d'ammonium N/5 (pH $\simeq$ 6,50) (JUSTE et POUGET, 1972) ;

— l'acétate d'ammonium N à pH 7,0 et à pH 4,8 (OLSON, 1965 ; JACKSON, 1958).

Toutes les extractions de fer on été faites sur des échantillons de sols broyés et tamisés à 250 µ. De nombreux essais préliminaires (COURBE, 1980) nous ont conduits à la méthodologie d'extraction suivante :

— rapport sol/solution 1/80 ;

— temps d'extraction à l'agitateur rotatif 30 minutes ;

— centrifugation de la solution à 16000 tours/minute (centrifugeuse BECKMAN JA 20) pendant 10 minutes. Cette technique a été préférée à la filtration pour éliminer les microparticules gênantes. Le fer des solutions d'extraction a été ensuite dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique.

II. — VALEUR DISCRIMINANTE DES EXTRACTIFS UTILISES

Nous avons expérimenté chaque extractif sur six échantillons connus représentant des cessions en fer très différentes (tableau I). Selon l'extractif et l'échantillon les résultats sont très variables. Pour la suite de l'étude, l'extractif HCl n'a pas été retenu puisque sur un échantillon de craie limono-argileuse, il libère une grande quantité de fer, sans doute par solubili-

TABLEAU I

Principales caractéristiques des échantillons test utilisés dans l'étude

Echantillons	pH eau	Calcaire		Fer extrait						
		total %	actif %	Eau	Oxalate NH_4	HCl	EDTA	DTPA	Acétate NH_4 pH 7	Acétate NH_4 pH 4,8
Glauconie non altérée en grains	*8,1*	-	-	*13*	*22*	*29*	*131*	*14*	*traces*	*traces*
Interstratifiés Glauconite-Smectites ferrifères	*8,4*	-	-	*73*	*43*	*235*	*422*	*30*	*5*	-
Horizon A_1 de sol sablo argileux du Sénonien	*7,5*	-	-	*10*	*101*	*142*	*242*	*32*	*8*	-
Horizon C de craie limonoargileuse du Turonien inférieur	*8,5*	*59,5*	*21,6*	*3*	*40*	*219*	*112*	*14*	*traces*	*traces*
Horizon C de craie glauconieuse du Turonien moyen	*8,7*	*78,4*	*18,7*	*3*	*154*	*765*	*403*	*22*	*traces*	*traces*
Matériau d'altération de pyrite de fer	*2,3*	-	-	*960*	*1360*	*2577*	*1600*	*1280*	-	-

sation des carbonates qui en immobiliseraient une fraction importante ; ce blocage pouvant être responsable du potentiel chlorosant élevé.

L'eau caractérise bien les matériaux glauconieux associés aux smectites qui possèdent une certaine quantité de fer ferreux adsorbé à la surface des charges négatives des argiles (NAVROT et BANIN, 1976).

Le DTPA présente une action voisine de celle de l'eau.

L'acétate d'ammonium, quel que soit son pH, n'extrait que des quantités infimes de fer, et n'a pas été retenu pour la suite de l'étude.

L'oxalate d'ammonium et l'EDTA présentent une similitude dans les extractions de fer, mais les quantités de fer libérées avec l'EDTA sont plus élevées surtout dans les formations glauconieuses.

Enfin, lorsque le fer est très facilement extractible, (tels que les matériaux d'altération de pyrite de fer), les quantités extraites par la plupart des techniques expérimentées sont beaucoup plus voisines entre elles que celles obtenues avec des échantillons à fort pouvoir de blocage (craie limono-argileuse).

III. — TRAITEMENT BIOMETRIQUE DES DONNEES

Nous avons traité l'ensemble des résultats par l'analyse de variance à trois critères de classification (DAGNELIE, 1975). L'étude a été faite en deux stades ; horizon Ap et C sur les deux types de craies et trois types génétiques de sol d'une part (rendzine et pararendzine, sol brun calcaire, sol brun calcique) ; horizons Ap, (B) et C sur les deux types de craies et trois types génétiques de sol d'autre part (sol brun calcaire, sol brun calcique, sol brun eutrophe). Cette chronologie s'est avérée nécessaire pour satisfaire aux conditions d'homoscédasticité des variances (test de BARTLETT) comparées et de normalité des distributions des résidus. Nous avons réalisé une comparaison multiple des moyennes par la méthode de DUNCAN dans le cas d'absence d'interactions, ou par la méthode du t STUDENT-FISHER dans le cas contraire.

RESULTATS

I. — ETUDE DU CALCAIRE TOTAL

Les résultats (tableau II) mettent en évidence le caractère hautement significatif de chaque critère. Les interactions Faciès × Type de sol et Type de sol × Horizon nous ont amenés à effectuer une analyse simple de variance en considérant les différences entre faciès pour chaque type de sol et chaque horizon. Ces interactions sont dues à un comportement particulier des sols jeunes par rapport aux sols évolués. Les rendzines du Turonien inférieur ne diffèrent pas, par leur teneur en calcaire total, des pararendzines du Turonien moyen, alors que les différences sont significatives au niveau des sols évolués.

TABLEAU II

Analyse de la variance, suivant trois critères de classification, du calcaire total, du calcaire actif, du pH eau, des teneurs en fer extrait à l'oxalate d'ammonium, à l'EDTA, au DTPA et à l'eau des horizons Ap et C des différents sols.

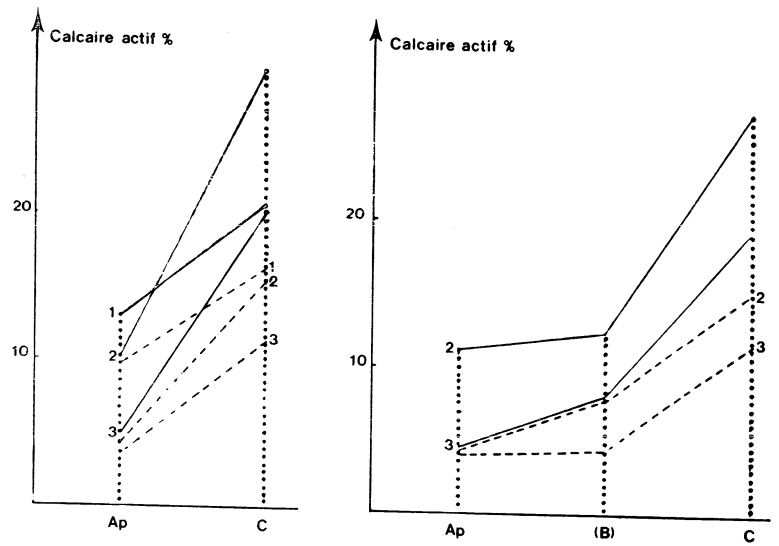
Source de variation	Degrés de liberté	F calculé						
					Fer extrait			
		Calcaire total	Calcaire actif	pH eau	Ox. NH_4	EDTA	DTPA	Eau
Faciès	1	10,84**	51,00**	2,19	8,97**	96,79**	1,01	5,74*
Type de sol	2	37,95**	13,04**	6,44*	8,04**	5,45*	0,54	4,09*
Horizon	1	140,1 **	157,1 **	95,58**	0,08	11,48**	4,25*	0,37
Interactions								
Faciès - Type de sol	2	5,74*	4,93*	3,38	2,69	2,32	0,84	3,47*
Faciès - Horizon	1	0,38	10,53*	0,35	0	0,22	0,18	0,73
Type de sol - Horizon	2	4,34*	6,78*	0,04	3,92*	1,54	0,07	0,35
Faciès - Type de sol - Horizon	2	0,19	1,80	1,80	1,08	0,88	0,95	1,35
Variation résiduelle	120							

x Significatif au niveau 5 %
xx Significatif au niveau 1 %

II. — ETUDE DU CALCAIRE ACTIF

Nous remarquons (tableau II) que les critères sont tous hautement significatifs, les interactions étant également significatives. Les analyses simples de variance, dans le cas du calcaire actif, montrent une similitude avec le calcaire total dans le comportement des sols jeunes, seuls les sols évolués présentent des différences entre faciès.

Nous avons considéré les sols évolués (tableau III) dans une analyse à trois critères pour trois horizons (Ap. (B) et C) : l'interaction Faciès × Type de sol peut s'expliquer en analyse simple pour chaque horizon par l'existence de différences hautement significatives pour les horizons Ap et C entre les deux faciès et l'absence de différences pour les horizons (B) (fig.1, tableau IV).



Ap Horizon de culture enrichi en matière organique
(B) Horizon d'altération souvent en voie d'argilisation
C Partie supérieure de la craie altérée

Sols du Turonien inférieur
1. Rendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Sols du Turonien moyen
1. Pararendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Fig. 1. — Variations des taux de calcaire actif en fonction du faciès, du type de sol et de l'horizon considéré.

L'étude des teneurs en calcaire total et en calcaire actif pour les deux faciès considérés permet de remarquer des différences significatives en fonction du degré d'évolution des sols développés sur ceux-ci : les sols jeunes sur faciès glauconieux possèdent des taux de calcaire total et de calcaire actif non significativement différents de ceux des rendzines du Turonien inférieur. Le tableau V (profil d'une pararendzine sur craie glauconieuse) montre des taux relativement élevés en calcaire total et en calcaire actif ; néanmoins le comportement de la Vigne y est souvent

TABLEAU III

Analyse de la variance, suivant trois critères de classification, du calcaire actif, du pH eau, des teneurs en fer extrait à l'oxalate d'ammonium à l'EDTA, au DTPA et à l'eau, des horizons Ap, (B) et C des différents sols.

Source de variation	Degrés de liberté	F calculé					
				Fer extrait			
		Calcaire actif	pH eau	Ox. NH_4	EDTA	DTPA	Eau
Faciès	1	29,12^{xx}	5,33^{x}	15,82^{xx}	127,8^{xx}	0,51	5,06^{x}
Type de sol	1	16,36^{xx}	7,00^{x}	0,72	0,97	7,10^{x}	5,33^{x}
Horizon	2	50,59^{xx}	23,50^{xx}	3,44^{x}	5,99^{x}	1,78	0,15
Interactions							
Faciès - Type de sol	1	3,04	0,33	$3x10^{-3}$	6,78^{x}	0,24	0,72
Faciès - Horizon	2	3,85^{x}	0,16	2,09	1,40	2,21	1,05
Type de sol - Horizon	2	0,42	0	6,34^{x}	2,09	0,09	0,43
Faciès - Type de sol - Horizon	2	0,51	0,16	0,11	1,46	1,28	2,64
Variation résiduelle	84						

^{x} Significatif au niveau 5 %
^{xx} Significatif au niveau 1 %

normal même pour les porte-greffes peu résistants. Le critère calcaire actif ne semble donc pas, dans ces conditions, constituer un facteur suffisant pour l'explication du déclenchement de la chlorose ferrique de la Vigne.

TABLEAU IV

Moyennes du pH eau et du taux de calcaire actif pour les différents sols des deux faciès étudiés.

Faciès	Type de sol	Horizon	pH	Calcaire actif	Type de sol	Horizon	pH	Calcaire actif
Turonien inférieur (Craies limono-argileuses)	Rendzines	Ap	8,26	13,1	Sols bruns calcaires	Ap	8,30	11,2
		C	8,50	21,1		(B)	8,40	12,7
						C	8,54	27,9
	Sols bruns calcaires	Ap	8,31	10,2				
		C	8,51	30,4	Sols bruns calciques	Ap	8,17	4,5
						(B)	8,27	8,2
	Sols bruns calciques	Ap	8,19	4,9		C	8,46	19,9
		C	8,48	20,5				
Turonien moyen (craies glauco-nieuses)	Pararend-zines	Ap	8,29	9,8	Sols bruns calcaires	Ap	8,17	4,5
		C	8,59	16,6		(B)	8,28	8,1
						C	8,50	15,5
	Sols bruns calcaires	Ap	8,16	4,1				
		C	8,46	15,2	Sols bruns calciques	Ap	8,09	4,1
						(B)	8,23	4,6
	Sols bruns calciques	Ap	8,15	3,5		C	8,41	11,8
		C	8,36	11,3				

TABLEAU V

Caractéristiques d'une pararendzine sur Turonien moyen (craie sablo-glauconieuse) de Beaumont-en-Véron (vignoble de Chinon)

Horizons	pH eau	Calcaire total %	Calcaire actif %	FFE x mg/kg	IPC	Fer extrait (en mg/kg)			
						Eau	Ox NH_4 xx	EDTA	DTPA
Ap	8,53	36,4	13,1	101	12	18	63	287	22
A/C	8,62	37,5	18,7	143	9	16	100	314	22
C	8,74	78,4	18,7	173	6	16	154	403	43

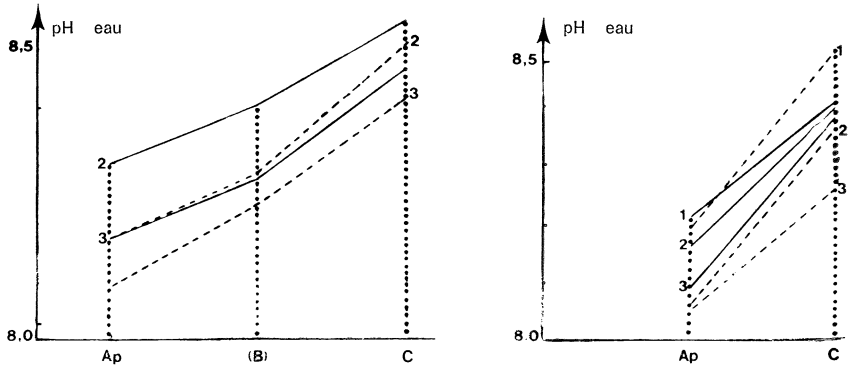
x FFE : fer extrait par la méthode POUGET et JUSTE.
xx Ox NH_4 : fer extrait par la méthode modifiée (COURBE, 1980).

III. — ETUDE DU pH EAU

L'analyse (tableau II) montre que le critère horizon est hautement significatif ; de même, le critère Type de sol est significatif, mais lié par une interaction au critère Faciés, lequel n'a pas d'effet significatif dans les horizons Ap et C (fig. 2). Nous remarquons que si les sols évolués du

Turonien moyen possèdent une valeur de pH moins élevée que celle des sols du Turonien inférieur, ce n'est pas le cas des sols jeunes. Les analyses simples de variance confirment l'incapacité à distinguer les deux faciès au niveau des horizons d'altération de la craie (C) pour les sols peu évolués.

L'analyse à trois critères de classification sur les sols évolués (tableau III) permet une distinction plus nette entre les deux faciès (fig. 2), avec des valeurs plus faibles dans le cas des sols développés sur craie glauconieuse.



Ap Horizon de culture enrichi en matière organique
(B) Horizon d'altération souvent en voie d'argilisation
C Partie supérieure de la craie altérée

Sols du Turonien inférieur
1. Rendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Sols du Turonien moyen
1. Pararendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Fig. 2. — Variations du pH en fonction du faciès. du type de sol et de l'horizon considéré.

Nous sommes arrivés aux mêmes conclusions que pour l'étude du calcaire actif et du calcaire total : globalement, quel que soit le degré d'évolution du sol, il est difficile de distinguer les deux faciès, ceci confirme les travaux de J. DUPONT (1978) qui concluait à une influence peu significative du facteur pH mesuré selon la technique conventionnelle dans le le déclenchement de la chlorose ferrique de la Vigne puisque les valeurs les plus élevées correspondent aux sols développés sur craie glauconieuse où les symptômes sont très rares.

IV. — RESULTATS CONCERNANT LES EXTRACTIONS DE FER

Selon l'extractif du fer employé, les effets des critères principaux sont significatifs ou non. Les interactions sont beaucoup plus rares que pour le calcaire ce qui peut s'expliquer en partie par une relative indépendance du « pool » de fer extractible vis-à-vis de certains paramètres majeurs du milieu (horizons, faciès crayeux, etc.) (tableaux II et III). Les extractifs comme l'eau et le DTPA ne mobilisent que des quantités de fer faibles et à peu près du même ordre (tableau VI). Avec le DTPA, seul le

TABLEAU VII

Moyennes des extractions de fer à l'EDTA, l'oxalate d'ammonium, au DTPA et à l'eau sur les différents sols des deux faciès étudiés

Faciès	Type de sol	Horizon	Fer extrait				Type de sol	Horizon	Fer extrait			
			EDTA	Ox NH_4	DTPA	Eau			EDTA	Ox NH_4	DTPA	Eau
Turonien inférieur (craies limono-argileuses)	Rendzines	Ap	102,3	17,1	12,3	6,9	Sols bruns calcaires	Ap	87,6	15,1	8,2	11,1
		A/C	82,3	21,4	8,0	5,3		(B)	69,7	7,75	6,5	10,4
								B/C	64,4	17,1	7,2	10,25
	Sols bruns calcaires	Ap	82,0	15,0	10,2	7,5						
		B/C	55,3	15,4	9,0	7,1						
							Sols bruns calciques	Ap	101,9	18,2	7,75	13,5
	Sols bruns calciques	Ap	92,7	16,3	13,1	9,3		(B)	90,9	15,6	10,9	10,25
		B/C	74,6	9,8	11,1	11,9		B/C	84,1	10,4	10,1	11,6
Turonien moyen (craies glauco-nieuses)	Pararendzines	Ap	194,5	32,2	11,7	10,5	Sols bruns calcaires	Ap	161,0	21,0	10,0	10,4
		A/C	160,2	49,0	12,0	10,1		(B)	157,5	19,0	10,0	10,1
								B/C	116,9	19,0	8,6	9,2
	Sols bruns calcaires	Ap	176,7	25,8	13,3	9,4						
		B/C	124,7	18,9	9,9	8,4						
							Sols bruns calciques	Ap	133,1	25,1	12,1	11,6
	Sols bruns calciques	Ap	132,8	27,4	12,0	11,0		(B)	143,0	24,6	9,0	13,0
		B/C	134,9	15,6	10,8	9,2		B/C	134,4	13,0	10,6	10,4

critère horizon est significatif dans le premier type d'analyse (tableau II) et seul le type de sol dans le second (tableau III).

En général, les horizons de surface sont plus riches en fer extractible au DTPA lequel solubilise surtout les oligoéléments retenus par la matière organique. L'effet faciès n'étant pas significatif, nous ne pouvons retenir cette forme de fer comme un des éléments explicatifs du pouvoir chlorosant des milieux carbonatés étudiés, même si elle est sans doute facilement utilisable par la plante. Avec l'eau les effets Faciès et Type de sol sont significatifs. Cet extractif sépare relativement bien les craies glauconieuses, plus riches en cette fraction de fer très facilement mobilisable, des craies limono-argileuses à pouvoir chlorosant élevé. Cette constatation confirme le comportement particulier des terres riches en glauconies et matériaux d'altération des glauconies (interstratifiés et smectites) qui fournissent une grande quantité de fer extractible à l'eau (COURBE, 1980). La faible quantité de fer extraite avec le DTPA et l'eau rend difficile l'emploi de ces extractifs car elle est souvent très proche des limites de sensibilité des techniques de dosage utilisées. Pourtant le test au DTPA a été largement développé aux Etats-Unis ces dernières années (LINDSAY et NORWELL, 1969 et 1978). Enfin, il semble que la Vigne soit capable de mobiliser et d'absorber des quantités de fer supérieures à celles extraites par ces deux réactifs.

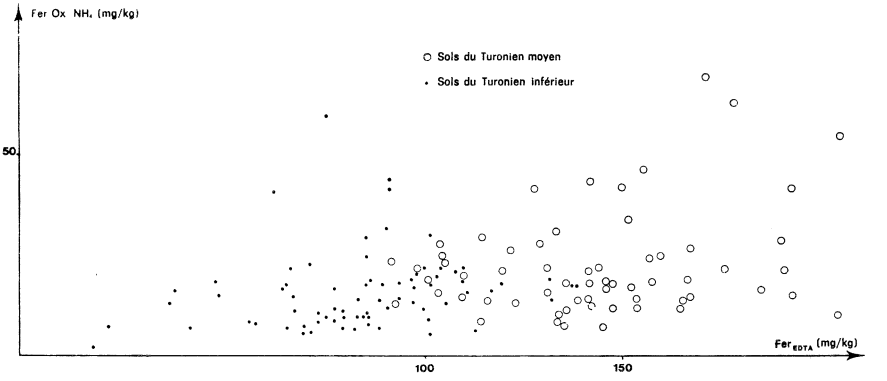
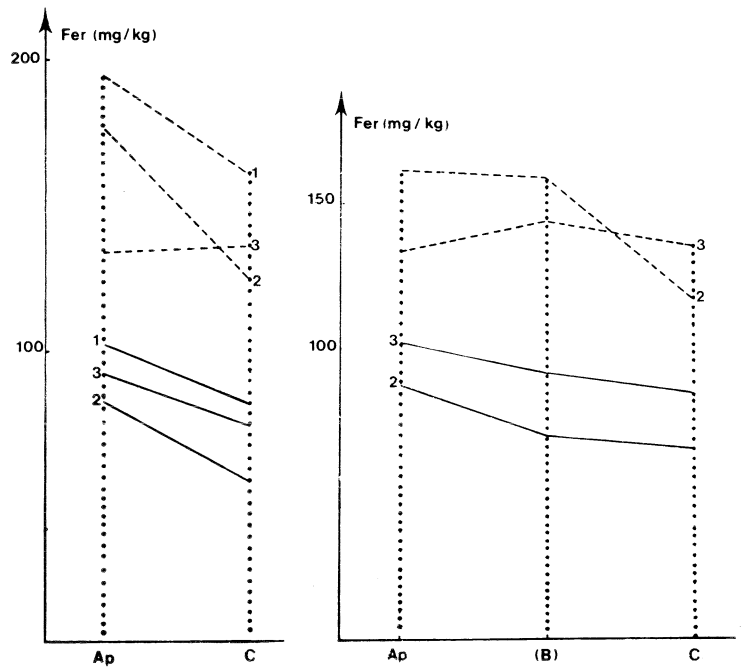


Fig. 3. — Représentation des différents échantillons de sols en fonction de leurs teneurs en fer extrait à l'EDTA et à l'oxalate d'ammonium

L'oxalate d'ammonium N/5 distingue bien dans la première analyse de variance (tableau II) les facteurs Faciès et Type de sol, mais non le facteur Horizon. L'EDTA différencie, quant à lui, les trois critères principaux (Faciès, Type de sol, Horizon) de l'analyse de variance (tableau II). En ce qui concerne la série des sols plus évolués génétiquement (tableau III), les deux types d'extractifs se comportent de la même manière. Les teneurs en fer extractible à l'EDTA des sols développés sur craie glauconieuse, se situent en moyenne au-delà de 120 mg par kg, alors qu'elles sont infé-

rieures à 100 mg par kg sur craie limono-argileuse (fig. 3). La comparaison d'horizons pédologiques équivalents selon les deux types de craies étudiées (tableau VI), permet d'observer souvent des variations opposées des teneurs en fer extrait en fonction du type d'extractif utilisé (en particulier pour les horizons A/C et B/C). La différence des teneurs en fer extrait selon les horizons et les sols entre les deux types de craie n'est parfois que de quelques mg par kg avec l'oxalate d'ammonium alors qu'elle est nettement plus importante avec l'EDTA. Ce dernier extractif apparaît plus discriminant dans les conditions de notre étude et semble mobiliser une quantité de fer plus proche de celle disponible pour la Vigne. Il est important de souligner que, quel que soit le type de craie et l'extractif utilisé, les sols les moins évolués (rendzines, pararendzines) fournissent pratiquement toujours la plus grande quantité de fer (fig. 4 et 5), alors que leur teneur en calcaire



Ap Horizon de culture enrichi en matière organique
(B) Horizon d'altération souvent en voie d'argilisation
C Partie supérieure de la craie altérée

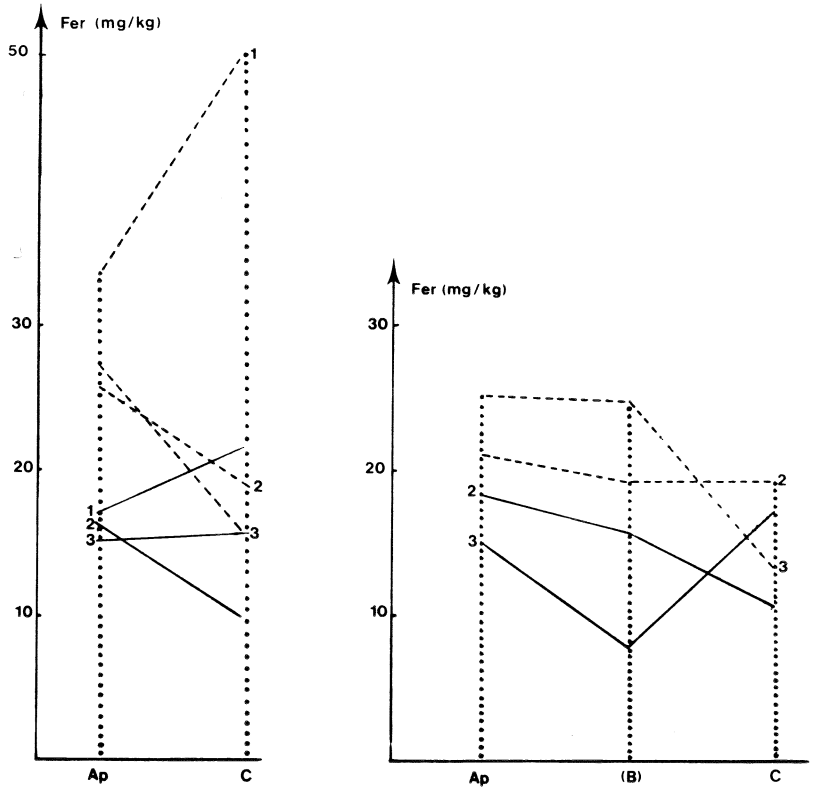
Sols du Turonien inférieur
1. Rendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Sols du Turonien moyen
1. Pararendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Fig. 4. — Variations des extractions de fer à l'EDTA en fonction du faciès, du type de sol et de l'horizon considéré.

actif est souvent la plus élevée. Il semble donc que dans les conditions géochimiques des faciès crayeux que nous étudions, la quantité de « calcaire actif » ne soit pas en relation directe avec celle en fer mobilisé par les types d'extractifs que nous avons employés. La plus grande quantité

de fer extraite par l'EDTA par rapport à l'oxalate d'ammonium pourrait s'expliquer par un pH de la solution d'extraction plus faible dans le premier cas (pH $\simeq$ 4,8 avec l'EDTA pH $\simeq$ 6,5 avec l'oxalate d'ammonium) dans la mesure où nous n'avons pas modifié celui-ci comme ont pu le faire certains auteurs (BANIN et NAVROT, 1976 ; LEONARD et STEWART, 1952 ; GOUGH et *al.*, 1980). Mais il faut remarquer que d'autres extractifs ayant le même pH (acétate d'ammonium à pH 4,8) que l'EDTA ont mobilisé des



Ap Horizon de culture enrichi en matière organique
(B) Horizon d'altération souvent en voie d'argilisation
C Partie supérieure de la craie altérée

———— **Sols du Turonien inférieur**
1. Rendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

– – – – – – **Sols du Turonien moyen**
1. Pararendzines
2. Sols bruns calcaires
3. Sols bruns calciques

Fig. 5 — Variations des extractions de fer à l'oxalate d'ammonium en fonction du faciès, du type de sol et de l'horizon considéré.

quantités infimes de fer. Notons enfin que les quantités de fer extraites à l'oxalate d'ammonium dans les conditions de notre étude sont en général plus faibles que celles libérées par la méthode conventionnelle dans la mesure où le rapport sol/solution et le temps de contact sont moins grands.

V. — ADAPTATION DU TEST DE L'INDICE DE POUVOIR CHLOROSANT (JUSTE et POUGET, 1972) AUX CONDITIONS DES FORMATIONS CRAYEUSES DU VIGNOBLE DU VAL DE LOIRE

L'emploi de l'indice de Pouvoir Chlorosant tel que l'ont défini ses auteurs (JUSTE et POUGET, 1972) pose des problèmes dans les milieux à fort pouvoir chlorosant où l'on obtient des valeurs élevées (supérieures à 150-200). Dans le Val de Loire, les sols jeunes développés sur craie limono-argileuse présentent des valeurs de l'IPC souvent comprises entre 500 et 1000. Il est fort difficile dans ces conditions d'interpréter les résultats par rapport au niveau de sensibilité de la vigne à la chlorose ferrique. Aussi serait-il intéressant d'introduire pour ces formations le fer extractible à l'EDTA dans la formule de l'IPC qui deviendrait la suivante :

$$IPC_{EDTA} = \frac{Ca\ CO_3\ \%}{(Fer_{EDTA})^2} \times 10^4$$

Fer_{EDTA} = fer extractible à l'EDTA, en mg par kg

$Ca\ CO_3$ = calcaire actif, en %

Nous avons calculé les valeurs de l'IPC_{EDTA} et $IPC_{oxalate}$ pour les deux formations crayeuses étudiées et les différents types de sols (tableau VII).

TABLEAU VII

Valeurs de l'IPC calculé en fonction des teneurs en Fer_{EDTA} comparées aux valeurs de l'IPC défini par POUGET et JUSTE (1972).

Faciès	Type de sol	Horizon	IPC_{EDTA}	IPC
Turonien inférieur *(Craies limono-argileuses)*	*Rendzines*	*Ap*	*12,6*	*575*
		A/C	*31,1*	*991*
	Bruns calcaires	*Ap*	*15,1*	*393*
		B/C	*99,5*	*626*
	Bruns calciques	*Ap*	*5,7*	*186*
		B/C	*36,8*	*643*
Turonien moyen *(Craies glauconieuses)*	*Pararendzines*	*Ap*	*2,6*	*77*
		A/C	*6,5*	*162*
	Bruns calcaires	*Ap*	*1,3*	*73*
		B/C	*9,8*	*366*
	Bruns calciques	*Ap*	*2,0*	*73*
		B/C	*6,2*	*364*

L'IPC à l'oxalate d'ammonium a été calculé à partir de résultats de fer facilement extractible obtenus par la méthode préconisée par JUSTE et POUGET (1972). Le dosage du fer a été obtenu par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Nous remarquons que les sols sur craie glauconieuse du Turonien moyen, se caractérisent par un IPC_{EDTA} moyen toujours inférieur à 10, alors que des valeurs bien supérieures s'observent pour des sols équivalents dans le cas de la craie limonoargileuse. Les horizons profonds des sols établis sur craie glauconieuse (altération de la roche-mère) peuvent présenter des valeurs de l'IPC à l'oxalate d'ammonium sans commune mesure avec le plafond de résistance des portes-greffes établi par POUGET et JUSTE (1972), que l'on peut rencontrer dans ces conditions. C'est ainsi que des vignes de Chenin ou Cabernet franc greffés sur SO_4, Téléki 5BB ou même 3309C, n'extériorisent pratiquement jamais de symptômes visuels graves de chlorose ferrique, quelle que soit l'année climatique. Rappelons que les plafonds de résistance de ces porte-greffes sont les suivants (d'après POUGET et JUSTE, 1972) :

	IPC
3309 C	10
SO_4	30
Téléki 5BB	40

Si l'on considère l'IPC à l'oxalate d'ammonium, on s'aperçoit que les rendzines sur craie limonoargileuse ont un pouvoir chlorosant de 6 à 7,5 fois supérieur, selon l'horizon pédologique à celui des pararendzines sur craie glauconieuse. Avec l'IPC à l'EDTA le rapport est de 5.

Avec les sols bruns calcaires et calciques le pouvoir chlorosant avec l'IPC à l'oxalate d'ammonium est de 2 à 5 fois supérieur selon l'horizon sur vraie limonoargileuse ; alors qu'avec l'IPC_{EDTA} le pouvoir chlorosant sur craie limonoargileuse est de 10 à 11 fois supérieur en sol brun calcaire à celui sur craie glauconieuse. Il semble en fait qu'il y ait assez bonne concordance entre les deux tests pour les horizons de surface enrichis en matières organiques. Dans les horizons de transition avec la craie (A/C et B/C) l'oxalate ne semble pas mobiliser de façon aussi représentative que l'EDTA, le fer disponible pour la Vigne. Dans la majorité des sols viticoles calcaires du Val de Loire il semble donc que l'IPC_{EDTA} soit plus discriminant que l'IPC oxalate d'ammonium et de ce fait, serait plus représentatif du pouvoir chlorosant réel.

CONCLUSION

La comparaison de certains paramètres classiques (pH, calcaire total, calcaire actif, fer extractible), appliqués à la caractérisation du pouvoir chlorosant des deux principaux milieux carbonatés du vignoble de la Moyenne Vallée de la Loire, a montré que le fer extractible traduit le mieux le comportement de la Vigne. Certains extractifs du fer se sont révélés très discriminants, tels l'oxalate d'ammonium ou l'EDTA. Ce dernier semble bien caractériser le comportement particulier des sols issus de la craie glauconieuse. La glauconie, au sein de cette roche, par sa désta-

bilisation au cours de l'altération, constitue une réserve en fer assimilable surtout à certains stades d'interstratification et de recristillation en phase smectitique. Dans ces conditions, la Vigne n'extériorise que très rarement des symptômes de chlorose ferrique, malgré un Indice de Pouvoir Chlorosant (IPC) calculé avec le fer facilement extractible, en moyenne supérieur au plafond de résistance des porte-greffes de la région. Le calcul de l'IPC avec le fer extrait de l'EDTA semble mieux représenter les véritables risques de chlorose ferrique rencontrés dans les différents sols calcaires du vignoble du Val de Loire.

Pour permettre une généralisation de ce dernier test, il serait intéressant d'entreprendre une étude qui incluerait d'autres formations chlorosantes. Il faut souligner que le test IPC à l'oxalate de POUGET et JUSTE présente par contre l'avantage de permettre avec une seule extraction le dosage du fer et du calcaire actif.

Manuscrit reçu le 14 octobre 1981, accepté pour publication le 16 novembre 1981.

RÉSUMÉ

Dans le vignoble de la Moyenne Vallée de la Loire, une grande partie des sols carbonatés est représentée par deux importants faciès lithologiques crayeux : les craies limono-argileuses à pouvoir chlorosant élevé, et les craies sablo-glauconieuses micacées à faible pouvoir chlorosant. Nous avons effectué plusieurs déterminations analytiques (pH eau, calcaire total, calcaire actif, fer extractible) qui sont souvent considérées comme facteurs explicatifs du pouvoir chlorosant d'un milieu calcaire. Les extractifs du fer les plus discriminants sont l'oxalate d'ammonium et l'EDTA. L'EDTA semble caractériser le mieux la fourniture en fer à la vigne dans les conditions des sols et substrats crayeux analysés.

SUMMARY

In the vineyard of the middle Loire Valley a large part of the carbonaceous soils are represented by two important lithological chalk features : clay-loam chalks with a high capacity to provoke plant chlorosis and micaceous sand-glauconite chalks with a limited capacity to provoke chlorosis. We have undertaken analytical studies of water pH, total carbonate, active carbonate, and extractable iron ; these elements are often considered factors which explain the capacity of a soil to provoke chlorosis. The most discriminating extractors of iron are ammonium oxalate and E.D.T.A. E.D.T.A. seems best to characterize the quantity of iron available to the wine under the conditions of the soil and chelk substrata analysed.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Weinbaugebiet des mittleren Loiretals ist ein grosser Teil der Karbonatböden gekennzeichnet durch erstens Lehrn-Ton haltige Kreide mit hoher Chloroseanfälligkeit und zweitens durch Sand und grüner Mika haltige Kreide mit geringer Chloroseanfälligkeit.

Mehrere analytische Bestimmungen wurden durch-geführt (pH-Wert (Wasser),

Gesamtkalk, Aktiverkalk, auslangbares Eisen). Diese Bestimmungen gelten oft als Karaktetisierungsfaktoren der Chlorose in Kalkböden. Zur Extraktion vom Eisen sind Ammoniumoxalat und EDTA am diskriminiertesten. EDTA scheint am besten das Eisen zu karakterisieren das der Rebe zugeleitet wird unter den Bedingungen der analysierten Böden und Kreidesubstraten.

RESUMEN

En el viñedo intermediario del valle del rio Loire, una gran parte de los suelos carbonatados esta representado por dos importantes carácteres litográficos calcarios ; los calcarios limo-arcillosos con un poder de chlorosis elevado, y los calcarios areno-micaceos verdaceos con un feble poder de chlorosis. Nosotros hemos efectuado varias determinaciónes analíticas (pH del agua, calcio total, calcios activo, hierro extractible) que son seguido considerados come factores explicativos del poder de chlorosis de un medio calcario. Los extractibles del hierro los más discriminantes son el oxalato de amonio y el EDTA. El E.D.T.A. parece caracterisar el mejor abastecimiento de hierro a la viña en las condiciones de suelos y substratos calcarios analisados.

RIASSUNTO

Nel vigneto della bassa valle della Loira, una grande parte dei suoli carbonati è rappresentata da due importanti aspetti litologici gessosi : I gessi limosi ed argilosi con un potere importante di clorosi ed i gessi sabbiosi e glauconiosi minacei con un potere debole di clorosi. Abbiamo effettuato diversi determinazioni analitiche (Ph acqua, calcare totale, calcare attivo, ferro estraibile) che sono spesso considerati come fattori esplicativi del potere di clorosi d'un suolo calcareo. Gli estrattivi del ferro i più discriminanti sono l'ossolate di ammonio e l'EDTA. L'EDTA sembra caratterizzare il meglio la fornitura in ferro per il vigneto nelle condizioni dei suoli e substrati gessosi analizzati.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHENG K.L. et BRAY R.H., 1953. Two specific of determining copper in soil and plant material. *Ann. Che.*, **25**, 655-659.

COURBE C., 1980. Altération des roches glauconieuses. Influence sur la chlorose ferrique dans les vignobles de la Loire moyenne. *Thèse Doctorat de 3e cycle.* Université de Poitiers, 100 p.

DAGNELIE P., 1975. Théories et méthodes statistiques ; applications agronomiques. t. 2, ch. 16, Presses agronomiques de Gembloux.

DROUINEAU G., 1942. Dosage rapide du calcaire actif des sols. *Ann. Agron.*, N° 12, p. 441-450.

DUPONT J., 1978. Les problèmes de l'adaptation de la Vigne dans le vignoble de Chinon. *Thèse Doctorat 3e cycle,* Université de Poitiers, 74 p.

FULLER W.H., LANPSA K., 1975. Uptake of iron and copper by sorghum from mine tailings. *J. environ qual.*, **4**, N° 3, 417-422.

GOUGH L.P., Mc NEAL J.M., SEVERSON R.C., 1980. Predictive native plant copper, iron, Manganese and zinc levels using DTPA and EDTA soil extractants, Northen Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 1030-1034.

JACKSON M.L., 1958. Soil Chemical Analysis. *Practice Hall Inc. N.J.*, **55**.

JUSTE C., POUGET R., 1972. Appréciation du pouvoir chlorosant des sols par un nouvel indice faisant intervenir le calcaire actif et le fer facilement extractible. Application au choix des porte-greffes de la Vigne. *C.R. Acad. Agric.*, **58**, 352-357.

LEONARD C.D. et STEWARD I., 1952. Correction of iron chlorosis in citrus with chelated iron. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.*, **65**, 20-24.

LINDSAY W.L. et NORWELL W.A., 1969. Development of DTPA micronutrient soil test. *Agron. Abstr.*, p. 84.

LINDSAY W.L. et NORWELL W.A., 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Ann. J.*, **42**, 421-428.

NAVROT J. et BANIN A., 1976. Comparison of modified montmorillonite to salts and chelate as carries of micronutrients fort plants : I. Suplly of iron. *Agron. Journ.*, **68**, N° 2, 358-361.

OLSON R.V., 1965. Iron. *Agronomy*, **9**, 963-973.

POUGET R. et JUSTE C., 1972. Choix des porte-greffes de la Vigne pour les sols calcaires. *Connaissance Vigne Vin*, **6**, N° 4, 357-364.

VIRO P.J., 1955. Use of ethylendiamine tetracetic acid in soil analysis experimental. *Soil Sci.*, **79**, 459-465.