QUELQUES PROBLEMES POSES PAR LES SOLS VITICOLES ACIDES

J. DELAS et C. JUSTE
Institut National de la Recherche Agronomique
Station d'Agronomie - Centre de Recherches de Bordeaux
33140 Pont-de-la-Maye (France)

Dans la plupart des terroirs viticoles français, les sols acides couvrent des surfaces importantes : Alsace, Anjou, Beaujolais, Bordeaux, Gers, Madiran, Roussillon, etc...

L'acidité de ces sols est d'abord d'origine géologique ou pédologique : il s'agit de terrains dérivés de roches-mères acides, soumis dans certains cas à des conditions de lessivage intense qui ont éliminé le peu d'alcalins ou d'alcalino-terreux initialement présents. En outre, les applications répétées depuis plus d'un siècle de soufre élémentaire destiné à combattre l'Oïdium de la vigne ont entraîné une acidification supplémentaire particulièrement importante dans les sols sableux (POCHON et **al.**, 1962; POCHON et CHALVIGNAC, 1964). Par contre, les engrais acidifiants ne semblent pas avoir joué le rôle qu'on leur reconnaît chez les cultures annuelles, en raison du faible niveau de la fertilisation utilisée en viticulture.

Certains de ces sols viticoles acides posent des problèmes graves (BRANAS, 1974; MARCELIN, 1974) : il s'agit essentiellement de difficultés de croissance et de développement de la vigne, pouvant aller jusqu'à la mortalité des souches ; les atteintes au feuillage — déformations, décolorations, nécroses — sont parfois importantes. Ces accidents se manifestent sur l'ensemble d'une parcelle, ou bien sur une partie ou sur quelques ceps seulement ; dans certains cas, ils régressent spontanément, quand les racines atteignent un horizon moins acide.

Les causes de ces accidents ne sont pas toutes connues. Il ne semble pas qu'une concentration élevée en ions H^+ puisse être responsable des troubles observés : il est en effet tout à fait possible d'obtenir une croissance normale de plants de vigne cultivés dans une solution nutritive à pH 3, et l'on sait que des pH aussi bas ne sont pratiquement jamais rencontrés dans les sols.

Les sols acides présentent d'autres caractéristiques peu favorables au développement de la vigne : ils sont souvent pauvres en matière organique, insuffisamment pourvus en potassium, magnésium ou bore. Bien que ces facteurs jouent un rôle important dans la fertilité des terres à vigne, ils ne paraissent pas être la cause des accidents spécifiquement observés en sols acides. C'est ainsi que les carences en potassium, magnésium ou bore peuvent également se manifester avec gravité en sols neutres ou calcaires ; quand à la pauvreté en matière organique, elle est une caractéristique de beaucoup de sols viticoles.

En fait, la cause la plus fréquente des accidents est le passage à l'état ionique, en milieu acide, de métaux qui deviennent alors toxiques : il en est ainsi du cuivre, de l'aluminium et du manganèse qui semblent responsables de beaucoup de troubles particuliers aux sols acides (JUSTE, 1970).

Pour chacun de ces métaux, les études entreprises il y a une vingtaine d'années ont permis de bien préciser les conditions d'apparition des troubles, de mettre au point et d'expérimenter les méthodes de lutte. Le premier but de notre travail est de rassembler dans un même document à caractère synthétique les principaux résultats obtenus dans le vignoble français par les chercheurs qui se sont intéressés à ces questions. Notre deuxième objectif est d'attirer à nouveau l'attention sur un problème qui reste d'actualité : en effet, l'acidification de certains sols viticoles se poursuit soit par lessivage des bases en zone humide, soit par épandage de soufre, soit par l'abandon des apports traditionnels de composts, gadoues, etc... qui contribuaient, en raison de leur richesse en carbonates, à compenser la tendance à l'acidification ; de plus, certaines extensions récentes de vignobles se sont effectuées en sols très acides ; il faut bien constater, enfin, que le viticulteur est plus attentif à supprimer les risques de carence en éléments minéraux qu'à prévenir à temps les accidents liés à l'acidité des sols : cette attitude témoigne d'un certain dédain pour une technique — le chaulage — jugée trop simpliste ou de la crainte des risques attribués au surchaulage (appauvrissement en humus, blocage d'oligo-éléments).

LA TOXICITE DU CUIVRE (*)

L'utilisation de sels de cuivre, sous forme de bouillie bordelaise ou de bouillie bourguignonne, comme moyen de lutte contre le mildiou est à l'origine de l'accumulation du métal constatée dans tous les sols de vignoble. Les doses d'utilisation ont été pendant longtemps importantes et ont varié

(*) Pour une bibliographie plus complète, consulter la mise au point de DELAS (1963).

entre 15 et 50 kg de cuivre par hectare et par an jusqu'à l'apparition de produits de traitements organiques ou organométalliques — soit pendant près de 3/4 de siècle. Il n'est donc pas étonnant que les teneurs en cuivre total de beaucoup de terres à vigne dépassent aujourd'hui 500 mg par kg.

On s'est préoccupé très tôt des conséquences que pourrait avoir sur la fertilité des sols l'apport d'un métal dont la toxicité vis-à-vis des microorganismes était bien connue (GIRARD, 1895; MAQUENNE et DEMOUSSY, 1919). Ces premiers résultats furent rassurants — sans doute parce qu'ils ne tenaient pas compte de l'acidité — et ce n'est que beaucoup plus tard que furent réalisées les observations concernant les conséquences fâcheuses que revêtait dans certains cas l'accumulation de cuivre ; des accidents furent notamment signalés en Alsace (ANNE et DUPUIS, 1953), dans le Midi méditerranéen (DROUINEAU et MAZOYER, 1953, 1963), dans le Bordelais (DELAS et **al.**, 1959; DELAS, DELMAS et DEMIAS. 1960) ; les enquêtes réalisées alors mirent en évidence que les seuls caractères communs aux sols concernés étaient une teneur élevée en cuivre et un pH acide ; de même, il fut possible de confirmer en milieu contrôlé l'extrême phytotoxicité du métal en conditions acides (ANNE et DUPUIS, 1953; DROUINEAU et MAZOYER, 1962). Les troubles liés à la toxicité du cuivre se manifestent en général après arrachage d'une vieille vigne, sur la culture suivante (plante annuelle ou replantation de vigne). Les accidents consistent en une levée irrégulière, voire nulle, en une croissance très ralentie ; dans le cas de jeunes plants de vigne, on constate une mortalité élevée. Si les atteintes sur le feuillage ne sont pas caractéristiques, le système radiculaire est toujours extrêmement réduit. Les teneurs en cuivre des parties aériennes ne sont pas modifiées, l'absorption étant très limitée du fait de l'atrophie des racines et de la tendance du cuivre, comme des autres métaux polyvalents, à rester dans les racines.

Les conditions d'apparition de la toxicité sont bien connues ; pour que la toxicité puisse se manifester, il faut que le sol contienne une quantité suffisante de cuivre échangeable et qu'il soit acide. La toxicité est d'autant plus grave que le pH est plus acide. La capacité d'échange de cations intervient également : pour une même dose de métal le risque d'accident est plus élevé quand cette capacité d'échange est plus faible. Le seuil de toxicité, pour les pH inférieurs à 6, peut varier de 25 mg de cuivre échangeable par kg de terre en sol sableux (DELAS, DELMAS et DEMIAS, 1960) à 100 mg par kg pour les sols argileux (DROUINEAU et MAZOYER, 1962). Ce seuil varie également avec les plantes, les légumineuses paraissant particulièrement sensibles.

Le cuivre ne migre que lentement en profondeur, et s'accumule dans la couche de sol travaillée (DROUINEAU et MAZOYER, 1953; DELAS et **al.**, 1959).

La résistance de la vigne en place résulte du fait que son système radiculaire est établi au-dessous de la zone la plus riche ; les accidents ne surviennent que lors d'une replantation, quand les boutures de vigne sont mises en place dans la couche superficielle très riche en cuivre.

Des essais en serre et en plein champ ont montré que les effets de la toxicité du cuivre en sol acide pouvaient être fortement atténués par l'apport d'un amendement calcaire destiné à amener le pH du sol aux environs de 6.0. Pour illustrer l'efficacité de ce traitement, nous donnerons les résultats d'un essai en pots concernant la sensibilité au cuivre de boutures non racinées de vigne, cultivées dans un sol sableux, chaulé ou non.

TABLEAU I

Influence des apports de cuivre et d'amendement calcaire sur l'accroissement en poids de boutures de vigne cultivées en pots

Moyenne, en g., de 10 répétitions
(DELAS et DARTIGUES, 1970)

	Sol non chaulé (pH eau = 4.8)			Sol chaulé (pH eau = 6.1)		
	Poids initial (février)	Poids final (août)	Accroissement de poids (%)	Poids initial (février)	Poids final (août)	Accroissement de poids (%)
témoin sans cuivre	4.31	8.12	88.3	4.64	9.01	94.1
Apport de 240 mg de cuivre par Kg de terre	4.57	5.31	16.1	5.13	9.40	83.2

Dans le sol acide (pH = 4.8), l'incorporation de 240 mg de cuivre par kg de terre (ce qui correspond à environ 60 mg de cuivre échangeable par kg) a très fortement inhibé le développement des boutures ; après chaulage de ce sol (pH = 6.1), la même dose de cuivre ne modifie pratiquement plus la croissance des boutures.

Dans la pratique, l'apport d'amendement calcaire doit précéder la plantation. Si ce chaulage préalable n'est pas effectué, des accidents graves sont à redouter, qui ne trouveront une solution qu'après incorporation au sol — toujours difficile quand la plantation est faite — d'amendements à action rapide. Les effets de l'accumulation du cuivre peuvent ne se manifester que plusieurs années après la plantation, dans le cas où le labour de défoncement a enfoui en profondeur par retournement la couche superficielle la plus riche en cuivre ; le traitement est alors long et difficile, car il exige que la chaux puisse atteindre les couches profondes.

On peut s'interroger, à propos du traitement de la toxicité, sur le rôle qu'a pu jouer dans certains vignobles bordelais la fertilisation à base d'engrais phosphatés riches en chaux, qui se pratiquait assez couramment il y a quelques décennies. Les doses ont parfois été telles que des sols, acides au départ, sont devenus neutres ou légèrement basiques et ont été fortement enrichis en phosphore. Il est vraisemblable que la conséquence de l'emploi de ces engrais a été plutôt de prévenir — par action sur le pH — les risques de toxicité, que d'assurer les besoins de la vigne — au demeurant très réduits — en acide phosphorique.

Bien que l'efficacité du chaulage soit en général excellente, il faut noter que dans quelques rares sols, la toxicité continue à se manifester au-delà de la neutralité (C.N.A.B.R.L., 1966).

Un moyen complémentaire de diminuer les effets de l'excès de cuivre consiste à relever le niveau humique des sols : l'apport de matière organique aura pour effet de réduire l'activité du cuivre, soit en donnant naissance à des complexes organo-métalliques insolubles, soit en favorisant son entraînement en profondeur (DELAS, 1967).

Une solution à long terme aux problèmes posés par l'accumulation du cuivre pourrait être l'arrêt des apports, résultant de la substitution totale d'anticryptogamiques contenant peu ou pas de cuivre aux bouillies cupriques traditionnelles. Mais la vitesse à laquelle s'effectuera cette substitution — commencée depuis quelques années — dépend essentiellement de considérations concernant l'efficacité ou le prix de revient des divers produits.

LA TOXICITE DE L'ALUMINIUM (*)

Contrairement au cuivre, l'aluminium présent dans les sols acides ne résulte pas d'une intervention humaine : il provient de l'altération des sili-

(*) Pour une bibliographie plus complète, consulter la thèse de JUSTE (1965).

cates sous l'influence d'une pédogénèse particulière (climat doux et humide, présence d'une végétation acidophile donnant naissance à des substances agressives attaquant les silicates) : l'aluminium ainsi libéré reste sous forme ionique tant que le pH de précipitation de l'hydroxyde n'est pas atteint. Ce seuil de précipitation se situe aux environs de pH KCl N 4,8 ; pour des pH inférieurs, l'aluminium devient plus facilement mobile et par conséquent assimilable (C. JUSTE, 1965).

Les préoccupations concernant la toxicité de l'aluminium sont, en viticulture, plus récentes que celles concernant le cuivre. Pourtant, les surfaces concernées par l'excès d'aluminium sont beaucoup plus importantes que celles où la toxicité du cuivre se manifeste. Ce métal provoque des accidents graves dans les sols acides du Roussillon, du Bordelais, de l'Anjou, du Gers, etc..., surtout au moment des plantations, et plus particulièrement quand ces plantations succèdent à un défrichement.

On note alors une mortalité très importante des jeunes plants, parfois sur des parcelles entières. Quand les souches ne disparaissent pas, leur croissance et leur développement sont très faibles ; il n'y a pas de symptômes particuliers sur le feuillage, qui reste en général de couleur normale. Par contre le système radiculaire est profondément réduit dans son développement, et modifié dans sa morphologie (racines épaisses, enroulées) (VIDAL, JUSTE et MARCELIN, 1968; MARCELIN, 1974). Toute la végétation spontanée est absente des parcelles atteintes.

L'aluminium — comme le cuivre — ne migre pas dans les parties aériennes de la vigne, ce qui rend impossible tout diagnostic de l'intoxication par analyse des feuilles.

Le caractère phytotoxique de l'aluminium est connu depuis longtemps, au moins chez les plantes annuelles (JUSTE, 1965) ; dans le cas de la vigne, DELMAS (1967) a montré en milieu liquide l'effet dépressif de doses croissantes du métal sur le développement de la plante. (Tableau II).

La concentration en aluminium la plus élevée dans la solution entraîne une réduction considérable du développement de la vigne, qui se traduit par le faible poids de bois produit en 3 ans. Cette réduction n'est pas accompagnée de symptômes foliaires particuliers.

Les conditions d'apparition de la toxicité de l'aluminium sont bien connues : pour que le phénomène se manifeste, il faut que le pH KCl N du sol soit inférieur ou égal à 4.8 et que ce sol contienne des quantités

TABLEAU II

Variation du poids de bois de souches de Merlot cultivées en conditions hydroponiques, sous l'influence d'apports d'aluminium (en grammes)

(DELMAS, 1967)

	Origine	Après 1 an	Après 2 ans	Après 3 ans
Témoin sans aluminium dans la solution..	43	743	626	1.000
Dose faible d'aluminium (1)	38	350	549	730
Dose forte d'aluminium (2)	58	58	103	111

(1) concentration en milligrammes d'Al+++ par litre : 1964 → 10 ; 1965 → 5 ; 1966 → 2.5
(2) » » » » : 1964 → 200 ; 1965 → 50 ; 1966 → 25

d'aluminium échangeable suffisantes. On apprécie la disponibilité du métal en l'extrayant par du chlorure de potassium N (JUSTE, 1965) ; les doses d'aluminium échangeable supérieures à 50 mg par kg de terre sont toxiques pour la plupart des végétaux, y compris la vigne (*). En fait, dans les vignobles où des accidents graves se produisent, les quantités d'aluminium échangeable dépassent souvent 100 mg par kg. C'est ainsi qu'une enquête réalisée sur les sols du cru « Banyuls » — où les problèmes sont sérieux — et portant sur 114 échantillons, a fait apparaître une teneur moyenne de l'ordre de 150 mg d'aluminium échangeable par kg de terre (DELAS et JUSTE, 1969).

Il est possible d'accroître la quantité d'aluminiun échangeable présent dans le sol — donc les risques de toxicité — par apports de sels de potassium, qui vont libérer de l'aluminium retenu sur le complexe absorbant et le faire passer dans la solution du sol ; la fertilisation potassique des sols dans lesquels on n'a pas supprimé les risques de toxicité ne fera donc qu'aggraver les accidents (MARCELIN, 1974).

Le traitement de la toxicité de l'aluminium consiste à apporter une quantité d'amendement calcaire suffisante pour amener le pH du sol au-dessus du seuil critique de précipitation de l'hydroxyde d'aluminium (c'est-

(*) Ce seuil est nettement plus élevé dans les sols riches en matière organique, car les composés humiques peuvent diminuer l'activité de l'aluminium. Ce cas particulier n'intéresse pas les sols de vignoble, particulièrement pauvres en humus.

à-dire au-dessus de pH KCl N 4,8). Des essais et observations réalisés ont montré que pour la vigne (VIDAL, JUSTE et MARCELIN, 1968; MARCELIN, 1974) comme pour les plantes annuelles (JUSTE, 1965; JUSTE, LABORDE et DARRIGRAND, 1973), le chaulage était extrêmement efficace. L'ampleur du chaulage dépendra du type de sol, du pH, et l'apport devra précéder la mise en place de la vigne.

Nous donnerons un exemple de cette efficacité en rapportant les résultats obtenus par VIDAL, JUSTE et MARCELIN (1968) dans des essais établis dans les Pyrénées-Orientales.

TABLEAU III

Influence du chaulage sur la toxicité de l'aluminium sur vigne. Essais en plein champ établis dans les Pyrénées-Orientales.

(VIDAL, JUSTE, MARCELIN, 1968)

	pH KCl N	aluminium échangeable mg/Kg de sol	Reprise de la plantation
Essai de CABESTANY			
Sol témoin non chaulé	3.6	275	Nulle
Sol témoin (150 T/ha de gadoues)	5.2	Traces	Totale
Essai de PERPIGNAN			
Sol témoin non chaulé	3.4	525	Nulle
Sol témoin (150 T/ha de gadoues)	5.8	Traces	Totale

Dans les sols non chaulés, contenant plusieurs centaines de mg d'aluminium échangeable par kg de terre, les échecs de plantation de la vigne ont été complets ; un chaulage massif (150 tonnes par hectare de gadoues très minéralisées, soit 4,5 tonnes par hectare de CaO) a fait passer le pH au-dessus de 5, insolubilisé totalement l'aluminium, et assuré une reprise parfaite de la plantation.

LA TOXICITE DU MANGANESE

Comme dans le cas de l'aluminium, le manganèse présent en excès dans les sols ne provient pas d'apports réalisés par l'homme ; il est d'origine géologique ou pédologique.

La toxicité du manganèse intéresse des surfaces beaucoup plus réduites que la toxicité du cuivre ou de l'aluminium ; elle a été surtout observée et étudiée dans les Pyrénées-Orientales, où elle provoque des dépérissements graves, le plus souvent limités à quelques souches par parcelle, accompagnés de symptômes caractéristiques (VIDAL, 1963 et 1974; VIDAL et **al.**, 1969; MARCELIN, 1974). Un des symptômes les plus constants est la présence de taches noirâtres sur les sarments (mérithalles ou nœuds), sur les vrilles, les pédoncules de grappes et parfois les pétioles. Ces taches correspondent à des accumulations localisées de manganèse (FORT, 1970). Le feuillage est également atteint : le limbe devient involuté ou enroulé, et présente des nécroses d'abord marginales, mais qui peuvent intéresser l'ensemble de la feuille ; dans les cas les plus graves, les feuilles se dessèchent et tombent. Les grappes sont peu nombreuses, coulure et millerandage sont très importants. Les différents cépages ont des sensibilités variables à l'excès de manganèse : c'est ainsi que le Maccabeo et le Carignan sont beaucoup plus sensibles que le Grenache.

Les études entreprises dans le but de déterminer la cause de ces accidents (VIDAL et **al.**, 1969) ont montré que les sols où ils se produisaient étaient très acides, et riches en manganèse réductible (déterminé selon BITTEL, 1957).

Ces accidents s'accompagnent de teneurs très élevées des organes foliaires en manganèse (jusqu'à plus de 3.000 mg par kg de matière sèche). A titre d'exemple, nous donnons dans le tableau IV les résultats d'analyses de sols et de feuilles correspondant à des souches présentant ou non les symptômes d'intoxication manganique.

TABLEAU IV

Résultats d'analyses de sols et de feuilles d'un vignoble présentant par endroit des symptômes de toxicité du manganèse

	Partie saine	Partie présentant des symptômes de toxicité du manganèse
Analyse de sol		
- pH	4.7	4.6
- manganèse réductible (en mg/Kg)	90	178
Analyse de feuilles (en mg/Kg)		
- manganèse dans les limbes	321	735
- manganèse dans les pétioles	513	3486

La phytotoxicité du manganèse sur la vigne a été étudié en conditions contrôlées par FORT (1970), qui a noté qu'en culture sur substrat inerte arrosé par des solutions nutritives, l'excès de manganèse provoque une chlorose très voisine de la chlorose ferrique, contrairement à ce qui se passe en plein champ.

La dynamique du manganèse dans les sols est particulièrement complexe ; l'assimilabilité du métal dépend du pH, mais aussi du potentiel d'oxydo-réduction et du degré d'hydratation du sol (JUSTE, 1970) : c'est dire combien il est difficile d'apprécier par l'analyse de sol — en dehors du pH — les facteurs qui permettent de conclure à l'existence d'une toxicité manganique. Il semble cependant que les risques soient sérieux dans les sols dont le pH est inférieur à 5, et qui contiennent plus de 100 mg de manganèse réductible par kg de terre.

Mais le diagnostic de la toxicité se trouve facilité car le manganèse — contrairement au cuivre et à l'aluminium — pénètre aisément dans le végétal et y provoque des symptômes assez spécifiques. On peut toutefois observer de fortes concentrations de manganèse (en dehors de tout apport par des produits anticryptogamiques contenant du manganèse) dans les feuilles de vignes dont la croissance et le développement sont tout à fait normaux.

Il est donc indispensable, pour poser un diagnostic avec le maximum de certitude, de tenir compte à la fois de l'aspect de la végétation, de l'analyse foliaire et de l'analyse de sol.

Le chaulage constitue un traitement efficace de la toxicité du manganèse, ainsi que l'ont démontré les essais réalisés en plein champ dans les Pyrénées-Orientales (VIDAL, 1963 et 1974; VIDAL et **al.,** 1969; MARCELIN, 1974) et des expériences sous serres (FORT. 1970) ; le chaulage — jusqu'à pH 6 environ — fait disparaître les symptômes caractéristiques, diminue la teneur des feuilles en manganèse et permet un développement normal de la vigne. Mais dans tous ces essais, les amendements calcomagnésiens, ou l'association amendement calcaire — sel de magnésium, se révèlent plus efficaces que les amendements calcaires purs.

Certains amendements organiques se sont révélés aptes à corriger la toxicité du manganèse (VIDAL et **al.,** 1969) ; c'est le cas de vieilles gadoues, fortement minéralisées, qui agissent en fait par les carbonates et oxydes de calcium qu'elles contiennent. En ce qui concerne les amendements organiques vrais, la prudence s'impose : en effet si leur enfouis-

sement provoque des phénomènes de réduction, ils peuvent au contraire accroître l'assimilabilité du manganèse, et augmenter les risques de toxicité.

CONCLUSION

Il ne suffit pas qu'un sol soit acide pour que les accidents de végétation s'y produisent : il faut en outre qu'il contienne des quantités importantes, et sous forme assimilable, de cuivre, d'aluminium ou de manganèse. Mais les phénomènes de toxicité que nous venons de rappeler ne rendent vraisemblablement pas compte de tous les troubles observés en sol acide — grillure des feuilles par exemple — ; d'autres hypothèses doivent être vérifiées : carence en calcium (BRUZAU, JUSTE et POUGET, 1968), carence en molybdène, etc...

Quoiqu'il en soit de tous les facteurs qui interviennent dans ce que les anglo-saxons englobent sous l'expression « soil acidy complex », le traitement, et surtout la prévention de ces troubles sont aisés (nous ne parlerons pas de la limitation éventuelle des apports de cuivre, qui est du domaine des pathologistes) : toute plantation ou replantation de vigne en zone non calcaire soit être précédée de la détermination de pH du sol (pH eau et pH KCl N), que l'on pourra compléter par le dosage du cuivre échangeable (extrait par l'acétate d'ammonium N), de l'aluminium échangeable (extrait par le chlorure de potassium N) et du manganèse réductible. Dans les sols dont le pH eau est inférieur à 6 (ou bien dont le pH KCl N est inférieur à 4.8 pour les sols riches en aluminium échangeable), il convient d'effectuer un apport d'amendement calcaire destiné à relever le pH eau jusqu'aux environs de 6 (si on redoute un excès de manganèse, il faut utiliser un amendement calcomagnésien).

Les quantités à mettre en œuvre dépendent du pH du sol, de la profondeur, de sa teneur en argile et matière organique ; les essais réalisés en plein champ montrent qu'en tout état de cause ce chaulage doit être massif, et effectué avec des produits à action rapide.

L'amendement sera mélangé au sol au cours du labour de défoncement.

Ce traitement, correctement réalisé — et accompagné de la fumure de fond éventuellement nécessaire — permettra une bonne reprise de la plantation et un développement normal des souches. Par la suite, il faudra contrôler l'évolution du pH du sol, et en cas d'acidification nette, effectuer des chaulages d'entretien périodiques.

Le traitement des troubles qui surviennent en cours de végétation sur des vignes établies en des sols insuffisamment chaulés au départ est beaucoup plus long et délicat ; le diagnostic de l'origine des accidents observés dans de telles conditions sera établi surtout d'après l'analyse de sol ; les symptômes foliaires peuvent être peu caractéristiques et la composition des feuilles difficile à interpréter (le cuivre et l'aluminium ne migrent pas ; l'accumulation de manganèse n'est pas toujours accompagnée de troubles de croissance). Le traitement consiste à réaliser des apports massifs, en profondeur si possible, d'amendements calcaires à action rapide.

Manuscrit reçu le 10 Juin 1975.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNE P. et DUPUIS M., 1953. Toxicité du cuivre à l'égard de quelques plantes cultivées. **C.R. Acad. Agric., 39,** 58-60.

BITTEL R., 1957. Etude d'une technique de détermination du manganèse « actif » du sol. Résultats expérimentaux. **Ann. Agron., 8,** 91-109.

BRANAS J., 1974. Viticulture. 1 vol., 990 pages, Montpellier.

BRUZAU F. (Mlle), JUSTE C. et POUGET R., 1968. Mise en évidence d'une carence en calcium chez la Vigne cultivée en solution nutritive. **C.R. Acad. Sci.** Paris, **266,** 116-118.

Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône et Languedoc (CNABRL) 1966. Etude de la toxicité d'apports de sulfate de cuivre effectués en 1962, et à différents niveaux, associés ou non à un amendement calcaire (Dolomie). **C.R. activité,** champ d'essai d'Asport (îlot 8).

DELAS J., 1963. La toxicité du cuivre accumulé dans les sols. **Agrochimica, 7,** 258-288.

DELAS J., 1967. Liaisons entre cuivre et matière organique dans un podzol développé sur sable des Landes et accidentellement enrichi en cuivre. **Ann. Agron., 18,** 17-29.

DELAS J. et DARTIGUES A., 1970. Exemple de problèmes régionaux. II. — Le Sud-Ouest. **Ann. Agron., 21,** 603-615.

DELAS J., DELMAS J. et DEMIAS C. (Mme), 1960. Etude par dilution isotopique du cuivre incorporé dans les sols depuis 70 ans. **C.R. Acad. Sci.,** Paris, **250,** 3867-3869.

DELAS J., DELMAS J., RIVES M. et BAUDEL C. (Mlle), 1959. Toxicité du cuivre dans les sols viticoles du Sud-Ouest Atlantique. **C.R. Acad. Agric., 45,** 651-655.

DELAS J. et JUSTE C., 1969. Analyses chimiques des sols du cru « Banyuls ». Rapport ronéotypé, 6 pages.

DELMAS J., 1967. Effet toxique de l'aluminium sur **Vitis vinifera,** variété « Merlot » cultivée en milieu contrôlé. **C.R. Acad. Sci.** Paris, **265,** 1619-1622.

DROUINEAU G. et MAZOYER R., 1953. Toxicité du cuivre et évolution des sols sous l'influence des antiparasitaires. **C.R. Acad. Agric., 39,** 390-392.

DROUINEAU G. et MAZOYER R., 1962. Contribution à l'étude de la toxicité du cuivre dans les sols. **Ann. Agron., 13,** 31-53.

FORT B., 1970. Influence d'une alimentation excessive en manganèse sur la Vigne (**Vitis Vinifera** variété Maccabeo). **Thèse 3e cycle, Bordeaux.**

GIRARD A., 1895. Sur l'accumulation dans le sol des composés cuivriques employés pour combattre les maladies parasitaires des plantes. **C.R. Acad. Sci.** Paris, **120,** 1147-1152.

JUSTE C., 1965. Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest Atlantique : application à leur mise en valeur. **Thèse, Nancy.**

JUSTE C., 1970. Actions toxiques des oligo-éléments. **Ann. Agron., 21,** 549-571.

JUSTE C., LABORDE A. et DARRIGRAND M., 1973. Evolution de la teneur en matière organique d'un sol de touyas des Pyrénées-Atlantiques soumis pendant 10 ans à la monoculture intensive du Maïs. **C.R. Acad. Agric., 59,** 1120-1124.

MAQUENNE L. et DEMOUSSY E., 1919. Sur la richesse en cuivre des terres cultivées. **C.R. Acad. Sci.** Paris, **169,** 937-942.

MARCELIN H., 1974. La vigne dans les sols acides du Roussillon. **Progr. Agr. Viti., 174,** 548-555 et 570-576.

POCHON J. et CHALVIGNAC M.A., 1964. Oxydation biologique du soufre et dégradation des sols de vignoble. **Agrochimica, 9,** 155-161.

POCHON J., LEBORGNE L., TARDIEUX P. et FALCOU-SIGRAND J., 1962. Influence des doses élevées de cuivre et de soufre sur la microflore bactérienne des sols viticoles (Médoc). **Ann. Inst. Pasteur** Paris, **103,** 614-622.

VIDAL J.P., 1963. Chronique. **Bull. Techn. Pyr. Orient., 26,** 44-45.

VIDAL J.P., JUSTE C. et MARCELIN H., 1968. Echec de reconstitution du vignoble en terre acide en relation avec la présence d'aluminium mobile. **Progr. Agr. Viti., 168,** 233-235.

VIDAL J.P., JUSTE C., DELAS J. et MARCELIN H., 1969. Excès de manganèse et dépérissement de la vigne dans les sols acides du Roussillon. **Bull. Techn. Pyr. Orient., 50,** 3-19.

VIDAL J.P., 1974. Les terres acides et le vignoble. **Bull. Techn. Pyr. Orient., 73,** 99-103.