Connaissance Vigne Vin, 1984, **18**, N° 2, 95-110.

INFLUENCE DE LA CARENCE OU DE L'EXCES DE FER APPORTE PAR VOIE FOLIAIRE SUR LA COMPOSITION MINERALE ET BIOCHIMIQUE, ET SUR LES PARAMETRES DE LA PRODUCTION DE VIGNES CHLOROTIQUES.

M. FREGONI, M. BOSELLI, C. BARTOLETTI et G. DOROTEA

Chaire de Viticulture - Université Catholique
Piacenza (Italie)

La chlorose ferrique de la vigne est un des problèmes les plus importants qui aujourd'hui encore affecte de nombreuses zones viticoles dans le monde. En Italie aussi, la chlorose ferrique est très courante dans les terrains calcaires (pH $>$ 7,5).

La carence en fer a été reconnue pour la première fois sur la vigne en 1843 et les premières études sur celle-ci ont été effectuées par GRIS (1844).

La grande extension de la chlorose ferrique et ses conséquences défavorables sur la production, justifient la grande masse de travaux effectuée par les centres de recherches du monde entier sur le sujet.

La chlorose se manifeste plus facilement dans des conditions particulières : dans les sols compacts ou mal drainés et dans les terrains calcaires. La diminution de l'absorption du fer est conditionnée par la faible aération du sol, par un accroissement réduit des racines et par la salinité. La chlorose ferrique peut aussi être induite par d'autres causes : l'excès de bicarbonates solubles et la haute concentration en P et Cu.

La thérapie de la chlorose ferrique est aussi difficile que sa prévention. L'utilisation de porte-greffes résistants reste le meilleur remède. Toutefois, dans les vignobles qui présentent une carence en fer, on peut employer des produits à base de fer qui sont apportés au sol ou pulvérisés sur les feuilles.

L'objet de cette étude est de mettre en évidence quelques modifications biochimiques chez les plantes atteintes de chlorose et de montrer les effets de quelques applications foliaires sur la physiologie de la vigne et sur la production (quantité et qualité).

MATERIEL ET METHODES

Les essais ont été effectués sur un vignoble de *Sangiovese*, greffé sur 420 A et conduit en Guyot double, situé à Poggio di Ancona, à 200 m d'altitude environ. Cette vigne a toujours manifesté des symptômes de chlorose ferrique mais d'une manière irrégulière.

L'analyse du sol (Tableau I) révèle un taux de calcaire actif de 16,8 p. 100 et un pH de 8,2. Pour la thérapie de la chlorose ferrique, il a été employé 4 produits appliqués sur les feuilles :

— citrate de fer et d'ammonium
— Versenol
— Veronia
— Göe-Mar Fe C

TABLEAU I

Caractéristiques chimiques et granulométriques du sol de la localité (Poggio di Ancona) où a eu lieu l'essai

Caractéristiques chimiques		Caractéristiques granulométriques	
pH	8,2	> 1 mm %	0,5
Carbonates totaux ($CaCO_3$) %	50,8	Sable %	35,3
Calcaire actif %	16,8	Limon %	21,6
Matière organique %	0,39	Argile %	42,6
Azote total %	0,66		
P_2O_5 assim. ppm	139		
K_2O assim. ppm	32		
MgO %	15,7		
Chlorures	0,03		
Fe assim. ppm	258		
Mn » »	207		
Zn » »	3		
Cu » »	7		
B » »	89		

La composition chimique des produits employés est indiquée dans le tableau II.

5 traitements on été effectués aux stades phénologiques suivants :

— rameaux avec 3-4 feuilles,

— feuilles étalées et grappes bien visibles,
— grappes séparées,
— quelques jours avant la floraison,
— 15 jours après la pleine floraison.

TABLEAU II

Protocole expérimental et liste des produits employés dans la thérapie de la chlorose ferrique sur « Sangiovese »

Traitements en comparaison	Composition chimique des produits employés	Etat physique	Quantité employée par hectare
TES (Témoin)			
CFA (Citrate de fer et d'ammonium)	Citrate de fer et d'ammonium	Poudre	1000 g
VRS (Versenol)	NaFe HEDTA (5% de Fe)	Liquide	3 l
VER (Véronia)	Nitrate de fer additionné d'urée (Fe pas indiqué)	Liquide	3 l
GMR (Göe-Mar Fe C)	Complexe organique dérivé d'algues marines avec 4 % de Fe	Liquide	2 l

Sur les vignes soumises aux traitements les paramètres suivants ont été contrôlés :

— teneur des feuilles en chlorophylle « a » et « b »
— teneur des feuilles en macro et oligoéléments
— teneur des feuilles en aminoacides,
— production de raisin par cep (Kg)
— poids moyen de la grappe (g)
— pourcentage de baies normales par grappe
— pourcentage de baies millerandées par grappe
— sucre réfractométrique du moût
— acidité totale du moût

L'évaluation de l'influence des différents produits sur les plantes atteintes de chlorose ferrique, dans ses divers aspects, a été faite au moyen d'une méthode classique de statistique descriptive des facteurs multivariants : l'analyse en composantes principales (A.C.P.).

La méthode de l'analyse en composantes principales permet de décrire la structure d'un ensemble de N échantillons (traitements), carac-

térisés par M variables (paramètres quantitatifs) d'origine, au moyen de nouvelles variables dérivées par corrélation, dont chacune est responsable d'une part déterminée de la variation observée. Ces nouvelles variables sont les « composantes principales » de la variation (PIELOU, 1977).

RESULTATS

I. ASPECTS RELATIFS A LA VARIATION DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE ET EN MACRO ET MICROELEMENTS

Les valeurs des concentrations en macro et oligoéléments et en chlorophylle totale, indiquées sur le tableau III, ont été examinées avec la méthode des composantes principales.

TABLEAU III

Composition chimique et teneur en chlorophylle des feuilles de « Sangiovese »

Traitements	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	B ppm	Fe ppm	Mn ppm	Chlorophylle a	b	totale
TES	1,61	0,13	0,60	3,08	0,34	50	130	58	2,02	1,33	3,34
CFA	1,39	0,12	0,42	2,70	0,38	71	319	69	1,56	1,15	2,71
VRS	1,30	0,11	0,53	2,24	0,27	72	163	44	2,02	1,48	3,50
VER	1,49	0,13	0,62	2,62	0,43	68	253	79	2,02	1,28	3,30
GMR	1,46	0,12	0,67	2,26	0,31	54	269	44	1,61	1,19	2,80

La première et la deuxième composante principale expliquent 74,03 p. 100 de la variance totale. La première composante prend en charge positivement les macroéléments (N, P, Ca et Mg) ; la deuxième composante principale, positivement les microéléments (Fe, B, Mn), négativement le K et la chlorophylle (CHL).

Les valeurs de la première composante pour chaque point d'observation (traitements avec différents produits) sont indiquées sur la figure 1. Sur la même figure est représenté le « factor pattern », c'est à dire l'ensemble des coefficients de corrélation entre la première composante et les variables d'origine. On remarque que les différents traitements réduisent, en général, les concentrations en N, P, Ca et Mg ; le Veronia est le produit qui, par rapport au témoin, provoque la plus petite diminution de macroéléments ; le Versenol, au contraire, provoque la réduction plus importante.

ISVV

L'ordre de réduction des macroéléments provoqués par les traitements est le suivant :

VRS > GMR > CFA > VER > TES

En principe, ces différences sont dues aux principes actifs des produits employés.

En effet :

— le Versenol, qui contient de l'HEDTA, provoque une réduction considérable du Calcium, avec la formation de complexes HEDTA-Ca,

— le Veronia, qui contient de l'azote nitrique et uréique, maintient à un niveau suffisant l'azote des feuilles.

Sur la figure 2 sont indiquées, sous forme d'histogrammes, les valeurs de la deuxième composante principale pour chaque point d'observation et le « factor pattern ». Par rapport au témoin, tous les traitements augmentent les microéléments Fe, B et Mn, en réduisant, en même temps, les teneurs en K et en chlorophylle totale. La figure 3 représente les relations entre les teneurs en pigments chlorophylliens et la teneur en fer, pour lesquelles on ne relève pas de corrélations statistiquement significatives. Ce résultat est en accord avec ceux de MORRIS et SWANSON (1980). On sait qu'il est difficile d'obtenir une bonne corrélation entre la chlorophylle et le fer total dans les feuilles ; en effet, certains chercheurs soutiennent que la synthèse de la chlorophylle dépend d'une certaine fraction biochimiquement active du fer contenu dans les feuilles (De KOCK, 1981). Les teneurs en chlorophylle semblent davantage être en corrélation avec une certaine fraction de fer foliaire extractible qu'avec le fer total du même organe, bien que, à cet égard, il y ait des avis opposés. TERRY et LOW (1982) prétendent en effet que la teneur en chlorophylle foliaire est liée avec la quantité de fer des lamelles des chloroplastes.

II. ASPECTS RELATIFS A LA TENEUR EN AMINOACIDES

Les valeurs moyennes des concentrations en aminoacides libres, neutres, basiques et acides, reportées dans le tableau IV, ont été examinées avec la méthode des composantes principales. La première et la deuxième composante principale expliquent 83,18 p. 100 de la variance totale, la troisième composante 10,28 p. 100. Sur la figure 4 sont reportés les histogrammes des valeurs de la première composante principale qui a, à sa charge, la presque totalité des aminoacides libres et explique à elle seule 58,65 p. 100 de la variance totale. On remarque, à l'exception du traitement avec Veronia qui contient de l'azote, une réduction générale des concentrations en aminoacides par rapport au témoin. En effet, une caractéristique des feuilles carencées en fer est d'avoir une teneur élevée en aminoacides libres (De KOCK et MORRISON, 1958). Quand le niveau du

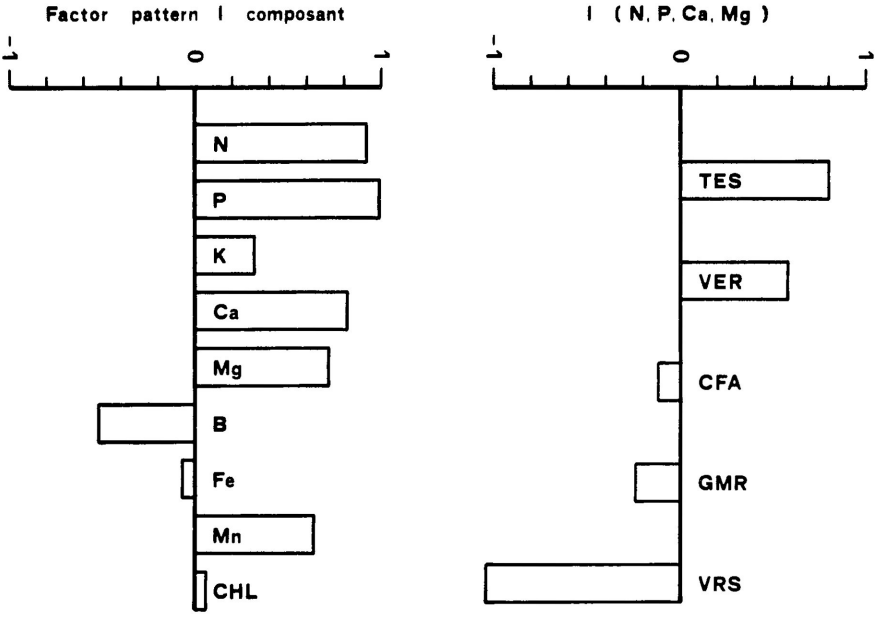


Fig. 1. — Valeurs de la 1re C.P. (composante principale) pour les macro et les oligoéléments et « factor pattern » correspondant

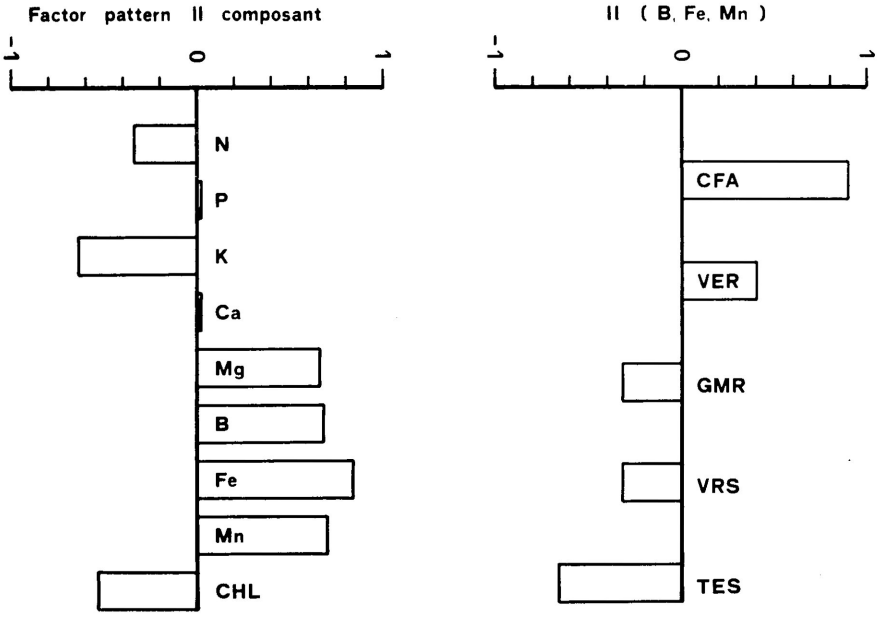


Fig. 2. — Valeurs de la IIme C.P. pour les macro et les oligoéléments et « factor pattern » correspondant

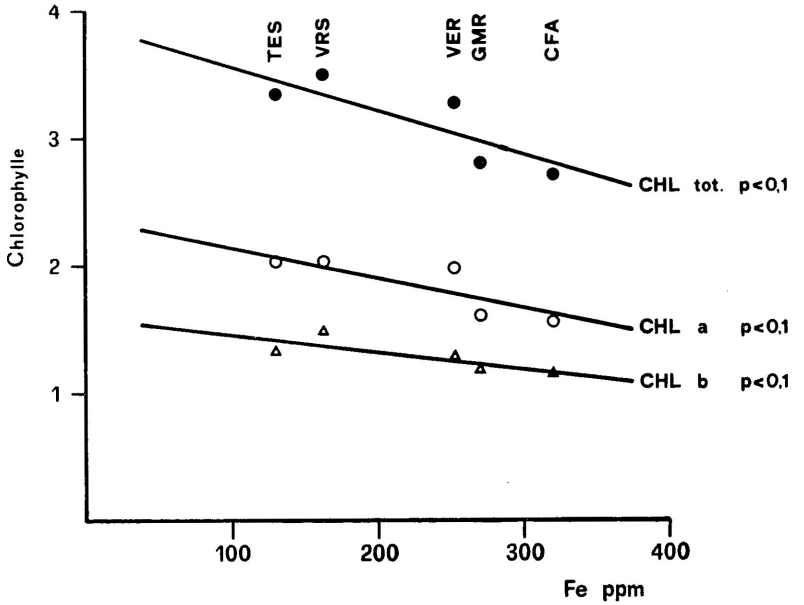


Fig. 3. — Relation entre la teneur en pigments chlorophylliens et la teneurs en fer des feuilles de « Sangiovese » soumis à des traitements foliaires à base de fer.

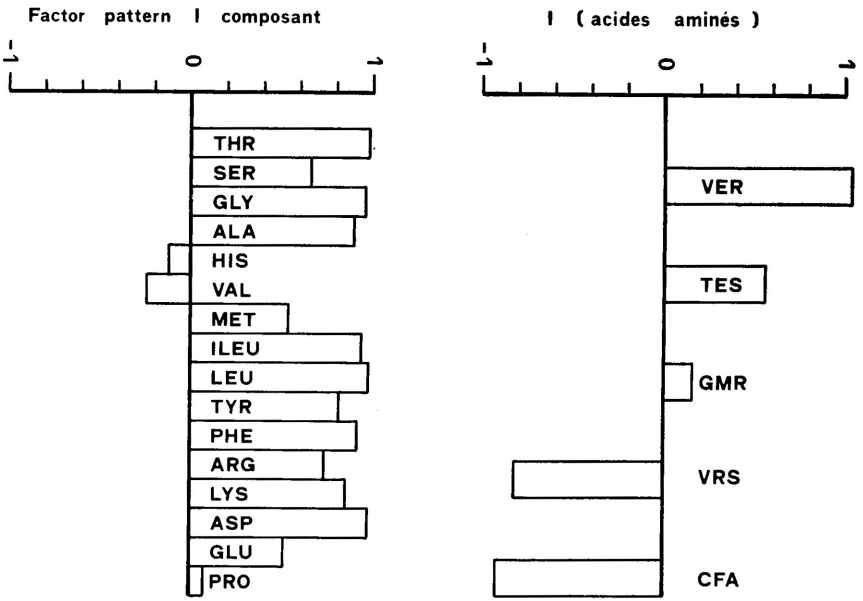


Fig. 4. — Valeurs de la 1re C.P. pour les aminoacides et « factor pattern » correspondant.

fer redevient normal, les aminoacides libres totaux diminuent sensiblement Toutefois, les aminoacides méthionine, valine et histidine augmentent à la suite des traitements avec GMR, VER et VRS, d'après les valeurs de la deuxième composante principale (figure 5).

TABLEAU IV

Teneur en aminoacides des feuilles de Sangiovese traitées avec différents composés à base de fer

Aminoacides	Traitements				
	TES	CFA	VRS	VER	CMR
HIS	0,08	0,11	0,14	0,14	0,11
THR	0,42	0,39	0,38	0,43	0,41
SER	0,43	0,44	0,42	0,47	0,44
GLY	0,50	0,46	0,46	0,50	0,48
ALA	0,54	0,48	0,48	0,52	0,51
VAL	0,51	0,52	0,60	0,55	0,58
MET	0,09	0,08	0,11	0,13	0,10
ILEU	0,40	0,36	0,37	0,42	0,41
LEU	0,78	0,66	0,70	0,80	0,75
TYR	0,34	0,22	0,18	0,29	0,30
PHE	0,54	0,36	0,38	0,50	0,48
ARG	0,36	0,30	0,38	0,47	0,38
LYS	0,37	0,33	0,36	0,41	0,36
ASP	0,95	0,86	0,89	1,00	0,92
GLU	1,08	1,09	0,94	1,09	1,05
PRO	0,34	0,38	0,35	0,38	0,42
TOTAL	7,73	7,04	7,14	8,10	7,70

Sur la figure 6 sont reportées les variations des valeurs de la troisième composante principale qui prend en charge négativement les aminoacides proline, acide glutamique et sérine. Le traitement avec Versenol ne modifie pas, par rapport au témoin, la concentration de ces aminoacides.

La figure 7 représente la relation entre la troisième composante (dont les valeurs d'origine, pour la commodité de l'interprétation, ont été changées de signe) et la teneur en fer foliaire. On remarque une parfaite corrélation entre le témoin et les traitements effectués avec Véronia, Göe-Mar et Citrate de fer et d'ammonium ($P \leqslant 0,01$) ; celà indique que ces produits provoquent une sensible augmentation du fer, mais aussi une augmentation simultanée de proline, sérine et acide glutanique.

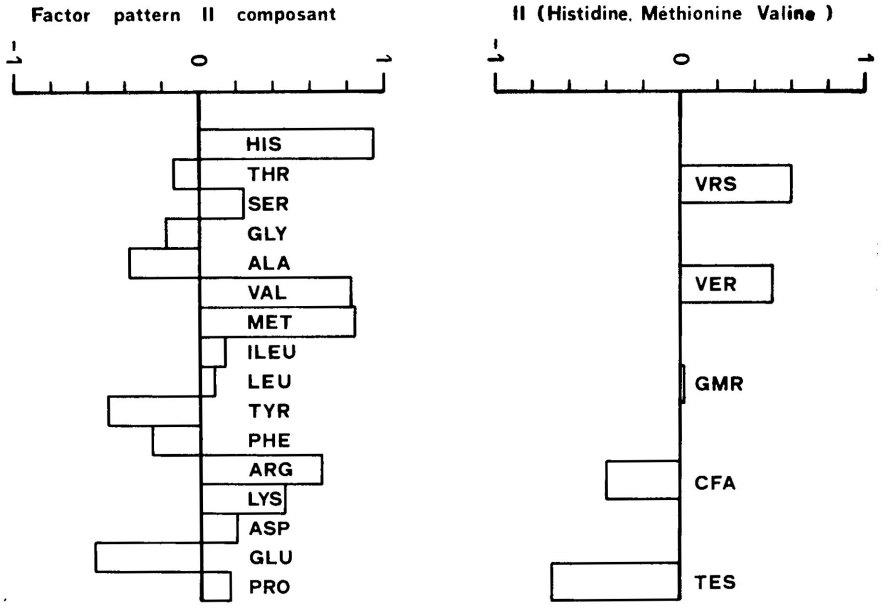


Fig. 5. — Valeurs de la II^{me} C.P. pour les aminoacides : Histidine, méthionine, valine et « factor pattern » correspondant.

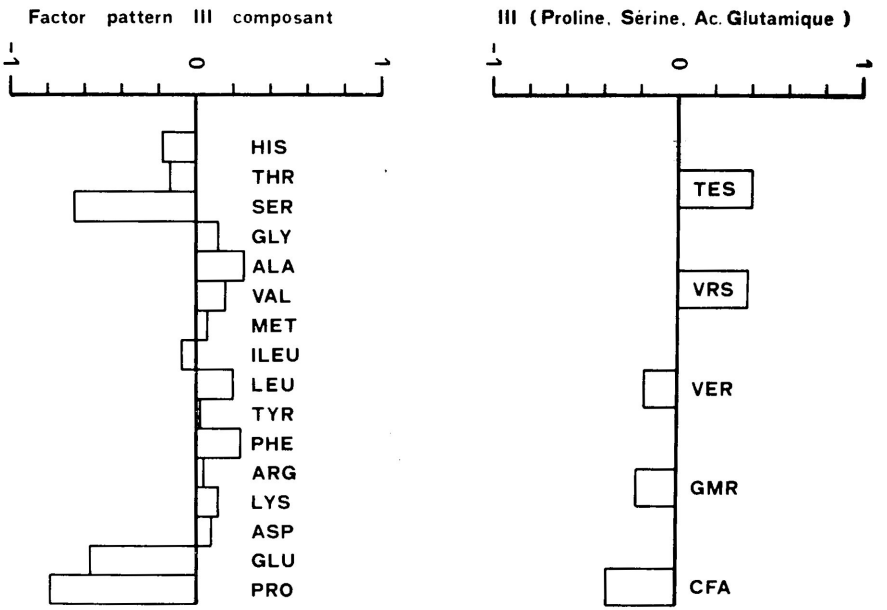


Fig. 6. — Valeur de la III^{me} C.P. pour les aminoacides proline, acide glutamique, sérine et « factor pattern » correspondant.

III. ASPECTS RELATIFS A LA PRODUCTION

Les valeurs moyennes des données suivantes : production par cep (PC), poids moyen de la grappe (PG), pourcentage de baies normales par grappe (BN), sucre du moût (Sr) et acidité totale (Ac) sont mentionnées sur le tableau V. Elles ont été également examinées avec la méthode de l'analyse des composantes principales. La première et la deuxième composante principale expliquent 86,47 p. 100 de la variance totale.

TABLEAU V

Données de la production de « Sangiovese » traité avec des produits à base de fer

Traitements	Production M/cep (Kg)	Poids M/grappes (g)	Baies normales (%)	Baies millerandées (%)	Sucres (réfractométriques %)	Acidité totale (1)
TES	3,2	147,2	60	40	21,87	7,96
CFA	3,7	133,6	56	44	22,26	7,52
VRS	4,3	140,6	61	39	22,10	7,88
VER	3,9	137,6	62	38	23,02	7,62
GMR	2,3	146,1	65	35	22,88	7,59

(1) g d'acide tartrique par litre.

Les valeurs de la première composante principale et le « factor pattern » correspondant sont reportés sur la figure 8. La composante prend en charge positivement le pourcentage de baies normales par grappe et le poids moyen de la grappe, négativement les baies millerandées et la production de raisin par cep.

La figure 9 représente les valeurs de la première composante en fonction des concentrations en fer des feuilles pour chaque traitement. On remarque que le traitement avec le Göe-Mar provoque une réduction de la production par cep et une augmentation du poids moyen de la grappe due à un pourcentage élevé de baies normales, alors que le traitement avec le citrate de fer et d'ammonium augmente la production avec des grappes de poids inférieur comportant un plus grand pourcentage de baies millerandées. Les traitements avec Véronia et Versenol se révèlent plus équilibrés. Le Versenol est le produit qui provoque la plus forte augmentation

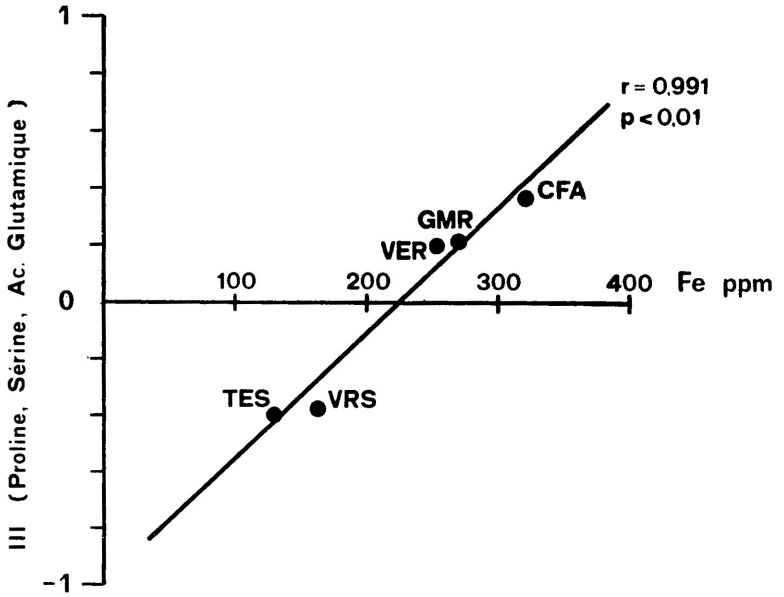


Fig. 7. — Relation entre la III[me] C.P. (aminoacides proline, sérine et acide glutamique) et la teneur en Fe foliaire.

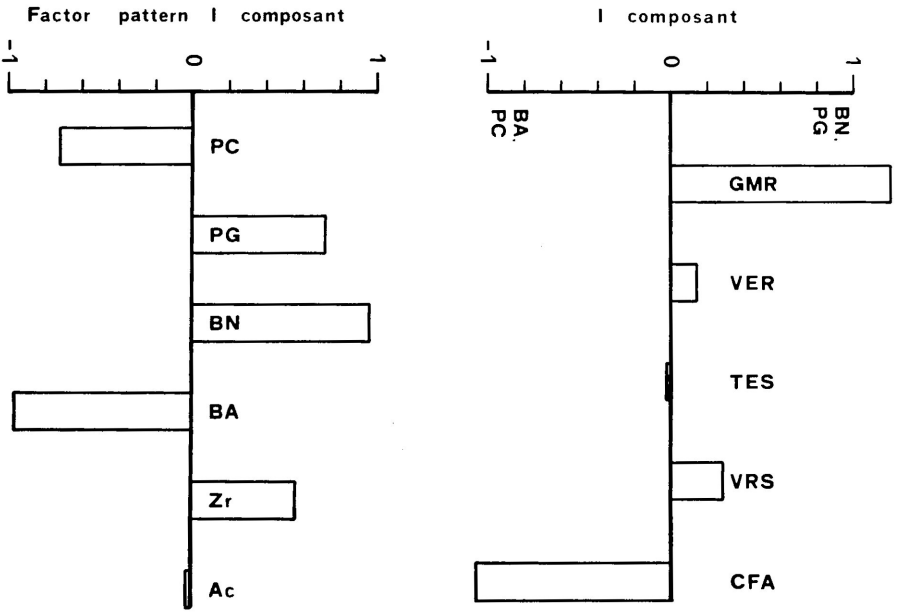


Fig. 8. — Valeurs de la I[re] C.P. pour les données de la production et « factor pattern correspondant.

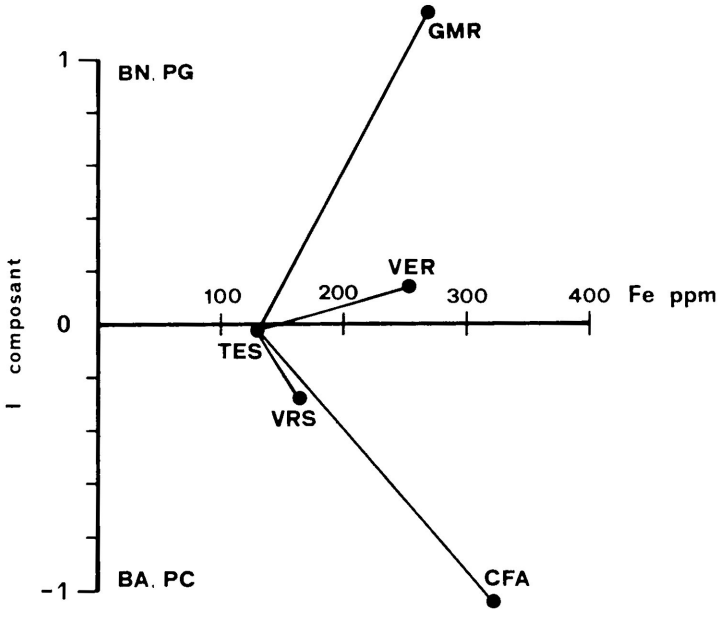


Fig. 9. — Relation entre la 1re C.P. (données de la production) et teneur en Fe foliaire.

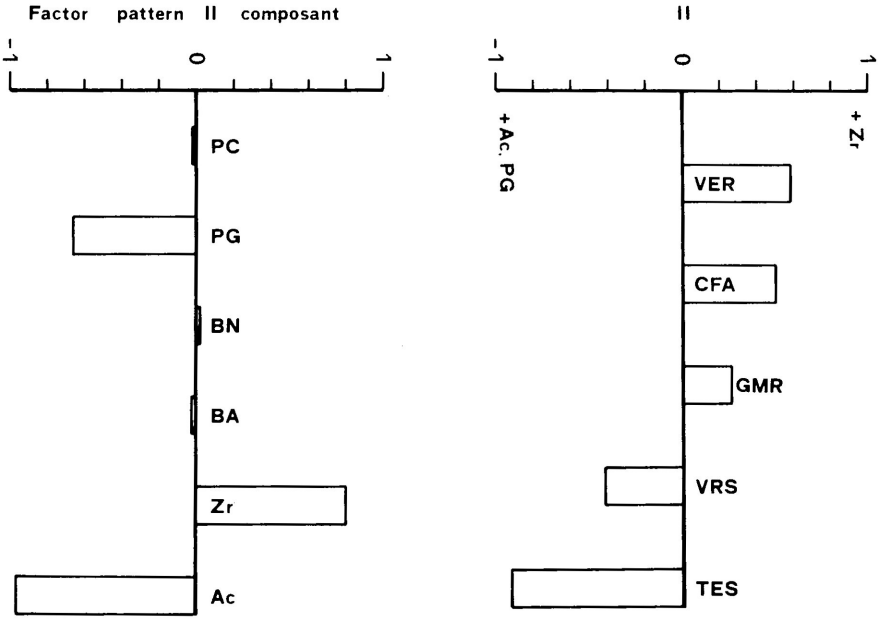


Fig. 10. — Valeurs de la IIme C.P. pour quelques données de la production et « factor pattern » correspondant.

de production par rapport au témoin, avec un équilibre relatif entre baies millerandées et baies normales.

La deuxième composante principale (figure 10) prend en charge positivement la teneur en sucre du moût, et négativement, l'acidité et le poids moyen de la grappe. En général, les traitements augmentent la richesse en sucre selon l'ordre suivant :

VER > CFA > GMR > VRS > TES

D'après les valeurs exprimées par la deuxième composante principale en fonction des concentrations en fer des feuilles (figure 11), on note que la teneur en sucre du moût est plus élevée chez les plantes traitées avec le citrate de fer et d'ammonium.

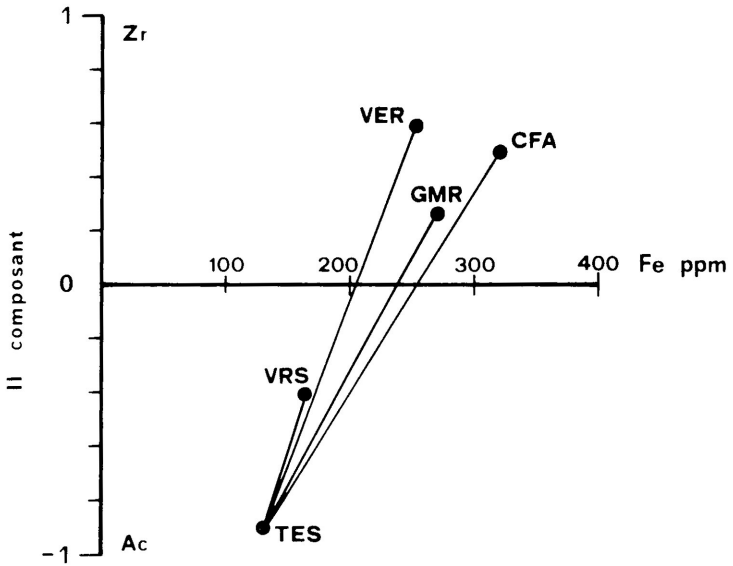


Fig. 11. — Relation entre la IIme C.P. (teneurs en sucre et acidité) et teneur en Fe foliaire.

CONCLUSIONS

Les traitements foliaires des ceps chlorotiques avec des produits à base de fer, tels que Veronia, Versenol, Göe-Mar et Citrate de fer d'ammonium, selon les modalités et les critères conseillés par les fabricants des produits, augmentent considérablement la concentration en fer foliaire par rapport au témoin non traité.

A la suite des traitements, on assite à une réduction des macro-éléments, plus ou moins variable selon la formulation organique ou inorganique avec laquelle le fer est combiné.

Les produits, d'après les résultats obtenus, agissent à différents niveaux métaboliques, en particulier sur la photosynthèse, sur le cycle du citrate (cycle de Krebs) et sur la chaîne respiratoire.

En général, l'application de fer par voie foliaire entraîne une légère réduction de la teneur en pigments chlorophylliens, ce qui peut traduire, au niveau cellulaire, un déséquilibre énergétique entre consommation et production. Le stress métabolique est mis en évidence par la plus grande production de proline et de ses aminoacides précurseurs.

COOMBE et MONK (1979) avaient également indiqué que dans les états de stress, on observe une augmentation de proline dans les feuilles ; en outre, l'accumulation de cet aminoacide est associée à la sénescence de la plante. Par contre, il n'existe aucune corrélation entre la teneur en proline dans les baies et les écarts de stress (FREEMAN et KLIEWER, 1983).

D'après ce qui vient d'être exposé, il apparaît évident que les différentes formulations des produits essayés, même si elles augmentent la teneur en fer foliaire, n'ont pas une incidence remarquable sur les paramètres de la production et, en général, ne changent pas positivement les mécanismes métaboliques qui sont à la base du phénomène de la chlorose ferrique. La raison peut en être cherchée, d'une part dans la phytoxicité du fer qui arrive dans la feuille brutalement, à hautes concentrations non métabolisables, et d'autres part, dans la carence en composés organiques à fonction de chélates dans les produits utilisés.

Du point de vue de l'application, les composés foliaires employés n'ont pas été aptes à résoudre les cas de chlorose ferrique vrais ou supposés.

WALLACE C.A. et WALLACE A. (1982) avaient également remarqué qu'il existe des difficultés dans la correction de la chlorose ferrique avec les traitements foliaires.

Du point de vue scientifique, il apparaît extrêmement intéressant d'observer la phytotoxicité provoquée par les augmentations du fer au niveau foliaire, avec, comme conséquence, un stress pour la plante et une variation du niveau de synthèse des aminoacides (proline et ses précurseurs). Il semble en outre que le type de fer employé dans la thérapie de la chlorose ferrique joue un rôle important sur le déterminisme des stress. La toxicité foliaire des composés à base de fer a été remarquée par d'autres auteurs pour plusieurs autres produits, surtout inorganiques.

RÉSUMÉ

Les traitements foliaires avec des produits à base de fer appliqués sur des vignes chlorosées ont pour effet d'augmenter, parfois très fortement, la teneur en fer des limbes. Il en résulte une réduction des macroéléments et une certaine phytotoxicité due à un excès de fer non métabolisable.

En même temps, la concentration en amino-acides et notamment en proline (indice de stress) est augmentée. L'application de ces produits de traitement n'a pas été suffisant pour résoudre les cas de chlorose ferrique.

SUMMARY

Application of iron based foliar sprays to chloritic wines can augment, sometimes very greatly, the iron concentration is the leaf blade. Resulting in a reduction in the concentration of macroelements and in some phytotoxicity due to an excess of non metabolizable iron.

At the same time, the concentration of amino acids and notably of proline (stress index) is increased. The application of these foliar sprays was insufficient to resolve cases of iron chlorisis.

ZUSAMMENFASSUNG

Blattbehandlungen mit Mitteln auf Eisenbasis von chlorosekranken Rebstöcken erhöhen manchmal sehr stark den Eisengehalt des Blattes. Es ergibt sich daraus einer Verringerung der Makroelemente und eine gewisse Phytotoxizität auf Grund des nicht umsetzbaren Eisenüberschusses.

Gleichzeitig erhöht sich die Konzentration von Aminosäuren und insbesonderes des Prolin (Stress-Anzeichen). Die Anwendung dieser Behandlungsmittel reichte nicht aus, um die Eisenchlorose zu bekämpfen.

RESUMEN

Los tratamientos foliares con productos a base de hierro aplicados en viñas con síntomas de clorosis producen un aumento, a veces muy notable, del contenido en hierro de los limbos de las hojas. De ello resulta una reducció de los macroelementos y una cierta fitotoxicidad debida a un exceso de hierro no metabolizable.

Al mismo tiempo aumenta la concentración de aminoácidos, especialmente de la prolina (indice de stress). El uso de estos productos de tratamiento no ha resultado suficientemente eficaz para resolver los casos de clorosis férrica.

RIASSUNTO

I trattamenti fogliari con prodotti a base di ferro applicati su viti con clorosi hanno per effetto di aumentare, qualche volte molto fortemente la quantità percentuale dei lembi. Ne resulta una riduzione dei macroelementi e una certa fitotossicità debuta a un eccesso di ferro che non può esser metabolizzato.

Nello stesso tempo, la concentrazione in amino-acidi e particolarmente in prolina (indice di stress) è aumentata. L'applicazione di questi prodotti di trattamento non è stato sufficiente per risolvere i casi di clorosi ferrica.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

COOMBE B.G. et MONK P.R., 1979. Proline and abscisic acid content of the juice of ripe Riesling grape berries : effect of irrigation during harvest. *Am. J. Enol. Vitic.*, **30**, 64-67.

De KOCK P.C., 1981. Iron nutrition under conditions of stress. *J. Plant Nutr.*, **3**, 1-4, 513-521.

De KOCK P.C. et MORRISON R.I.,1958. The metabolism of chlorotic leaves. I. Amino Acids. *Biochem. J.*, **70**, N° 2, 266-272.

FREEMAN B.M. et KLIEWER W.M., 1983. Effect of irrigation, Crop Level and Potassium Fertilization on Carignane Vines. II. Grape and wine quality.*Am. J. Enol. Vitic.*, **34**, N° 3, 197-207.

FREGONI M., 1980. Nutrizione e fertilizzazione della vite. *Edagricole, Bologna.*

FREGONI M., SCIENZA A. 1975. Ricerche sull'assimilabilità del ferro in vigneti italiani. *Vignevini*, N° 6, 7-10.

GRIS E., 1844. Nouvelles expériences sur l'action de composés ferrugineux solubles appliqués à la végétation et spécialement en traitement de la chlorose et de la débilité des plantes. Comp. Rend. Acad. Sci., **19**, 1118-1119.

KLIEWER W.M. et COOK J.A., 1971. Arginine and total free Amino acids as indicators of the nitrogen status of grapevines. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **96**, N° 5, 581-587.

LEFEBVRE J., 1976. Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. Masson Ed., Paris.

MORRIS R.L. et SWANSON B.T., 1980. Mineral and Chlorophyll Changes in Leaf Tissue of Silver Maple after treatment with iron chelates *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **105**, N° 551-555.

PIELOU E.C., 1977. Mathematical Ecology. Ed. Wiley and Son - Interscience.

TERRY N. et LOW G., 1982. Leaf Chlorophyll content and its relation to the intracellular localization of iron. *J. Plant Nutr.*, **5**, N° 4-7, 301-310.

WALLACE G.A. et WALLACE A., 1982. Micronutrient uptake by leaves from foliar sprays of EDTA chelated metals. J. Plant Nutr., **5**, N° 4-7, 975-978.