

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 39 (1903)
Heft: 148

Artikel: Action des sels de cuivre sur les végétaux
Autor: Porchet, Ferdinand
Kapitel: III: Introduction ds sels de cuivre dans les végétaux
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-267032>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

III

Introduction des sels de cuivre dans les végétaux.

Historique.

Au commencement du siècle passé, déjà, quelques savants, de Saussure entre autres, entreprirent des séries de cultures pour étudier la possibilité de l'introduction de sels métalliques dans les plantes. Je ne puis citer tous les travaux faits dans cette direction : un index bibliographique assez complet se trouve dans le travail déjà cité de Berlese et Sostegni¹ ainsi que dans un article de C. Muller². Disons simplement que de nombreux botanistes admettent la pénétration du Cu, Zn, Pb. dans les plantes croissant sur un sol renfermant des sels de ces métaux.

L'introduction des remèdes antipéronosporiques attira naturellement de nouveau l'attention sur le rôle du cuivre dans les végétaux. Les analyses se sont multipliées, et on a trouvé ce métal, non seulement dans les arbres fruitiers du district métallifère de Mansfeld, mais dans une foule de plantes n'ayant subi, cela va de soi, aucun traitement : pommes de terre, épinards, haricots, vigne (0,00054 % Cu, Sestini)³. Dans les expériences faites pour introduire artificiellement ce métal dans les plantes, citons celles de Phillips⁴ qui constate que le cuivre, ajouté à des solutions nutritives, est un poison violent pour les racines ; celles de Tschirch⁵ qui en 1891-92 arrose avec des solutions de sulfate de cuivre le sol dans lequel sont enracinés du blé et des pommes de terre ; ces plantes se développent normalement, alors même que la quantité de vitriol employée est de

¹ Déjà cités. 10.

² Muller, *Zeit. für Pfl. Krank.*, 1894. 82.

³ Déjà cité. 108.

⁴ *Bot. centralblatt*, 1883. 92.

⁵ Déjà cité. 119.

2 kg. par mètre carré ; l'analyse décèle la présence du cuivre dans toutes les parties du végétal. Tschirch conclut que le cuivre n'a pas la même action suivant qu'il est incorporé au sol ou à une solution nutritive. Haselhoff¹ étudiant l'action exercée sur la végétation par les eaux de refus d'une fonderie de laiton, constate une action toxique des sels de cuivre sur les cultures, lorsque l'eau contient 10 mg. Cu O par litre. Les espèces végétales se montrent du reste plus ou moins résistantes. Sestini², saturant de vitriol le sol d'une vigne, observe une poussée normale au printemps, mais dans le courant de l'été tous les ceps ont séché. Berlese et Sostegni³ admettent la pénétration du cuivre par les racines. Otto⁴ reprenant la méthode des cultures en liquides nutritifs constate pour le pois, le haricot, le maïs une action toxique des sels de cuivre ; à leur contact, les racines brunissent et perdent leurs radicules.

Vermorel et Viala⁵ se demandant si les quantités de cuivre qui, chaque année, passent au sol au moment de la chute des feuilles sulfatées ne pourraient pas, à la longue, diminuer la fertilité de celui-ci, ont établi quelques essais dont il ressort que le sol peut supporter des quantités de cuivre assez importantes sans que la végétation s'en ressente. Dans la même direction, Vermorel arrive à des résultats moins favorables que ceux obtenus par Viala.

Il ressort de ce bref résumé que le cuivre est répandu dans une foule de plantes, mais en très petites quantités ; quelques auteurs se sont même demandé si ce n'était pas là un élément nécessaire à l'organisme végétal.

Un deuxième point à relever, ce sont les divergences d'opinions ou sujet de la toxicité des sels de cuivre vis-à-vis des végétaux.

¹ *Landw. Jahrbücher*, Bd. XXI, 1892. 49.

² Déjà cité. 108.

³ Déjà cité. 10.

⁴ Otto, *Zeit. für Pfl. Krank.* III. 85.

Revue de viticulture, 1894. 126 et 128.

Il semble que cette dernière propriété se manifeste avec une intensité très variable, suivant la nature du milieu dans lequel plongent les racines.

Partie expérimentale.

Rappelons tout d'abord que les phénomènes qui se manifestent en général après l'application, par pulvérisation, des sels cupriques sont :

1° Une accélération des différents processus végétatifs (en particulier une maturation plus hâtive des fruits).

2° Une coloration caractéristique du feuillage d'un certain nombre de plantes sulfatées.

3° Une persistance inaccoutumée des feuilles en automne.

Telles sont les différentes manifestations que je me suis proposé de reproduire en introduisant des sels de cuivre dans les végétaux.

Pour y parvenir, j'ai employé, tout d'abord, la méthode de *cultures en liquides nutritifs*. Celles-ci ont été faites dans des flacons de verre de 300 cm³, soigneusement enveloppés d'une chemise noire pour empêcher le développement d'algues et de champignons au sein du liquide. Ce dernier (formule de Knopp)¹ contenait tous les éléments nécessaires à la plante, y compris le fer ; les plantes mises en expériences étaient le pois, le haricot et le chou. Les deux premières espèces mises en germination sur sable humide ont été repiquées dans le liquide, après le développement des deux premières feuilles. Les choux, pris dans des semis en pleine terre, ont été repiqués lorsqu'ils possédaient de quatre à six feuilles.

Toutes les plantes se sont d'abord développées très vigoureusement en poussant un abondant chevelu. A ce moment j'ai introduit dans le liquide nutritif, sous forme de sulfate ou de chlorure, le cuivre, à dose de 1-10 mg. par flacon. L'action toxique de ces sels s'est manifestée de suite

¹ Belzung. 9.

sur les racines avec une intensité dépendant de la concentration. Ce sont les poils absorbants qui disparaissent les premiers, puis les radicules elles-mêmes brunissent, s'épaississent, ici et là, puis se désagrègent. Il résulte de là, naturellement, que la plante dépérit, les feuilles développées sèchent, celles qui croissent s'étiolent.

Il est évident que, dans ces conditions, on ne peut faire aucune constatation relative à l'action excitatrice du cuivre sur la végétation.

Une nouvelle série de recherches a été entreprise en modifiant légèrement la méthode; elles ont porté sur les mêmes plantes repiquées dans du sable arrosé avec le liquide nutritif contenant le cuivre. Le résultat a été tout à fait analogue, les plantes ont végété quelque temps, puis ont péri, leur système radicellaire ayant été détruit par l'action toxique des sels de cuivre.

En présence de ces insuccès, il était tout naturel d'essayer d'introduire le cuivre avant la formation des radicules, c'est-à-dire de le faire pénétrer dans la graine.

Huit lots égaux de grains de blé ont été immergés dans une solution de Cu So_4 à 0,5 % pendant respectivement demi-heure, une heure, quatre heures, six heures, dix heures, vingt-quatre heures, de façon à ce que tous les lots puissent être semés au même moment; deux lots témoins ont été plongés dans de l'eau pure pendant une et dix heures. Les grains une fois hors du liquide ont été essorés rapidement entre deux feuilles de papier buvard et semés immédiatement sur sable humide.

Une série analogue a été établie avec de l'avoine. Il est évident que les différents lots placés dans des vases identiques ont reçu chaque jour, en arrosage, la même quantité d'eau, de façon que les conditions de chaleur et d'humidité demeurent en tous points comparables.

Cette expérience a été faite, en même temps, également sur blé et avoine, mais en remplaçant la solution de sulfate de cuivre par une solution de sulfate de fer à 0,5 %.

Voici la récapitulation des résultats fournis par ces deux doubles séries :

Au moment de la germination on constate, d'une part, que les graines traitées au sulfate de fer germent plus tôt que les graines témoin et, d'autre part, que la germination est d'autant plus hâtive que le traitement a été plus prolongé, ceci pour le blé tout particulièrement. Cependant, dans les lots traités pendant dix et vingt-quatre heures on remarque que si la germination est très hâtive pour un certain nombre de graines, elle est par contre assez irrégulière.

Dans les lots traités au sulfate de cuivre, les choses se passent tout différemment. Ce sont les graines témoins qui germent en premier lieu, celles qui ont été immergées dans le sulfate de cuivre se développent d'autant plus tardivement que le traitement a été plus prolongé. Sous ce rapport il y a de grandes différences entre le blé et l'avoine, cette dernière céréale paraissant tout particulièrement sensible à l'action des sels cupriques. Mais ce fait, dont j'ai donné ailleurs l'explication ¹, n'a pas d'importance pour le sujet qui nous occupe.

Trois semaines après la germination, les cultures présentaient les caractères suivants :

Les lots immergés dans le sulfate de fer sont en général normalement développés, celui traité pendant une demi-heure est semblable au témoin quant à la croissance, les autres sont plus vigoureux, sauf les lots traités pendant dix et surtout vingt-quatre heures qui ont donné naissance à des plantules moins hautes que celles issues de graines traitées simplement à l'eau pure.

Les séries immergées dans le sulfate de cuivre semblent indiquer, mais d'une façon peu précise, un développement plus intense dans les lots traités pendant demi-heure et une heure que chez les témoins. Les traitements plus prolongés

¹ F. Porchet, *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* XXXIX. 147. P. V.

se traduisent par une dépression qui s'accroît très rapidement surtout chez l'avoine.

Il résulte de ce qui précède, que le sulfate de fer produit une excitation qui devient une intoxication lorsque le traitement est prolongé pendant vingt-quatre heures. Pour le sulfate de cuivre, fait à peu près identique, mais l'action toxique se manifeste d'une façon beaucoup plus intense, tandis que l'excitation est très peu caractéristique.

En ce qui concerne la coloration des feuilles, j'ai constaté que les plantes issues de graines immergées dans le sel de fer sont plus vigoureuses, plus trapues et leurs feuilles sont d'un vert plus foncé que celui des plantes témoin.

La même observation s'applique aux plantes des lots traités au sulfate de cuivre qui présentent toutes (même celles qui sont rabougries) un feuillage d'un vert intense. J'ai en outre constaté dans quelques cas l'apparition d'une coloration vert-bleu très caractéristique.

Ces différences d'aspect de la chlorophylle ne peuvent être attribuées qu'à la présence du fer ou du cuivre dans les jeunes plantes. J'ai recherché, par la méthode électrolytique, ce dernier métal dans les feuilles des lots traités au sulfate de cuivre. Voici, à titre d'exemple, les résultats obtenus sur une série; le poids des cendres indiquera l'importance relative de la récolte dans les différents lots :

Temps d'immersion des graines dans Cu So_4	Poids de la récolte incinérée.	Recherche du cuivre
$\frac{1}{2}$ heure	0.223 g.	Pas constaté
1 »	0.215 »	Id.
4 heures	0.142 »	Constaté
6 »	0.135 »	Id.
10 »	0.072 »	Id.
24 »	0.052 »	Id.
Témoin, 2 lots	0.416 »	Pas constaté

Ces quelques recherches montrent que par immersion de la graine dans une solution cuprique on peut introduire dans les jeunes plantes de petites quantités de cuivre dont la présence à l'intérieur du végétal se traduit par une coloration spéciale du feuillage. Par contre ce procédé ne permet pas de mettre en évidence, d'une façon assez nette, l'action excitatrice des sels de cuivre, car ces derniers exercent trop facilement une influence inverse due en particulier à leur toxicité vis-à-vis des radicelles.

Pour éviter cette intoxication du système racinaire, j'ai eu recours à une troisième méthode qui consistait à introduire artificiellement de petites quantités de sels cupriques dans un rameau coupé pour enraciner ensuite celui-ci.

La vigne était le végétal tout indiqué pour ces recherches, puisqu'elle possède la propriété d'enraciner assez facilement ses bois, soit dans un sol humide, soit directement dans un liquide. J'ai utilisé ces deux procédés.

1^o CULTURES DE SARMENTS EN LIQUIDES

Au commencement d'avril, un certain nombre de sarments, aussi comparables que possible, ont été détachés des ceps de même variété et placés dans des bouteilles de verre foncé, de 700 cm³, contenant les solutions des sels suivants, dans de l'eau distillée :

Mg	So ₄	0.1 %	Cu	So ₄	0.01 %
Fe	So ₄	0.1 %	Cu	So ₄	0.001 %
Cu	So ₄	0.1 %	Eau distillée.		

Chaque bouteille ne contenait qu'un sarment.

Tous les bois, taillés de même façon, portaient trois bourgeons, et plongeaient sur une même longueur dans les différentes bouteilles. L'expérience a été faite sur deux séries.

Neuf jours après le début de l'essai, les bourgeons, des sarments plongeant dans le sulfate de magnésium et dans le sulfate de cuivre le plus dilué, commencent à gonfler. Seize jours après tous les sarments portent des feuilles. Ceux plongeant dans le sulfate de fer se développent très vigoureusement. Vingt-sept jours plus tard, l'ordre de classement est le suivant, en allant des bois les plus développés à ceux qui le sont le moins :

Fe So_4 , Mg. So_4 , Cu So_4 0.001, Cu So_4 0.01 ‰, témoin, Cu So_4 0.1 ‰.

A partir de ce moment, la poussée cesse, ou à peu près, car aucun sarment n'a formé de racines; dans l'espoir de provoquer la formation de ces dernières, j'ai remplacé, cinquante-un jours après le début de l'expérience, l'eau par un liquide nutritif, contenant tous les éléments nécessaires à la plante, sauf le fer, et auquel j'ai ajouté respectivement

0.7 g. Mg So_4	0.07 Cu So_4
0.7 g. Fe So_4	0.007 Cu So_4
0.7 g. Cu So_4	—

Voici, pour une série, le nombre des feuilles constatées pendant la période végétative ($\frac{1}{2}$ indique une feuille non encore parfaitement développée) :

Nombre de jours écoulés depuis la mise en expérience.	9	16	27	39	48	58	67
Témoin	0	1.5	7	7	8	8	8
Mg So_4 0.7 g.	0.5	2	9	9	9.5	9.5	9
Fe So_4 0.7 »	0	7.5	11	11	10	10	8
Cu So_4 0.7 »	0	3	5	7	7.5	7.5	7
Cu So_4 0.07 g.	0	3	6	8	9	9	10
Cu So_4 0.007 g.	0.5	3.5	6	8	8	8	10

Eau
Liquide nutritif

A partir de cette dernière observation, il est intéressant non seulement de noter le nombre des feuilles, qui tend à diminuer, mais encore et surtout l'aspect qu'elles présentent, de façon à constater si la présence de sels métalliques dans les sarments a modifié les propriétés de la chlorophylle. Pour simplifier, je résume ces données sous forme de tableau, en indiquant, dans chaque lot, tout d'abord le nombre total de feuilles encore attenantes au sarment, puis le nombre de celles dont le pigment est plus ou moins altéré; la différence indique naturellement la quantité de feuilles encore vertes :

	38 jours	67 jours	94 jours.	130 jours	145 jours
Eau	8 feuilles 4 jaunissent	8 feuilles 2 jaunes 2 jaunissent	Toutes les feuilles sont sèches et détachées	—	—
Mg So ₄ 0.7 g.	9.5 feuilles 7 jaunissent	9.5 feuilles 7 jaunes	8 feuilles. Les autres sont tombées	Toutes les feuilles sont tombées	—
Fe So ₄ 0.7	10 feuilles 6 jaunissent	8 feuilles 4 jaunes	8 feuilles. Toutes sont jaunes	Toutes sont tombées	—
Cu So ₄ 0.7	7.5 feuilles 2 bordées jaune, reste vert foncé	7.5 feuilles 2 jaunissent	6 feuilles 1 jaune	5 feuilles 5 jaunissent	Toutes sont tombées
Cu So ₄ 0.07	9 feuilles d'un vert très foncé	10 feuilles 4 jaunissent	10 feuilles 6 jaunissent	10 feuilles. Toutes jaunes	Toutes sont tombées
Cu So ₄ 0.007	8 feuilles	10 feuilles 3 jaunissent	7 feuilles 5 jaunes	5 feuilles jaunes.	Toutes sont tombées

Les chiffres de ces deux tableaux montrent tout d'abord que le sulfate de magnésium et le sulfate de cuivre, ce dernier en solution très diluée, provoquent une poussée un peu plus hâtive des bois qui y plongent, mais cette accé-

lération ne se manifeste pas longtemps pour le sel de cuivre.

Les sulfates de magnésium et de fer, au contraire, donnent à la plante une vigueur très remarquable.

Par contre, les sels cupriques exercent une action très nette sur la durée de la végétation. Ce sont les sarments qui ont cru dans la solution nutritive pure qui ont perdu leurs feuilles en premier lieu ; viennent ensuite ceux plongeant dans $Mg\ So_4$, $Fe\ So_4$. Enfin, tous les bois traités au sel de cuivre présentent, et cela d'une façon très frappante, une plus grande persistance des feuilles. La coloration de celles-ci était caractéristique et présentait cette teinte spéciale que possède le feuillage d'une vigne ayant reçu un traitement cuprique. Il est à remarquer que la persistance des feuilles est maximum pour les concentrations les plus fortes du liquide cuprique et qu'elle diminue si la dilution de celui-ci augmente.

En résumé, en introduisant, ainsi que nous venons de le faire, de petites quantités de cuivre dans les sarments, on provoque une partie des phénomènes qui se manifestent après les traitements extérieurs aux remèdes cupriques, savoir :

- 1° Une coloration plus intense du feuillage ;
- 2° Une persistance caractéristique de la verdure de celui-ci, à l'époque de sa chute.

Il est une objection que je pense utile de prévenir : pendant le développement des sarments expérimentés, la base de ceux-ci, plongeant dans un liquide nutritif, c'est-à-dire dans un milieu particulièrement favorable au développement de microorganismes provoquant ordinairement la décomposition des matières organiques, on pouvait se demander si les différences constatées, en particulier en ce qui concerne la persistance des feuilles, ne provenaient pas du fait que les plantes, plongeant dans des solutions cupriques, ont été protégées contre les agents de putréfaction, grâce aux propriétés anticryptogamiques du vitriol bleu.

Je n'ai pas constaté de différence sensible dans la limpidité des différents liquides à la fin de l'expérience; en outre, les bois de tous les lots présentaient plus ou moins le même aspect. Au reste, cette objection est complètement réfutée par les résultats fournis par des cultures en tourbe, cultures dans lesquelles il est impossible de faire intervenir l'action anticryptogamique du cuivre qui aurait pu jouer un rôle dans les expériences précédentes.

2° CULTURES DE SARMENTS DANS LA TOURBE

En 1893-1894, M. Chuard, à la suite de ses recherches concernant la nitrification dans le terreau de tourbe et l'emploi de ce produit comme engrais, et à l'occasion de recherches nouvelles concernant l'action des sulfates sur la végétation, avait déjà entrepris une série d'essais de culture de sarments (chapons) dans un milieu additionné de divers sulfates métalliques qui peuvent jouer un rôle dans la végétation : Cu SO_4 . $\text{K}_2 \text{SO}_4$. Mg SO_4 . Fe SO_4 et Cu SO_4 et avait observé dans ses essais, demeurés inédits, la persistance du phénomène végétatif et de la couleur verte des feuilles dans les essais avec Cu SO_4 . Sur son conseil j'ai repris ces essais en procédant comme suit :

Le 9 avril, des sarments ont été détachés des ceps, dans des conditions aussi semblables que possible et placés trois par trois dans des vases contenant du terreau de tourbe. Après la plantation, les divers pots ont reçu, en arrosage, des solutions de sulfates métalliques de 0.001 % à 1 %.

Les différents lots ont reçu au total :

I Cu SO_4	7 g.	V Fe SO_4	0.7 g.
II Cu SO_4	0.7 g.	VI Mg SO_4	0.7 g.
III Cu SO_4	0.07 g.	VII	Eau pure.
IV Cu SO_4	0.007 g.	VIII Cd SO_4	0.7 g.

Il ne doit pas être tenu compte du lot VIII qui a été mis en expérience beaucoup plus tard que les autres et dans

des conditions défavorables. Je l'aurais éliminé de ces notes s'il ne figurait dans la planche accompagnant ce travail.

Dans la suite, la tourbe a été maintenue humide par arrosage à l'eau ordinaire.

Voici un résumé des constatations faites : dix jours après la plantation, les bourgeons des lots II, III, IV commencent à se gonfler. Onze jours plus tard, le lot VI (Mg So_4) possède déjà quatre feuilles développées, les bourgeons de II et III s'entr'ouvrent, dans les autres lots aucun développement ne se manifeste. Par contre trente-trois jours après la mise en expérience, on constate que les bourgeons ont poussé dans tous les lots, sauf dans celui traité au fer qui a pris deux mois pour se développer.

Les sarments, traités au sulfate de cuivre dilué et au sulfate de magnésium, se sont montrés les plus vigoureux. Voici le nombre de feuilles des différents lots, à la fin de la période végétative.

Mise en expérience le 9 avril	14 août	1 septembre
Cu So_4 7 g. = I	7	16
Cu So_4 0.7 g. = II	21	25
Cu So_4 0.07 g. = III	33	33
Cu So_4 0.007 g. = IV	16	21
Fe So_4 0.7 = V	10	15
Mg So_4 0.7 = VI	30	34
Témoin = VII	14	21

Nous sommes donc en présence d'une action stimulante du sulfate de Mg. et du sulfate de cuivre à certaine concentration ; pour ce dernier sel, dans cette expérience, cette action excitatrice est maximum pour une concentration de 0.01 % ; elle diminue dans les lots II et IV, et fait place, dans le lot I, Cu So_4 1 %, à une réelle action toxique.

La coloration des feuilles des sarments traités au cuivre était caractéristique, surtout pour les lots I à III. En

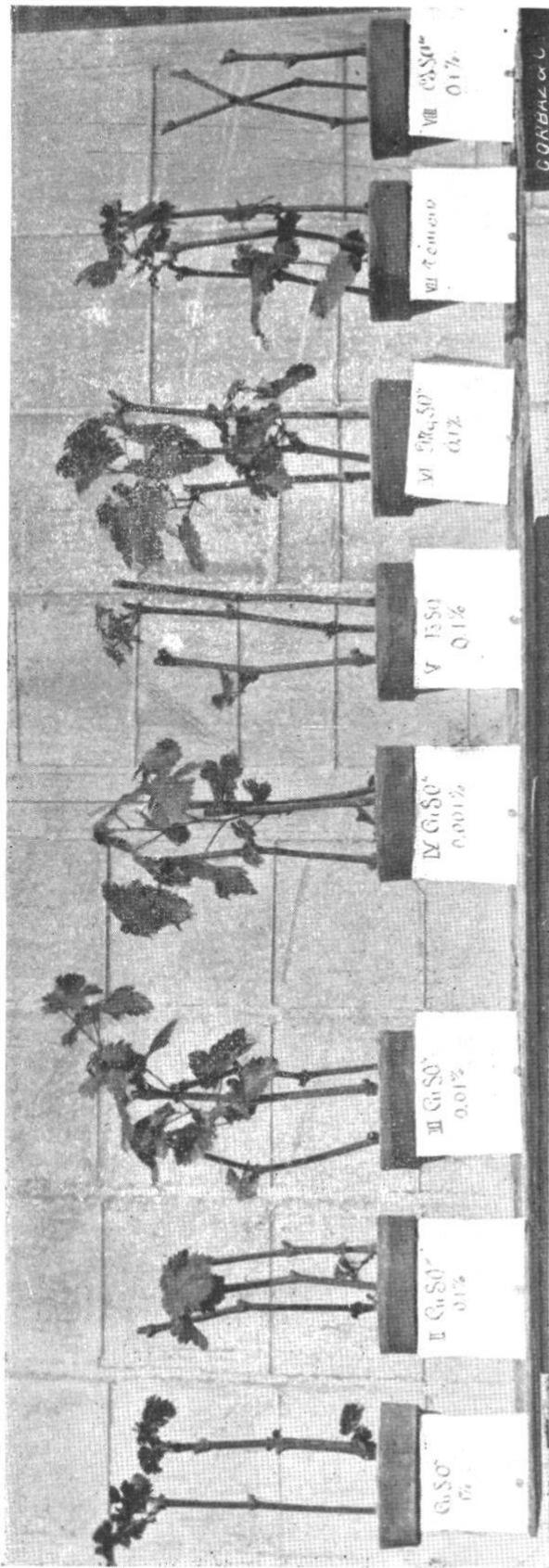


FIG. 1. — Culture de sarments en tourbe. (Photographie prise au moment de la poussée.)



FIG. 2. — Culture de sarments en tourbe. (Photographie prise au moment de la chute des feuilles.)

44 %	64 %	67 %	72 %	44 %	77 %	100 %
feuil- les tomb.						

automne j'ai pu observer des faits identiques à ceux signalés dans les cultures en liquides. Les sarments témoins ont perdu leurs feuilles très tôt, puis les lots traités à la magnésie et au fer ont suivi, tandis que les sarments contenant du cuivre conservaient leur feuillage, et cela d'autant plus longtemps que la concentration du liquide cuprique était plus élevée.

Comme nous venons de voir que ce n'est pas la solution la plus concentrée du sulfate de cuivre qui produit l'excitation maximum, on peut déjà supposer que la persistance des feuilles des vignes sulfatées *n'est pas la conséquence directe de l'excitation* produite par les sels de cuivre sur le végétal, les deux manifestations ne passant pas par un maximum au même moment. Je reviendrai du reste sur ce point.

Je me dispenserai de donner davantage de chiffres pour cette expérience avec la tourbe, en remplaçant ceux-ci par les deux photographies de la planche V qui montrent, mieux que ne pourraient le faire des données numériques, que j'ai réussi à reproduire, dans une même série d'essais, les deux phénomènes qui sont caractéristiques des vignes sulfatées (Pl. V, fig. 1 et 2).

1° Une poussée plus vigoureuse et plus hâtive ;

2° Une coloration plus intense et plus persistante des feuilles.

J'ai dosé le cuivre dans les différents lots (méthode électrolytique, modification Rudorff¹) après incinération de la partie aérienne des chapons. J'ai obtenu pour 100 gr. de plante sèche :

Lot I	0,0133 gr. Cu	%
Lot II	0,0019 gr.	%
Lot III	présence de cuivre	
Lot IV	pas constaté de cuivre	
Témoin	»	»

¹ J. Ribau, *Traité d'analyse chimique par électrolyse*, 1899.

Dans le lot III le dépôt de métal était très caractéristique mais cependant pas dosable, car en opérant sur la totalité du lot je n'ai obtenu que moins de 0,0001 gr. Cu.

On voit donc qu'il suffit de quantités excessivement faibles de cuivre pour provoquer l'excitation.

D'autre part il est important de relever le fait que, dans ces recherches, les sarments ont pu se développer et s'enraciner en présence de quantités relativement élevées de cuivre (7 gr.). Connaissant l'action toxique si énergique qu'exercent les sels de cuivre, même à faible dose, sur les racines, j'étais tout naturellement amené à supposer que ce métal était fixé par la tourbe en une combinaison insoluble ou, tout au moins, ne possédant pas de propriétés toxiques vis-à-vis du système racinaire. On sait que l'élément caractéristique de la tourbe est la matière organique acide, à laquelle on a donné le nom d'acide humique non combiné.

Dans les sols cultivés, cet acide est neutralisé par les sels minéraux, ceux de calcium, par exemple, formant avec eux l'humate de calcium. Était-ce à une combinaison analogue entre l'acide humique et les sels de cuivre qu'il fallait attribuer l'atténuation de la toxicité de ces derniers ?

On a déjà décrit¹ le sel de cuivre dérivé de l'acide humique. Je l'ai préparé en dissolvant, sous forme d'humate d'ammonium, l'acide humique de la tourbe dans l'ammoniaque. Pour purifier l'acide humique, celui-ci a été ensuite précipité par l'acide chlorhydrique, filtré, lavé, puis chauffé à ébullition avec de la soude caustique et précipité à nouveau. Ce traitement a été opéré à plusieurs reprises. L'acide, ainsi obtenu, transformé en humate d'ammonium, en solution aussi neutre que possible, a été précipité, par addition d'une solution de sulfate de cuivre, sous forme d'humate de cuivre, précipité brun-verdâtre qui a été lavé

¹ Wollny, *Les formes d'humus*. Paris, 1902. 135.

jusqu'à disparition de la réaction du cuivre. L'humate de fer a été préparé de la même manière.

Les essais entrepris avec ces sels ont porté sur quatre pieds de vigne de trois ans, c'est-à-dire possédant un système racinaire parfaitement développé.

Chaque pied fut placé dans un bocal en verre, contenant une solution nutritive sans fer. Une semaine après, les sels métalliques furent ajoutés : deux pieds ont reçu respectivement 1 et 5 gr. d'humate de fer, les deux autres la même quantité d'humate de cuivre. Dans tous les lots, les plantes ont manifesté une vigueur nouvelle qu'on pourra peut-être attribuer, il est vrai, à l'action de la matière organique (bien que la solution nutritive contînt de l'azote en suffisance) et non à l'influence des sels métalliques. La poussée n'a pas été plus vigoureuse dans les ceps traités au cuivre que dans ceux qui avaient reçu l'humate de fer ; mais, par contre, le feuillage des premiers possédait la teinte particulière, signalée dans les recherches précédentes. Le fait était si caractéristique que certaines feuilles présentaient, le long de la nervure principale, en particulier, des reflets bleu-vert excessivement caractéristiques. Or, cette différence de coloration ne peut être attribuée qu'à la nature du métal, car les deux humates possédaient sensiblement la même richesse en matières organiques.

L'analyse a donné en effet :

Humates de fer = 79.4 % de matières organiques.

Humate de cuivre = 76.9 % de matières organiques.

J'hésiterais peut-être à tirer une conclusion générale de ces expériences, qui peuvent paraître trop peu nombreuses, si des constatations analogues à celles que je viens de mentionner n'avaient déjà été faites incidemment.

M. P. Viala ¹, recherchant quelle dose de cuivre on pou-

¹ Déjà cité. 128.

vait incorporer au sol sans nuire au développement de la vigne, constate que, dans un terrain riche, on peut introduire jusqu'à 200 gr. de sulfate de cuivre dans 15 kg. de terre, sans que pour cela la vigne paraisse incommodée. Au contraire, les feuilles des plantes traitées paraissent plus vertes et plus vigoureuses. L'auteur, orienté dans une autre direction, n'a pas tiré de conclusion de ce fait. Vermorel², ayant fait des expériences analogues, constate une résistance beaucoup moins grande des ceps arrosés avec du sulfate de cuivre, probablement parce que le sol en expérience était moins riche, c'est-à-dire plus pauvre en matière organique non combinée.

Il est fort probable que la proportion d'acide humique libre dans le sol est le principal facteur auquel il faut attribuer les résultats divergents obtenus par plusieurs expérimentateurs travaillant, en apparence, dans des conditions comparables.

En résumé, je dirai : les sols riches en acide humique non combiné peuvent absorber d'assez grandes quantités de sels de cuivre et fixer ceux-ci en formant de l'humate de cuivre, forme sous laquelle ce dernier métal perd sa toxicité vis-à-vis des racines, tout en restant absorbable par ces dernières.

Le problème que je m'étais posé au commencement de ce chapitre me paraît être résolu. Il ressort en effet de tout ce qui précède que lorsqu'on introduit dans un végétal de petites quantités de cuivre, soit avant la formation des racines, soit après (en l'ajoutant sous forme d'humate de cuivre), on provoque un développement plus rapide de la plante, une coloration spéciale et persistante de son feuillage ; en un mot, on reproduit tous les phénomènes que provoque l'application des composés cupriques sur les feuilles de la vigne. Il me paraît donc démontré que ces

² *Loc. cit.* 126.

modifications dans l'allure de la végétation sont produites par la présence de petites quantités de cuivre (nous ignorons sous quelle forme) à l'intérieur du végétal, ce qui implique donc *une pénétration des sels de cuivre à l'intérieur des feuilles sulfatées.*

IV

Nature de l'action des sels de cuivre sur les végétaux.

J'ai déjà eu l'occasion d'indiquer, dans le résumé bibliographique qui précède ce travail, l'explication proposée pour interpréter les faits constatés partout depuis l'introduction des sels de cuivre en viticulture. Tous les auteurs, du moins je ne connais pas d'exception, admettent que les composés cupriques provoquent une augmentation de la quantité de chlorophylle qui se traduit par une croissance plus rapide de la plante, une maturation plus hâtive des fruits et enfin une production plus forte de produits d'assimilation (amidon, sucre). Pour tous le cuivre est un excitant de la fonction chlorophyllienne. Il n'y a de divergence que quant au mode d'action des sels de cuivre ; les uns soutenant l'idée d'une action chimiotaxique, les autres celle de la pénétration. Je viens de démontrer que c'est cette dernière hypothèse qui est exacte.

Une telle unanimité d'opinion ne saurait surprendre, car toutes les recherches entreprises dans ce domaine ont eu pour but l'utilisation pratique en agronomie des propriétés anticryptogamiques du cuivre ; elles ont porté, par conséquent, sur les végétaux les plus directement intéressés : la vigne et la pomme de terre. Or, précisément, ces deux plantes se montrent particulièrement sensibles à l'action des sels de cuivre. L'application de composés cupriques sur leurs feuilles se traduit bientôt, et cela d'une façon très régulière, par une vigueur spéciale du feuillage