

**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  
**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:** 15.01.2026

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

# ACTION DES SELS DE CUIVRE

## SUR LES VÉGÉTAUX

PAR

**Ferdinand PORCHET,**

Licencié ès sciences physiques et naturelles.  
Assistant au Laboratoire de chimie de l'Institut agricole.

---

(Planche V.)

---

Ce travail a été fait au Laboratoire de chimie de l'Institut agricole (Directeur, M. le professeur E. Chuard), pendant les années 1899 à 1903.

Les essais de culture ont été poursuivis dans les serres de l'Etablissement fédéral de contrôle des semences et dans celles de la Station viticole.

Enfin, les recherches sur arbustes en pleine terre ont été effectuées à la Station viticole et dans différentes propriétés des environs de Lausanne.

### But du travail.

Dans la lutte contre le mildiou (*Peronospora viticola*), les traitements cupriques, dont l'efficacité est abondamment démontrée, exercent sur la vigne une influence qui a été constatée d'une manière très générale.

Elle se traduit surtout par une prolongation de la période de végétation, manifestée par la persistance des feuilles, qui demeurent vertes jusque très avant dans l'automne.

On peut considérer cette persistance de la pigmentation des feuilles, non seulement comme une conséquence de l'action anticryptogamique des sels cupriques, mais aussi



comme le résultat d'une action directe des sels de cuivre sur la végétation. Dans ce cas, l'action fongicide de ces derniers ne serait pas la seule dont il faudrait tenir compte en viticulture.

La solution de cette question a une importance scientifique sur laquelle il est inutile d'insister; elle présente en outre un réel intérêt pratique, en ce sens qu'une modification dans l'allure de la végétation de la vigne, et spécialement dans la maturation du raisin, peut exercer une influence sur la qualité de la récolte et, par suite, sur celle des vins.

C'est avec l'espoir de réunir quelques documents analytiques pouvant contribuer à hâter la solution du problème posé, que des recherches furent entreprises, en 1899, déjà au Laboratoire de chimie de l'Institut agricole. Les premiers résultats obtenus<sup>1</sup> furent suffisamment encourageants pour que, sur le conseil de M. le professeur E. Chuard, je me sois proposé de poursuivre plus avant les recherches commencées sous sa direction, tout en élargissant leur cadre, dans le but de préciser davantage, si possible, l'action que peuvent exercer les sels de cuivre sur les végétaux supérieurs en général, et sur la vigne en particulier.

Ces recherches m'ont conduit insensiblement, par l'enchaînement même des constatations et des déductions, à quitter peu à peu le domaine de la chimie analytique pour pénétrer dans celui de la physiologie végétale expérimentale qui m'était presque complètement étranger. J'aurais hésité à pousser plus avant dans cette direction si je n'y avais été vivement encouragé par la bienveillance avec laquelle mes anciens professeurs de la Faculté des sciences

---

<sup>1</sup> E. Chuard et F. Porchet, Bull. Soc. vaud. sc. nat. XXXVI, N° 135. 19.

Les chiffres imprimés en caractères gras indiquent le numéro de l'index bibliographique sous lequel on trouvera l'indication du titre de la publication citée.

ont bien voulu s'intéresser aux parties de mon travail touchant à leurs spécialités.

Je suis heureux tout d'abord de pouvoir présenter ici l'expression de ma respectueuse gratitude à M. le professeur Chuard qui a été constamment pour moi un conseiller aussi précieux que bienveillant, et qui m'a accordé les plus grandes facilités pour me permettre de mener à bien la tâche que je m'étais proposée.

M. Martinet, chef de l'Etablissement fédéral de contrôle et essais des semences, a grandement facilité mon travail, en mettant à ma disposition, avec la plus aimable obligeance, les serres de l'établissement qu'il dirige; qu'il en reçoive ici mes vifs remerciements.

Je manquerais à mon devoir si je ne témoignais également toute ma reconnaissance à MM. les professeurs Brunner, Wilczek, J. Dufour, H. Dufour et à M. le Dr C. Dutoit pour les nombreux et utiles conseils qu'ils ont bien voulu me donner.

### Introduction.

C'est en 1878 que, pour la première fois en Europe, Planchon et Millardet<sup>1</sup> signalèrent la présence du *Pero-nospora viticola* dans le vignoble français. Ce champignon se propagea si rapidement que la lutte s'imposa bientôt et que de nombreuses recherches furent entreprises dans le but de trouver une substance qui détruisît d'une façon certaine ce nouveau parasite, tout en respectant son hôte. C'est en quelque sorte au hasard que nous devons de posséder, depuis tantôt vingt ans, la solution de ce problème, car c'est une observation toute fortuite qui suggéra à M. Millardet l'idée d'entreprendre ses premières expé-

---

<sup>1</sup> Millardet, Paris 1882. 71.

riences relatives à l'action des sels de cuivre sur le mildiou.

Il me paraît intéressant de citer ici textuellement quelques lignes tirées de la relation qu'a faite M. Millardet de cette constatation, car elles montrent clairement que, ce qui a attiré tout d'abord son attention, c'est précisément le fait qui, aujourd'hui encore, est peut-être le moins bien expliqué, à savoir, la persistance des feuilles dans les vignes sulfatées.

« A la fin d'octobre 1882, j'eus l'occasion de traverser le vignoble de St-Julien, en Médoc. Je ne fus pas médiocrement étonné de voir que, tout le long de la route que je suivais, la vigne portait encore des feuilles, tandis que partout ailleurs celles-ci étaient tombées depuis longtemps. Il y avait eu du mildiou cette année-là et mon premier mouvement fut d'attribuer la persistance des feuilles, le long du chemin, à un traitement quelconque qui les avait préservées de la maladie. L'examen me permit de constater immédiatement que ces feuilles étaient couvertes en grande partie, à la surface supérieure, d'une couche mince, adhérente, d'une substance pulvérulente d'un blanc bleuâtre.

... Je questionnai le régisseur, M. E. David, qui me dit que la coutume en Médoc est de couvrir les feuilles de vert-de-gris ou de sulfate de cuivre mélangé avec de la chaux, à la véraison du raisin pour éloigner les maraudeurs... Je fis part à M. David de l'espoir que cette observation faisait naître en moi, de trouver dans les sels de cuivre la base du traitement du mildiou. »

Les recherches de Millardet, Prillieux, Gayon, etc., etc. eurent pour résultat de généraliser assez rapidement dans les vignobles français l'application des bouillies à base de cuivre. Il ne rentre pas dans le cadre de cette étude de faire l'historique de la lutte contre le mildiou, ni de passer en revue les nombreux composés de cuivre qui ont été proposés dans ce but.

Il me suffira de rappeler qu'aujourd'hui, la lutte contre ce cryptogame, parasite de la vigne, a dû être entreprise dans tous les vignobles de l'Europe; c'est dire que les traitements cupriques jouent un rôle excessivement important dans la viticulture de tous les pays.

Pourtant il faut reconnaître que, malgré une application si générale, malgré les quelque vingt ans d'utilisation pratique des sels de cuivre, l'action de ces derniers sur la vigne est loin d'être complètement connue. Dans les problèmes soulevés par l'application de ces nouveaux remèdes, il en est qui attendent encore leur solution, et des questions d'un grand intérêt, soit purement théorique, soit essentiellement pratique, sont encore loin d'être élucidées.

Les sels de cuivre ayant été introduits dans la pratique viticole comme agents destructeurs du mildiou, c'est de leur pouvoir anticryptogamique que l'on s'est uniquement occupé au début.

Les beaux travaux de Millardet<sup>1</sup>, J. Dufour<sup>2</sup>, Wüthrich<sup>3</sup> entre autres ont mis en lumière l'influence de traces de cuivre sur la germination des spores du *Peronospora viticola* et sur celles d'une quantité de champignons. Ce sont là des faits qui, actuellement du moins, ne sont plus contestés par personne.

Mais, au fur et à mesure que l'application des remèdes cupriques s'est généralisée, on a été à même de faire les constatations que je viens de rappeler en exposant le but de ce travail; constatations se rapportant à l'influence exercée par les sels cupriques sur les fruits et les feuilles des plantes sulfatées. Je traiterai les deux questions séparément en commençant par l'action des traitements cupriques sur les fruits.

---

<sup>1</sup> Millardet, *Traitement du mildiou*. 1886. 73.

<sup>2</sup> J. Dufour, *Landw. Jahrb. der Schweiz*. 1889. 27.  
Stuttgart 1892. 136.

## I

## Influence des traitements cupriques sur la composition chimique des fruits.

## Historique.

L'influence des traitements cupriques sur la composition chimique des fruits a déjà fait l'objet d'un certain nombre de travaux dont je vais très brièvement résumer les conclusions.

Galloway<sup>1</sup>, dans les recherches qu'il a entreprises à Neosho (Missouri), a traité des ceps sept fois à la bouillie cuprique et a obtenu des raisins de douceur et de dimensions telles que « des marchands les prirent pour des raisins de Californie. »

Des expériences répétées en Californie confirmèrent ces premiers résultats, les traitements à la bouillie bordelaise doublèrent la quantité de la récolte.

La même année Schachinger<sup>2</sup>, poursuivant des essais analogues en Autriche, constata que les traitements cupriques hâtaient la maturation. Alors que les ceps traités possédaient des raisins parfaitement mûrs, les lots non sulfatés avaient le 10 % de leurs fruits aux premiers stades seulement de la maturation. L'auteur exprime la relation existant entre la quantité de récolte fournie par les vignes sulfatées et celle des parcelles non traitées, par les chiffres 8 : 1.

C. Rumm<sup>3</sup>, parcourant le vignoble wurtembergeois, constate que les vignes sulfatées présentent des raisins

<sup>1</sup> Galloway, *Zeit. für Pflanzenkrankh.*, Bd. I (Ref.). 38.

<sup>2</sup> Schachinger, *Oest. Land. Wochenblatt*, 1893. 103.

<sup>3</sup> C. Rumm, *B. d. d. bot. Gesellschaft*, Bd. XI, page 79. 100.

plus mûrs que ceux des ceps non traités ; il estime que, par les composés cupriques, la maturation a été hâtée de quinze jours ; en outre, la quantité de récolte est supérieure dans les vignes sulfatées. Ces observations se rapportent à des parchets non envahis par le *Peronospora* et où les plantes non sulfatées étaient parfaitement saines. Les recherches que Rumm entreprit confirmèrent pleinement ces premières constatations.

De l'ensemble de ces faits, l'auteur conclut, le premier à ma connaissance, que la bouillie bordelaise exerce une action sur l'ensemble du végétal, action absolument indépendante des propriétés fungicides des sels de cuivre.

Il semble que, depuis ce moment, l'invasion du mildiou s'étant généralisée, on n'ait plus été à même de poursuivre ces constatations. La littérature traitant cette question indique bien, il est vrai, les résultats de nombreuses analyses de raisins ou moûts provenant de vignes sulfatées et de vignes non sulfatées<sup>1</sup>, mais il s'agit toujours pour ces dernières de parchets plus ou moins mildiousés. Dans ces conditions, les différences constatées dans les résultats analytiques ne peuvent mettre en lumière que l'action anticryptogamique des sels de cuivre et non leur influence sur les phénomènes physiologiques de la végétation.

Dans cet ordre d'idées, on ne peut guère citer, pour la vigne du moins, que l'appréciation toute générale que M. le Dr Victor Peglion<sup>2</sup> émet dans les termes suivants : « On sait que, dans les régions méridionales, on constate, dans les bonnes années, un degré alcoolique du vin supérieur à celui qu'on obtenait avant l'application des remèdes antipéronosporiques. »

Les documents sont, par contre, plus abondants en ce qui concerne l'action des sels de cuivre sur la pomme de

---

<sup>1</sup> J. Dufour et E. Chuard, Bull. S. V. S. N. 1889. 30.

<sup>2</sup> Dr V. Peglion, *I trattamenti antiperonosporici e la qualità dei vini*. 89.



terre. On sait que, dès que furent constatés les premiers succès obtenus dans la lutte contre le *Peronospora* de la vigne, on songea à généraliser l'emploi des sels cupriques comme fungicide et on essaya entre autres de combattre par leur moyen le *Phytophthora infestans* de la pomme de terre. Des faits analogues à ceux relatés plus haut pour la vigne ne tardèrent pas à être constatés; la pomme de terre, comme le végétal précédent, réagit aux sels de cuivre. Après le sulfatage les feuilles deviennent plus vertes et la plante tout entière paraît plus vigoureuse. Les tubercules participent-ils aussi à cette action bienfaisante et peut-on constater une récolte plus abondante ou de qualité supérieure chez les plantes sulfatées? Des réponses contradictoires ont été données à cette question.

Girard<sup>1</sup> admet une action favorable des sels de cuivre sur la pomme de terre, tandis que Sorauer<sup>2</sup> constate que des plantes sulfatées donnent moins de tubercules que celles qui n'ont subi aucun traitement alors même que ces dernières ont eu à souffrir des attaques du *Phytophthora*. Liebscher<sup>3</sup>, ayant mis en expérience quatorze variétés de pommes de terre, arrive également à des résultats qui sont défavorables aux sels de cuivre. Peut-être que dans les expériences faites par ces deux auteurs la quantité de sel de cuivre employée a-t-elle été trop forte. Pour Steglich<sup>4</sup>, les composés cupriques ne peuvent exercer qu'une action nuisible sur la pomme de terre. Hollrung<sup>5</sup>, par contre, n'obtient aucun résultat précis.

Les essais faits dans notre canton ont permis de cons-

---

<sup>1</sup> A. Girard, *Annales agronomiques*, XVI, 41.

<sup>2</sup> Sorauer, *Zeit. für Pfl. Krank.*, III, 110.

<sup>3</sup> Liebscher, *Journal für die Landw.* 1892. 63.

<sup>4</sup> Steglich, *Nachrichten aus dem Klub der Landw.* Berlin 1893. 111.

<sup>5</sup> Berlin 1898. 52.

tater par contre une action nettement favorable du sulfate de cuivre<sup>1</sup>.

J'arrive au travail de Frank et Krüger<sup>2</sup> qui présente un intérêt tout particulier par le fait que ces auteurs se sont proposé de mettre en lumière uniquement l'action physiologique des sels de cuivre ; ils y ont pleinement réussi, grâce à la sécheresse exceptionnelle de l'été 1893 pendant lequel les essais de cultures furent entrepris, sécheresse qui empêcha complètement le développement du *Phytophthora*.

Les différences constatées dans l'allure de la végétation des plantes soumises à des traitements variés peuvent donc être attribuées, en toute certitude, à une action physiologique des substances employées pour ceux-ci.

Les résultats obtenus par Frank et Krüger peuvent se résumer par les chiffres suivants qui expriment le poids de la récolte, en tubercules, rapporté à une plante (moyenne obtenue en arrachant de 20 à 80 pieds dans les champs d'essais) :

Var : *Rose printanière*. Non traité 0,175 kg., traité à la chaux seule 0,178, légèrement sulfaté à la bouillie bordelaise 0,180, fortement sulfaté avec le même produit 0,189. La proportion d'amidon a été, en suivant l'ordre semblable, de 14,5 % ; 14,72 % ; 14,7 % ; 14,3 %.

Var : *Prince de Lippe*. Les récoltes des plantes, ayant subi des traitements identiques à ceux que je viens d'énumérer, s'expriment par les chiffres suivants, placés dans le même ordre que précédemment : Récolte 0,168 ; 0,217 ; 0,169 ; 0,175. Richesse en amidon 19,2 % ; 19,6 % ; 19 % ; 19,7 %.

J'ai relevé ces chiffres parce qu'ils montrent très nettement, et c'est là du reste la conclusion à laquelle arrivent

---

<sup>1</sup> *Chronique agricole du canton de Vaud*.

<sup>2</sup> Frank et Krüger, *Arb. d. d. landw. Gesells.* 1894. 33.



Frank et Krüger, que les substances employées dans la lutte contre le *Phytophthora* exercent une action plus ou moins intense sur la plante. Dans les cas cités, cette influence lui est favorable ; cependant, il n'en est pas toujours de même, car, dans certaines conditions, elle peut devenir nuisible au végétal. Frank et Krüger placent au premier rang des facteurs qui entrent en jeu : la variété expérimentée, la nature du sol et les conditions météorologiques pendant la période végétative.

Strebel<sup>1</sup> constate également une influence favorable exercée par les composés cupriques sur la quantité et la qualité de la récolte. Il trouve bien une diminution dans la richesse en amidon des tubercules des plantes traitées, mais la quantité de ces derniers est augmentée d'une façon si considérable que le poids total d'amidon, récolté par hectare, dans les parcelles sulfatées, est supérieur à celui fourni par les champs non traités.

Il me semble superflu de faire de plus nombreuses citations de l'abondante littérature traitant cette question. Ce qui précède suffit à démontrer que, pour la pomme de terre tout au moins, l'action physiologique des sels de cuivre dépend de plusieurs facteurs dont le rôle et l'importance ne sont pas encore déterminés.

### Partie expérimentale.

Dans le résumé bibliographique qui précède, j'ai sommairement indiqué les constatations toutes générales faites sur la composition chimique des fruits et tubercules de plantes, sulfatées ou non. Comme il n'existait pas, du moins à notre connaissance, d'analyses un peu complètes de ces fruits, nous avons cherché à obtenir ces renseignements, présentant un intérêt tout spécial en ce qui con-

---

<sup>1</sup> Strebel, *Zeit. für Pflanz. Krank.* III. 113.

cerne la question de l'influence des traitements cupriques sur la qualité du vin. Mais une grosse difficulté surgissait : le fait que les ceps non traités, attaquables par le mildiou, n'étaient plus dans des conditions comparables à celles des ceps sulfatés. Aussi, dès le début, a-t-il fallu renoncer à prendre la vigne comme matériel d'expérience et la remplacer par des végétaux réfractaires, ou tout au moins très résistants, aux attaques de cryptogames parasites. C'est pour cette raison seule que les premiers essais, en collaboration avec M. Chuard, ont porté surtout sur le groseiller à gros fruits (groseille à maquereau) *Ribes grossularia* et sur la groseille à grappes (« raisin de mars » de la Suisse romande<sup>2</sup>) (*Ribes rubrum*).

Dans toutes les recherches, dont les résultats sont consignés ci-après, la méthode d'analyse a été la suivante :

Un échantillon moyen de 200 gr. à 300 gr. étant prélevé dans le lot sulfaté et dans celui servant de témoin, on pesait exactement 100 gr. de fruits, ceux-ci étaient comptés puis débarrassés, aussi complètement que possible, des taches de bouillie bordelaise qu'ils pouvaient porter. Ce nettoyage se faisait à sec ; dans les cas où il ne suffisait pas, on le complétait par un rapide lavage à l'acide, mais alors, le témoin subissait un traitement analogue. Les fruits étaient ensuite écrasés, pulpés et placés dans un ballon jaugé, de 500 cm.<sup>3</sup> que l'on remplissait, après cette opération, avec de l'eau distillée. Après avoir été pendant une heure au bain-marie, le tout était filtré et le filtrat utilisé pour l'analyse.

Les déterminations ont été faites de la façon suivante :

*Acidité totale* : par neutralisation du filtrat au moyen de  $\text{NaOH} \frac{N}{10}$ . Indicateur le tournesol. Les résultats sont

---

<sup>2</sup> J'ai fait cependant, avec la vigne, un certain nombre de recherches sur lesquelles je reviendrai plus loin.

exprimés en centimètres cubes d'alcali normal, nécessaires pour neutraliser l'acidité de 100 gr. de fruits.

*Sucre réducteur* : par dosage au moyen de la liqueur de Fehling. Exprimé en glucose par 100 gr. de fruits.

*Sucre total* : par la méthode de Fehling après inversion par ébullition avec  $H_2SO_4$ ; exprimé en glucose par 100 gr. de fruits.

*Absorption de l'iode* par la méthode indiquée par MM. Brunner et Chuard<sup>1</sup>. Les résultats sont exprimés en gr. I pour 100 gr. de fruits.

*Extrait sec et matières minérales* : par la méthode conventionnelle utilisée en Suisse pour l'analyse des vins. Les résultats sont exprimés en grammes pour 100 gr. de fruits.

*Alcalinité des cendres* : par la méthode volumétrique habituelle.

*Acidité volatile* : par distillation des acides volatils dans un courant de vapeur d'eau; les résultats sont exprimés en centimètres cubes d'alcali normal pour 100 gr. de fruits.

Dans tous les tableaux qui suivent

T = lot témoin

S = lot sulfaté

#### A. Groseillers à gros fruits (*Ribes grossularia*).

##### I. RECHERCHES EFFECTUÉES EN 1899.

Une haie de groseillers à épines, d'une seule variété, a été divisée en deux parties : l'une a reçu un premier sulfatage à la bouillie bordelaise après l'apparition des feuilles et un second traitement identique trois semaines plus tard. Six échantillons ont été prélevés à partir du moment où les fruits avaient la grosseur d'un gros pois jusqu'à l'époque de leur maturité.

---

<sup>1</sup> Brunner et Chuard, *Bull. Soc. vaud. Sc. Nat.* 1886, 1887, 1893. 14.

Les résultats de ces analyses sont les suivants :

		9 mai	22 mai	6 juin	20 juin	3 juillet	20 juillet
Acidité totale	T	14.25	22.5	21.25	35.25	30.50	28.5
	S	14.20	19.0	22.70	34.50	30.00	28.5
Sucre réducteur	T	2.60	2.29	2.05	2.55	4.98	6.17
	S	2.77	2.28	2.07	2.65	5.56	6.90
Sucre total	T	2.62	2.31	2.17	2.78	5.29	—
	S	2.80	2.30	2.17	2.91	5.80	—
Absorption de l'iode	T	0.200	0.187	0.118	0.100	0.070	0.05
	S	0.212	0.175	0.137	0.087	0.061	0.05
Extrait sec	T	4.996	5.535	5.256	5.667	8.686	—
	S	5.084	5.115	5.612	5.779	8.636	—
Matières minérales	T	0.489	0.414	0.590	0.598	0.602	—
	S	0.464	0.388	0.585	0.592	0.598	—
Acidité volatile	T	—	—	0.312	0.500	1.00	1.00
	S	—	—	0.312	0.375	1.00	1.00
Nombre de fruits pour 100 gr.	T	124	50	33	27	20	—
	S	129	50	38	30	19	—

En récapitulant, pour les éléments les plus caractéristiques (acidité totale, sucre total, nombre de fruits), les différences qui existent dans la composition chimique des fruits des deux séries, on obtient pour les différences : Lot sulfaté — lot témoin : S-T =

	9 mai	22 mai	6 juin	20 juin	3 juillet	20 juillet
Acidité totale . . .	-0.05	-3.5	+0.45	-0.75	-0.5	$\pm 0$
Sucre total. . . .	+0.18	-0.01	$\pm 0$	+0.13	+0.51	+0.73*
Nombre de fruits. .	+5	$\pm 0$	+5	+3	-1	—

\* Sucre réducteur.

Ces chiffres indiquent donc une *diminution de l'acidité* dans les fruits sulfatés, correspondant à une *augmentation de sucre*, surtout au moment de la période de maturation. L'irrégularité qu'on remarque dans les résultats montre que, malgré les précautions prises, les erreurs provenant de l'échantillonnage doivent probablement être assez importantes dans cette série.

## II. RECHERCHES EFFECTUÉES EN 1900<sup>1</sup>.

Celles-ci ont porté en premier lieu sur les arbustes mis en expérience l'année précédente, ainsi que sur de nouvelles haies de groseillers.

a) Groseillers à gros fruits sur lesquels avaient porté les essais de 1899. La haie a été divisée comme l'année précédente et une partie a reçu deux traitements à la bouillie bordelaise.

L'analyse des échantillons qui ont été prélevés régulièrement chaque semaine a donné les résultats ci-contre :

Ces résultats sont identiques à ceux de la série parallèle de 1899. D'une façon générale, une *acidité plus faible dans le lot sulfaté*, avec quelques irrégularités cependant. La teneur en sucre est peu caractéristique, sauf en juillet où l'on constate une *augmentation en faveur des fruits traités*. Quant au nombre de fruits, ils fournissent une série intéressante sur laquelle je reviendrai tout à l'heure.

Pour multiplier les constatations, des essais pareils au premier ont été faits sur deux nouvelles séries de groseillers à gros fruits, d'autres variétés, placées dans des con-

---

<sup>1</sup> Pendant une absence de plusieurs mois, j'ai été remplacé au laboratoire de l'Institut agricole par M. Veillard, assistant de chimie à l'Université. C'est lui qui a effectué la plus grande partie des analyses faites en 1900. Je remercie vivement M. Veillard de sa collaboration dévouée.





ditions de sol, d'altitude et d'exposition très différentes. Voici les résultats d'analyse des fruits :

b) Groseillers à gros fruits situés au Champ-de-l'Air ayant reçu deux traitements à la bouillie bordelaise. Prise de l'échantillon, 23 juillet.

	T	S	Différences S — T
Acidité totale . . . . .	26.00	23.00	— 3.0
Sucre réducteur . . . . .	7.52	7.67	+ 0.15
Sucre total . . . . .	8.60	8.87	+ 0.27
Extrait sec . . . . .	9.22	9.48	+ 0.26
Matières minérales . . . . .	0.428	0.453	+ 0.025
Nombre de fruits . . . . .	24	30	+ 6

c) Groseillers à gros fruits situés à Renens. Deux traitements à la bouillie bordelaise. Prélèvement de l'échantillon le 25 juillet.

	T	S	Différences S — T
Acidité totale . . . . .	28.50	28.00	— 0.5
Sucre réducteur . . . . .	8.11	8.73	+ 0.62
Sucre total . . . . .	8.87	9.96	+ 1.09
Extrait sec . . . . .	11.56	12.75	+ 1.19
Matières minérales . . . . .	0.412	0.422	+ 0.01
Nombre de fruits . . . . .	18	17	— 1

### III. RECHERCHES EFFECTUÉES EN 1901.

Les expériences faites sur groseillers ont été peu nombreuses en 1901, les séries précédentes m'ayant paru suffisamment concluantes, et remplacées par des recherches sur la vigne. Les essais n'ont porté que sur une série, et ont donné des résultats identiques à ceux obtenus antérieurement.

Groseillers à gros fruits à Renens. Deux sulfatages à la bouillie bordelaise. Prise d'échantillon le 24 juillet :

	T	S	Différences S — T
Acidité totale . . . . .	24.0	22.0	— 2.0
Sucre total . . . . .	8.47	9.16	+ 0.69
Sucre réducteur . . . . .	7.17	7.82	+ 0.65
Extrait sec . . . . .	9.01	11.21	+ 2.20
Absorption de l'iode . . . . .	0.075	0.100	+ 0.025
Nombre de fruits . . . . .	22	22	0

**B. Groseillers à grappes (*Ribes rubrum*).**

**I. RECHERCHES EFFECTUÉES EN 1899.**

Une haie composée d'une seule variété d'arbustes a été divisée en deux lots, dont l'un a reçu deux traitements à la bouillie bordelaise, le premier après la sortie des feuilles, le second un mois plus tard. Le deuxième lot servait de témoin.

L'analyse des fruits a donné les résultats suivants :

		17 mai	30 mai	14 juin	3 juillet
Acidité totale	T	10.5	22.25	38.5	38.5
	S	13.5	20.12	34.5	35.5
Sucre réducteur	T	2.44	2.57	3.24	5.68
	S	2.32	2.56	3.50	6.55
Sucre total	T	2.45	2.62	3.55	5.78
	S	2.35	2.65	3.83	6.92
Absorption de l'iode	T	0.375	0.275	0.275	0.072
	S	0.375	0.275	0.250	0.070
Extrait sec	T	5.296	5.118	6.959	8.973
	S	5.128	5.732	7.489	9.904
Matières minérales	T	0.382	0.488	0.483	0.490
	S	0.385	0.480	0.513	0.502
Acidité volatile	T	0.180	0.125	0.125	0.250
	S	0.175	0.125	0.125	0.250



Ces chiffres ont déjà été publiés<sup>1</sup>, je les reproduis néanmoins, saisissant ainsi l'occasion qui m'est offerte de rectifier une transposition de lignes qui s'est produite dans la publication citée, mettant de la sorte nos conclusions en contradiction avec les chiffres desquels elles avaient été tirées.

Les résultats sont beaucoup plus réguliers que ceux obtenus, la même année, avec les groseillers à gros fruits, ce qui s'explique facilement par le fait que dans cette seconde série de recherches, les fruits étaient beaucoup plus petits; on a sur 100 gr. un véritable échantillon moyen, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour les grosses groseilles où vingt fruits suffisent à faire 100 gr.

En récapitulant les différentes S-T, on a :

	17 mai	30 mai	14 juin	3 juillet
Acidité totale . . . . .	+ 3.0	— 2.13	— 4.0	— 3.0
Sucre réducteur . . . . .	— 0.12	— 0.01	+ 0.26	+ 0.87
Sucre total . . . . .	— 0.10	+ 0.03	+ 0.28	+ 1.14

On voit nettement dans ce tableau une diminution de l'acidité dans les fruits sulfatés et une augmentation graduelle de l'écart entre la contenance en sucre des fruits traités et non traités.

## II. RECHERCHES EFFECTUÉES EN 1900.

Là encore, comme pour les grosses groseilles, j'ai multiplié les constatations en mettant en expérience deux nouvelles haies.

a) Groseillers à grappes situés à Mont-Calme. Deux traitements à la bouillie bordelaise; prélèvement de l'échantillon le 23 juillet.

<sup>1</sup> E. Chuard et F. Porchet, *Bull. Soc. vaud. Sc. Nat.* **19**.

	T	S	S - T =
Acidité totale . . . . .	35.50	33.50	- 2.0
Sucre réducteur. . . . .	6.84	7.28	+ 0.44
Sucre total . . . . .	6.92	7.47	+ 0.55
Extrait sec . . . . .	8.03	11.94	+ 3.91
Matières minérales . . . . .	0.510	0.560	+ 0.050
Nombre de fruits . . . . .	150	144	- 6

b) Groseillers à grappes situés à Renens. Deux traitements à la bouillie bordelaise; l'échantillon a été prélevé le 25 juillet.

	T	S	S - T
Acidité totale . . . . .	30.00	29.00	- 1.0
Sucre réducteur. . . . .	10.32	10.51	+ 0.20
Sucre total . . . . .	10.81	10.92	+ 0.11
Extrait sec . . . . .	11.13	12.94	+ 1.81
Matières minérales . . . . .	0.541	0.553	+ 0.012
Nombre de fruits . . . . .	288	282	- 6

### III. RECHERCHES EFFECTUÉES EN 1901.

Groseillers à grappes. Une haie située à Prilly. Deux sulfatages à la bouillie bordelaise. Prise d'échantillon les

	40 juillet			26 juillet		
	T	S	S - T	T	S	S - T
Acidité totale . .	35.0	33.0	- 2.0	35.5	34.5	- 1.0
Sucre total . .	6.68	7.37	+ 0.69	7.67	8.85	+ 1.18
Sucre réducteur .	6.52	7.12	+ 0.60	7.21	8.32	+ 1.11
Extrait sec. . .	8.01	9.58	+ 1.57	9.47	11.88	+ 2.41
Nombre de fruits .	—	—	—	195	181	- 14

Il ressort quelques constatations intéressantes des chiffres obtenus pendant ces trois années sur ces deux espèces d'arbustes. En premier lieu, on remarque qu'au moment de la maturité il n'y a pas de différence bien sensible entre la grosseur des fruits sulfatés et celle des fruits témoins; ces derniers sont peut-être légèrement moins développés, mais l'écart est très faible. Il n'en est pas de même au début de la période de maturation. Si nous nous reportons à la série d'analyses faites sur les groseilles maquereau en 1900, nous constatons qu'après le second traitement, il se manifeste une croissance très vigoureuse dans les arbustes sulfatés; leurs fruits grossissent rapidement, et le 25 mai il y a une différence de 12 fruits entre les deux lots de 100 gr. Il est évident qu'au fur et à mesure que les groseilles se développent, il faudra de moins en moins de fruits pour former un échantillon de 100 gr.; les différences doivent par conséquent aller également en décroissant. Il devenait intéressant de rechercher si, réellement, l'écart dans le développement va en s'atténuant en proportion de la maturation, ou bien si, au contraire, il reste le même pendant toute la période végétative.

J'ai donc, dans ce but, calculé le poids moyen d'un fruit de chaque lot et pour chacun des échantillons prélevés. En multipliant la différence des poids moyens des lots sulfatés et témoins — différence qui est toujours en faveur du premier de ceux-ci — par le nombre de fruits sulfatés, nécessaires pour faire 100 gr., on obtient, exprimée en grammes, la différence qui existe entre le poids des fruits sulfatés qui forment un échantillon, c'est-à-dire 100 gr., et le poids d'un *nombre égal* de fruits témoins.

Les chiffres de la dernière colonne du tableau suivant indiquent clairement que la différence de développement entre les fruits provenant d'arbustes traités aux sels de cuivre et ceux cueillis sur les sujets témoins va en s'atténuant au fur et à mesure que la croissance se poursuit, sans cependant disparaître complètement.

Dates	Poids moyen		Différences des poids moyens	A. $pm^s$ — A. $pm^t$
	T	S		
17 mai . . . .	0.657	0.662	0.005	0.755
25 mai . . . .	1.052	1.204	0.152	12.616
1 <sup>er</sup> juin . . . .	1.470	1.666	0.196	11.760
8 juin . . . .	1.961	2.127	0.166	8.002
15 juin . . . .	—	—	—	—
25 juin . . . .	3.448	3.704	0.256	6.912
2 juillet . . . .	3.448	3.704	0.256	6.912
9 juillet . . . .	3.704	3.846	0.142	3.692
16 juillet . . . .	4.761	5.000	0.239	4.780
23 juillet . . . .	5.000	5.263	0.263	4.997

A = nombre de fruits sulfatés pesant 100 gr.

$pm^s$  = poids moyen d'un fruit sulfaté.

$pm^t$  = poids moyen d'un fruit témoin.

L'application des remèdes cupriques provoque donc chez le groseiller une accélération dans le développement des fruits, accélération qui semble s'opérer immédiatement après le sulfatage.

L'observation attentive des arbustes sulfatés conduit aussi à la même conclusion. Si on fait l'application des sels de cuivre très tôt, c'est-à-dire au moment où les premières feuilles s'épanouissent, on peut constater une floraison légèrement plus hâtive dans les arbustes traités. La différence est naturellement très faible, car chez les groseillers le temps qui s'écoule depuis la sortie des feuilles jusqu'à la floraison est très restreint. L'observation devient par contre très facile plus tard, au moment où la maturation s'achève. J'ai constaté régulièrement que les petites groseilles sulfatées mûrissaient plus tôt que celles qui n'avaient reçu aucun traitement. Le fait est rendu frappant grâce à l'apparition, dans ces fruits, d'un pigment rouge au moment de la véraison. En outre, on sait que les fruits des groseillers à grappes ne se détachent que très tard du

rameau qui les porte, alors même qu'ils sont tout à fait mûrs. Ils flétrissent d'abord, puis se dessèchent et ne tombent souvent qu'après les feuilles. Alors que les fruits des plantes témoins possédaient encore leur aspect normal, j'ai pu régulièrement remarquer que les fruits d'arbustes sulfatés commençaient à se flétrir, indiquant ainsi qu'ils avaient terminé plus tôt que les premiers le cycle complet de leur évolution. On peut donc constater, aux trois stades caractéristiques du développement des fruits — la floraison, l'apparition du pigment, la marcescence — que les phénomènes physiologiques dont ils sont le siège sont accélérés par l'application de sels cupriques sur les feuilles.

Ces faits étant connus, il est possible maintenant d'interpréter les chiffres donnés plus haut et d'en tirer ensuite une conclusion générale.

Il a été remarqué sans doute que dans les séries d'analyses, les différences de composition chimique entre les fruits sulfatés et les fruits témoins ne présentaient pas toujours la même netteté. Ceci s'explique maintenant facilement.

Prenons par exemple la série I de 1899, groseillers à gros fruits. Au commencement du mois de mai, les fruits de ces arbustes contiennent en moyenne 2,7 % de sucre total; cette proportion reste presque invariable, sauf une très légère diminution temporaire, jusqu'à la fin de juin où nous trouvons 2,8 %, tandis que, seulement quinze jours plus tard, la proportion de sucre a doublé et atteint 5,6 %.

Le même fait se reproduit en 1900. Pendant plus d'un mois, la quantité de sucre n'augmente pas, puis du 15 juin au 16 juillet, elle passe de 3,5 % à 6,7 %, tandis que le 23 juillet elle est de 9,4 %.

L'acidité totale, par contre, croît au fur et à mesure que la groseille se développe, atteint un maximum en juin et depuis diminue légèrement.

Comme on le voit, le fruit du groseiller à épines grossit en accumulant tout d'abord des principes acides et en augmentant très peu la proportion du sucre qu'il contient. Ce n'est guère qu'à la fin de la période de maturation, au moment où l'acidité diminue, que, inversement, la richesse en sucre s'accroît d'une façon très rapide.

Pour les groseilles à grappes, le phénomène est identique dans ses grandes lignes; cependant, l'élaboration intensive du sucre semble répartie sur une période plus longue, d'où il résulte que les modifications de la composition chimique sont moins brusques.

En résumé, les analyses prouvent que, pour les groseillers, l'acidité va en augmentant jusqu'à fin juin environ, pour diminuer ensuite; tandis que la proportion de sucre contenu dans les fruits ne s'accroît rapidement qu'à partir de cette période. Or, les traitements cupriques qui ont la propriété, ainsi que nous venons de le constater, d'activer les phénomènes physiologiques, doivent avancer légèrement les époques où ces maxima se produisent. Il en résulte que, sitôt après le sulfatage, le fruit traité se développant plus promptement que celui qui ne l'est pas sera tout d'abord plus acide que ce dernier, ou, en tous cas ne se montre pas moins acide; ce n'est qu'un peu plus tard qu'il présente ce dernier caractère. La différence entre l'acidité totale des fruits traités et celle des groseilles témoins, après avoir passé par un maximum — se manifestant naturellement au moment du maximum d'acidité — s'atténue peu à peu sans pour cela disparaître même à l'époque de la parfaite maturité.

Pour le sucre, dont la quantité n'augmente guère qu'à la fin de la période d'accroissement, ainsi que nous venons de le voir, les choses ne se passent naturellement pas de la même façon. Les différences entre fruits sulfatés et fruits témoins ne se font nettement sentir qu'au moment où les premiers, arrivant plus tôt que les seconds à l'épo-



que de l'élaboration active du sucre, présentent une abondance plus grande de celui-ci.

L'écart va en s'accroissant, naturellement, au fur et à mesure de la maturation; il sera maximum du moment où, pour les groseillers à grappes par exemple, les fruits témoins étant encore verts, les grappes sulfatées présentent déjà tous les caractères extérieurs de la maturité complète (pigmentation, translucidité).

Il est aisé maintenant de comprendre pourquoi, alors que l'application des sels de cuivre provoque immédiatement un développement plus rapide des fruits traités, on ne constate toutefois pas d'augmentation de sucre dans ceux-ci; pourquoi les différences de richesse saccharine entre lot sulfaté et lot témoin sont si peu régulières pendant la première partie de la période d'accroissement; pourquoi enfin, au moment de la maturité, l'augmentation de sucre oscille entre 0,1 % et 1,2 % suivant le degré de développement des fruits qui, apparemment, du moins semblent également mûrs.

Tout ceci s'explique par la raison que, les composés cupriques accélérant les phénomènes de croissance, lorsqu'on prélève un échantillon de fruits sulfatés et un échantillon aussi comparable que possible de fruits témoins, on se trouve de fait en présence de fruits inégalement développés. Les différences de composition chimique constatées sont donc dues, tout d'abord, à ce que les fruits analysés n'ont pas atteint le même degré de maturité.

Une question se pose d'emblée; indépendamment du fait exposé ci-dessus, les composés cupriques n'ont-ils aucune influence sur la composition chimique des fruits? En d'autres termes, est-ce que des fruits, provenant les uns de plantes sulfatées, les autres de plantes non traitées, mais parvenus à une maturité égale, auront la même composition chimique?

Pour répondre à cette question, il suffisait d'analyser des fruits semblablement mûrs, mais la difficulté consistait précisément à apprécier cet état de maturité. J'ai pensé tout d'abord à utiliser le pigment rouge, dont il a été parlé précédemment, comme indicateur, en cueillant tous les grains qui paraissaient de teinte identique, cela sur un lot sulfaté et sur un lot témoin.

L'irrégularité complète des résultats obtenus de cette façon m'a montré que ce procédé d'échantillonnage n'offrait aucune certitude, aussi l'ai-je abandonné.

Renonçant alors aux groseillers, j'ai cherché un autre arbuste dont les fruits fournissent un critère capable de fixer exactement le degré de maturité. Le framboisier (*Rubus Idaeus*), m'a paru remplir en tous points ces conditions. On sait que lorsque la framboise est parfaitement mûre, elle se détache d'elle-même du réceptacle sur lequel elle s'est formée. J'en ai déduit que, des fruits présentant cette même particularité, avaient atteint un degré égal de maturité.

Les essais portèrent sur soixante pieds de framboisiers dits « remontants », c'est-à-dire poussant en été de nouvelles branches, fructifiant encore en automne et donnant ainsi une seconde récolte tardive. Ces plantes, disposées en lignes, formaient un carré. Pour éviter toute erreur provenant de différences d'insolation, de fumure, d'humidité, etc., je n'ai pas divisé l'ensemble en deux lots, mais il m'a paru préférable de sulfater les lignes de deux en deux, intercalant ainsi entre elles un rang témoin.

Le framboisier présentait toutefois un inconvénient, celui de ne pouvoir subir qu'un traitement cuprique, par le fait qu'au moment où le second sulfatage aurait dû être appliqué — pour les groseillers un mois en général après le premier — les fruits, déjà formés, en auraient gardé des traces, qu'il devenait impossible de faire disparaître par un lavage à l'acide vu la consistance du fruit à maturité.



Les arbustes ayant servi à l'expérience en 1901 et 1902 ne reçurent donc qu'un seul traitement, à l'apparition des feuilles. Pour le prélèvement des échantillons, j'ai procédé comme suit : lorsque, dans les deux lots, les framboises furent parfaitement mûres, je secouai légèrement tous les rameaux et je recueillis tous les fruits qui s'en détachaient. L'opération fut faite sur tous les pieds de chaque lot, de façon à avoir un échantillon moyen exact. Sur cet échantillon, 500 gr. ont été prélevés et traités par la même méthode que celle appliquée pour les groseilles. Cette façon d'opérer ne me permettait pas de faire des déterminations renouvelées dans le courant de chaque été, mais, par contre, elle supprimait les erreurs d'échantillonnage.

Voici les chiffres donnés par l'analyse, rapportés, comme pour les groseilles, à 100 gr. de fruits :

### C. Framboisiers (*Rubus Idæus*).

#### I. ESSAIS FAITS EN 1901.

Un sulfatage à la bouillie bordelaise, appliqué immédiatement après la sortie des feuilles.

Au moment de la floraison, on constate que les plantes sulfatées sont en avance sur les autres. La différence est rendue plus frappante encore par le fait que les abeilles voltigent sans cesse autour des lignes traitées qui leur offrent seules un grand nombre de fleurs épanouies.

Les premiers fruits mûrs apparaissent également sur les plantes traitées à la bouillie bordelaise et c'est de celles-ci encore qu'ils tombent tout d'abord.

	20 juillet			30 juillet		
	T	S	S - T	T	S	S - T
Acidité totale . .	27.0	28.5	+ 1.5	35.5	34.7	- 0.75
Sucre total . . .	6.76	7.00	+ 0.24	6.81	7.19	+ 0.28
Absorpt. de l'iode.	0.05	0.05	$\pm 0$	0.05	0.05	$\pm 0$
Nombre de fruits.	85	79	- 6	78	77	- 1

	2 <sup>me</sup> Récolte 19 septembre		
	T	S	S — T
Acidité totale. . . . .	28.0	28.0	$\pm 0$
Sucre total . . . . .	4.34	4.44	+ 0.10
Absorption de l'iode . . . . .	0.05	0.05	$\pm 0$
Nombre de fruits . . . . .	97	95	— 2

## II. ESSAIS FAITS EN 1902.

L'expérience a été faite dans les mêmes conditions que celles de 1901 et sur les mêmes plantes.

Cette fois je n'ai pas constaté un avancement aussi visible dans la végétation du lot sulfaté.

	14 juillet			28 juillet		
	T	S	S — T	T	S	S — T
Acidité totale . .	25.5	23.5	— 2.0	26.5	28.0	— 0.5
Sucre total . .	6.61	6.85	+ 0.24	6.98	7.20	+ 0.22
Sucre réducteur .	4.98	5.26	+ 0.28	—	—	—
Extrait sec . .	8.76	6.70	— 1.06	8.12	8.21	+ 0.09
Nombre de fruits .	74	73	— 1	70	70	$\pm 0$

	2 <sup>me</sup> Récolte le 4 septembre		
	T	S	S — T
Acidité totale . . . . .	37.14	40.00	+ 2.86
Sucre total . . . . .	0.86	0.97	+ 0.11
Extrait sec . . . . .	8.31	8.87	+ 0.56
Cendres . . . . .	0.428	0.345	— 0.082

Il résulte de ces chiffres que, dans le cas du framboisier du moins, on modifie d'une façon irrégulière l'acidité des fruits, tandis qu'on provoque, au contraire, et pour tous les sujets examinés, une légère augmentation de la proportion de sucre dans le lot sulfaté. Ici, elle ne provient

pas d'une différence de maturité, mais bien d'un travail physiologique plus actif de la plante et d'une accumulation plus importante, dans les fruits, de substances élaborées par elle.

MM. L. Ravaz et A. Bonnet<sup>1</sup>, discutant les résultats de nos essais de 1899 sur les groseilles, pensent que les différences constatées sont dues à des erreurs d'échantillonnage. Cette objection, réfutée pour ce qui concerne les groseilles par les analyses faites depuis la première publication indiquée, pourra être mise en avant pour ce qui concerne les résultats obtenus sur le framboisier. Il me paraît difficile d'admettre qu'une erreur d'échantillonnage ait pu se produire dans six cas différents, toujours dans le même sens et avec une amplitude sensiblement la même. En outre, je répète qu'il m'a semblé préférable de faire peu de déterminations, mais de les effectuer sur la totalité du matériel à ma disposition, cela de façon à obtenir des résultats plus sûrs. Pour ce qui me concerne, je crois que les chiffres ci-dessus expriment une augmentation réelle de la richesse en sucre dans les plantes sulfatées.

#### **D. Recherches effectuées sur la vigne. (*Vitis vinifera*).**

Dans le vignoble, on a volontiers accusé les modifications de l'allure de la végétation provoquées par les sulfatages d'être la cause primordiale de l'altération connue sous le nom de « casse » ou brunissement des vins<sup>2</sup>.

L'étude de l'influence des traitements cupriques sur la composition chimique du raisin présente donc un intérêt pratique tout particulier.

La première question qui se pose est naturellement de savoir si l'application des sels de cuivre provoque chez la vigne, comme chez les végétaux que je viens de citer, une

---

<sup>1</sup> Ravaz et Bonnet, *Progrès agricole*, 1902. 96.

<sup>2</sup> E. Chuard, *Chronique agricole*. 1899, 1900. 15 et 16.

accélération des phénomènes de maturation et une augmentation de la proportion de sucre dans les fruits.

Cette vérification présente une grosse difficulté par le fait que les ceps témoins, c'est-à-dire non sulfatés, peuvent être facilement attaqués par le mildiou, ce qui les place dans des conditions telles que toute comparaison devient impossible.

Pendant deux ans j'ai tenté l'expérience, mais chaque fois les ceps non traités, en treille comme en pleine vigne, ont été mildiousés et je n'ai pu obtenir aucun résultat.

En 1902 cependant, j'ai eu la bonne fortune de pouvoir prendre un échantillon de raisins dans une vigne dont la partie centrale n'avait jamais été sulfatée, tandis que les bords étaient traités chaque année à la bouillie bordelaise. Lors de la prise d'échantillon, au moment des vendanges, les ceps non sulfatés étaient presque complètement dépouillés de leurs feuilles, alors même qu'ils n'avaient pas été atteints par le mildiou. Les ceps sulfatés, par contre, possédaient un feuillage qui commençait seulement à jaunir par-ci par-là.

L'analyse des moûts de ces deux lots a donné les résultats suivants :

	T	S	S — T
Acidité totale . . . . .	16.275	16.650	+ 0.375
Sucre réducteur . . . . .	12.73	12.34	— 0.39
Sucre total . . . . .	12.91	12.40	— 0.51
Extrait sec . . . . .	15.98	15.48	— 0.50
Cendres . . . . .	0.306	0.300	+ 0.006
Absorption de l'iode . . . . .	0.2	0.2	± 0

En présence de ces difficultés d'expérience, j'ai eu recours à des cépages plus résistants vis-à-vis du mildiou, c'est-à-dire à des plants américains non greffés (hybrides, producteurs directs).

Ces essais ont été faits en 1901 et 1902 sur sept variétés choisies dans les collections de producteurs directs que possède la Station viticole, au Champ-de-l'Air.

Dans ces deux années, onze échantillons ont été analysés : j'ai constaté dans cinq cas une acidité plus forte dans le lot sulfaté que dans le témoin ; dans cinq cas c'est l'inverse ; dans un cas les acidités sont les mêmes. Pour le sucre total, dans cinq cas les raisins des ceps sulfatés sont plus doux que les autres, dans cinq c'est l'inverse et dans un cas la proportion de sucre est égale dans les deux lots.

Ces résultats n'autorisent qu'une seule conclusion à savoir que les déductions qui ont été tirées des recherches faites sur les groseillers et les framboisiers ne sont pas applicables, sans correction, à la vigne.

La chose peut s'expliquer facilement si on songe que pour ce végétal nous sommes en présence de deux phénomènes dont les manifestations sont absolument opposées. En effet, d'une part, des observations que j'ai mentionnées dans ce travail font supposer que les traitements aux sels de cuivre provoquent une accélération des phénomènes vitaux chez la vigne comme chez d'autres végétaux ; d'autre part, les sulfatages prolongeant la période végétative retardent la période de maturation des fruits. Ce retard doit provenir surtout du fait que les feuilles restant parfaitement vertes en automne portent ombrage aux raisins, rendant ainsi la maturation de ceux-ci plus difficile surtout dans les années froides ou pluvieuses. L'action des remèdes cupriques sur la qualité de la récolte dépendrait donc du jeu de ces deux facteurs opposés, les conditions météorologiques de l'automne entrant pour beaucoup en ligne de compte.

Il est probable que dans les années présentant un automne chaud les sulfatages exercent une influence favorable sur la qualité de la récolte, celle-ci devant être légè-

rement plus douce et moins acide que si les ceps n'avaient pas été traités (il est évident qu'il est fait abstraction du mildiou). Dans les années pluvieuses, au contraire, les sels de cuivre, maintenant la végétation très verte, empêchent le raisin d'arriver à parfaite maturité, et dans ce cas, le feuillage entretenant une atmosphère humide entre les sarments favorisera le développement du Botrytis qui provoque la pourriture du raisin.

Dans ce dernier cas, il serait très logique d'admettre l'existence d'une relation entre la casse des vins et les traitements cupriques ; ceux-ci en empêchant la maturation de se parachever permettront aux raisins de conserver jusqu'au moment de la récolte les oxydases qui sans cela auraient disparu.

Mais ce sont là des spéculations purement théoriques. Les faits expérimentaux et les données analytiques recueillis jusqu'ici ne permettent pas de donner une conclusion définitive à une question aussi importante que délicate.

J'ai cru devoir présenter ces quelques renseignements généraux concernant l'action des sels de cuivre sur la vigne pour montrer que ce dernier végétal est en quelque sorte un cas particulier qui demande à lui seul tout un programme de recherches. Les lignes qui précèdent indiquent dans quelle direction ces recherches ont été entreprises et seront poursuivies.

\*   \*   \*

Pour les raisons que je viens de mentionner, je fais donc abstraction de la vigne en présentant les conclusions de cette première partie de mon travail. Ces conclusions s'appliquent par conséquent aux végétaux qui, comme les groseillers et les framboisiers, mûrissent complètement leurs fruits longtemps avant la période du jaunissement et de la chute des feuilles.



Ceci établi, je récapitulerai les résultats de cette série de recherches en disant :

### Conclusions.

1° Les fruits de plantes sulfatées sont moins acides et plus riches en sucre que ceux de plantes non traitées.

2° Ces différences proviennent avant tout du fait que, lors de la prise des échantillons, on se trouve en présence de fruits inégalement mûrs, les traitements cupriques hâtant les phénomènes de maturation.

3° Indépendamment de ce fait, on constate, du moins chez le framboisier, une légère augmentation de sucre dans les fruits provenant de plantes sulfatées, alors même que ceux-ci sont à un degré de maturité égal à celui des fruits témoins auxquels ils sont comparés.

4° Les différences de composition chimique des fruits sulfatés et des fruits témoins, tout en étant très nettes, n'atteignent pas, tout au moins dans notre climat et pour les plantes expérimentées, les chiffres énormes donnés par Galloway et Schachinger.

Ces faits étant établis, il reste à les expliquer, c'est-à-dire à rechercher l'influence que peuvent exercer les sels cupriques sur l'organisme végétal pour provoquer chez celui-ci des modifications aussi caractéristiques dans la rapidité de développement et de maturation de ses fruits. Le premier point qu'il est important d'élucider est celui de savoir si les sels de cuivre pénètrent dans l'organisme ou bien si, au contraire, ils restent absolument insolubles à la surface des feuilles traitées.

---

## II

## Les sels de cuivre pénètrent-ils dans les végétaux sulfatés ?

## Historique.

En 1887 déjà, Millardet et Gayon<sup>1</sup> supposaient que les sels de cuivre étaient absorbés en partie par les feuilles sulfatées et communiquaient à ces dernières une sorte d'immunité contre le mildiou.

Alessandri<sup>2</sup>, pulvérisant sur les feuilles des solutions de sulfate de cuivre ainsi que de l'eau céleste [ $\text{Cu}(\text{OH})_2$  en solution ammoniacale], aurait constaté une pénétration de ces sels cupriques solubles au travers de la cuticule jusqu'aux cellules du parenchyme; de là, d'après lui, une partie du métal absorbé entrerait dans la circulation générale tandis que l'autre se combinerait à la chlorophylle sous une forme plus ou moins stable.

En 1890, Salvatori<sup>3</sup> analyse les différentes parties des plantes sulfatées et y constate des quantités variables de cuivre, quantités dépendant du mode d'application du composé cuprique et de la nature de ce dernier. Malheureusement, l'auteur n'indique pas de quelle façon il élimine les sels de cuivre adhérents encore à la surface des feuilles.

En 1892, Sestini<sup>4</sup> cherchant à empoisonner la sève de la vigne pour préserver cette plante de l'invasion du *Pero-nospora*, arrose le sol avec une solution de sulfate de cuivre. Il constate que les feuilles de ces ceps contiennent moins de cuivre que celles des plantes traitées par pulvé-

---

<sup>1</sup> Millardet et Gayon, *Recherches sur le mildiou*, 1887. 77.

<sup>2</sup> Alessandri, *Italia agricola*, 1889. 2.

<sup>3</sup> Salvatori, *Agricoltura italiana*, 1900. 102.

<sup>4</sup> Sestini, *Staz. sperim. agric. ital.*, 1892. 108.



risation des sels cupriques. Dans les deux cas, il y aurait donc pénétration de ces derniers.

L'année suivante, C. Rumm<sup>1</sup> arrive à des conclusions absolument opposées à celles des auteurs cités. Travaillant avec la vigne, Rumm constate que les feuilles provenant de treilles sulfatées possèdent une teinte spéciale, vert-foncé; une fois détachées du rameau, elles conservent leur couleur plus longtemps que celles qui n'ont pas subi l'action des sels de cuivre. D'une façon générale, les feuilles sulfatées semblent plus robustes que les autres; la mesure micrométrique de l'épaisseur des différents tissus foliaires conduit, assez généralement, à la même conclusion. Les grains de chlorophylle sont plus petits, mais plus nombreux, dans les cellules en palissade des feuilles sulfatées que dans l'assise cellulaire correspondante des feuilles non traitées; le parenchyme spongieux des premières est plus riche en pigment vert que celui des secondes.

Rumm cherche ensuite à déceler la présence du cuivre dans les feuilles après avoir soumis celles-ci à un lavage prolongé à l'acide. Il utilise la méthode spectroscopique et n'obtient que des résultats négatifs. L'auteur en conclut que les sels de cuivre apportés par les traitements cupriques à la surface des feuilles ne pénètrent pas dans celles-ci mais qu'ils exercent une action de contact ou *action chimiotaxique* — analogue à la stimulation chimiotaxique signalée par Pfeffer<sup>2</sup> — se traduisant en premier lieu par une production plus intense de la chlorophylle.

Ces conclusions, vivement combattues par Zimmermann<sup>3</sup> et Aderhold<sup>4</sup> furent reprises complètement par Frank et

---

<sup>1</sup> Rumm., *Berich. d. deuts. bot. Gesell.*, Bd. XI, page 79. 100.

<sup>2</sup> Pfeffer, *Ber. der deuts. bot. Gesell.*, 1883. 91.

<sup>3</sup> Zimmermann, *Bot. Centr. Blatt.*, 1893. 136.

<sup>4</sup> Aderhold, *Central Blatt für Back.*, Abtf. II., Bd. V. 1.

Krüger<sup>1</sup> à la suite de leurs recherches sur la pomme de terre. Ces auteurs ne constatent aucune différence morphologique entre les feuilles sulfatées et celles qui ne le sont pas ; l'ensemble des tissus semble cependant plus vigoureux dans les premières, qui possèdent des grains de chlorophylle plus gros et plus nombreux que les secondes. Frank et Krüger donnent encore comme preuve d'une augmentation de la quantité de pigment vert, par le sulfatage, le fait que les extraits alcooliques obtenus des feuilles traitées sont d'un vert beaucoup plus intense que ceux fournis par des feuilles témoins. Je montrerai plus loin quelle importance il faut attribuer à cette constatation. Les auteurs cités signalent une intensité plus grande de l'assimilation et de la respiration dans les feuilles traitées correspondant à une augmentation de la richesse en amidon dans celles-ci.

Frank et Krüger recherchent le cuivre dans les feuilles sulfatées par la méthode électrolytique, sans réussir à déceler la présence de ce métal. Par conséquent, ils n'admettent pas la pénétration des sels cupriques dans le végétal et ont également recours à l'action chimiotaxique évoquée par Rumm, pour expliquer les modifications apportées dans l'allure de la végétation par l'application de remèdes à base de cuivre.

Berlese et Sostegni (1894-95)<sup>2</sup> concluent, comme Sestini, que la vigne fixe le cuivre dans les parties qui reçoivent ses sels directement. Les feuilles traitées par sulfatage absorbent de très faibles quantités de métal, insuffisantes en tout cas pour les rendre réfractaires à l'invasion du mildiou. Dans les cellules vertes, le cuivre exerce une action sur le cyanophylle et « se combine peut-être avec cette substance de façon à en augmenter la proportion » (?)

---

<sup>1</sup> Déjà cités. 33.

<sup>2</sup> Berlese et Sostegni, *Rev. intern. de vitic. et œnolog.*, 1894. 10.

en communiquant à la feuille tout entière une teinte plus foncée. Enfin, les auteurs se refusent à admettre une action chimiotaxique du cuivre, ils sont portés plutôt à appuyer l'hypothèse de Mangin<sup>1</sup> qui suppose que le cuivre doit exercer sur le végétal une action analogue à celle que produisent certains poisons sur l'organisme animal.

En 1897, Bringuier<sup>2</sup> traite des ceps, partie avec une bouillie alcaline, partie avec une bouillie acide; pendant les cinq à huit premiers jours qui suivent l'opération, il ne constate la présence du cuivre que dans les feuilles ayant reçu le traitement acide; à partir de ce moment la bouillie alcaline commence à pénétrer dans les tissus foliaires. Vingt jours après le sulfatage, on ne constate plus de cuivre dans aucune feuille, alors même que celles-ci possèdent encore des réserves de bouillie à leur surface. Malheureusement, cet auteur ne donne aucun détail sur la méthode analytique qu'il a employée dans ses recherches.

Tout récemment, une nouvelle hypothèse est venue s'ajouter aux précédentes. MM. L. Ravaz et Bonnet<sup>3</sup> nient toute action directe du cuivre sur les végétaux. Pour ces auteurs, la maturation plus rapide des fruits de plantes sulfatées n'est pas démontrée; quant à la coloration plus intense et plus persistante du feuillage de ces dernières, elle proviendrait du fait que les sels de cuivre, grâce à leurs propriétés anticryptogamiques, détruiraient toute une série de champignons semi-parasites qui, sans paraître affecter gravement les tissus foliaires, n'en vivent pas moins à leurs dépens; ils affaiblissent la feuille et hâtent sa chute en automne.

Enfin, en 1902, a paru un travail très complet de H. Bain<sup>4</sup> : *L'action du cuivre sur les feuilles*.

---

<sup>1</sup> Mangin, *Revue des sciences*, 1894. 66.

<sup>2</sup> Bringuier, *Messenger agricole du Midi*, 1897. 12.

<sup>3</sup> Ravaz et Bonnet, *loc. cit.* 96.

<sup>4</sup> H. Bain, *Bull. University of Tennessee*, 1902. 5.

L'auteur, en utilisant une méthode toute différente de la mienne, arrive, ainsi qu'on le verra, à des conclusions identiques à celles qui résument ce travail. H. Bain démontre la perméabilité de la cuticule vis-à-vis des sels de cuivre; ces derniers provoquent dans la feuille une stimulation se traduisant par une augmentation de la quantité d'amidon contenu dans les feuilles sulfatées. Cette excitation, en s'accroissant, devient une intoxication qui provoque la mort des parties du limbe en contact avec le composé cuprique et provoquant en outre, dans le pècher du moins, la formation, à la base du pétiole, d'une couche de suber identique à celle qui occasionne la chute automnale des feuilles.

## Recherche du cuivre dans les feuilles de végétaux sulfatés.

### PARTIE EXPÉRIMENTALE

Le résumé bibliographique qui précède montre que la question de la pénétration des sels de cuivre dans les végétaux, par application extérieure sur les feuilles, est résolue de façons diverses par les auteurs qui s'en sont occupés.

Désirant me faire également une idée personnelle sur ce sujet, j'ai cherché à constater la présence du cuivre dans les feuilles ayant subi un traitement à base de ce métal.

La première méthode employée a été la recherche micro-chimique du cuivre directement dans des coupes d'organes de plantes sulfatées; le réactif utilisé était le ferrocyanure de potassium; ces essais ont toujours été faits de un à six jours après le traitement à la bouillie bordelaise ( $3\% \text{ CuSO}_4 + 2\% \text{ CaO}$ ).

a) *Recherche du cuivre dans les feuilles.* Les taches de bouillie cuprique — constituant ce que j'appellerai à l'avenir, pour simplifier, *cuivre extérieur* — n'ont pas été la-

vées, de façon à éviter la pénétration du liquide cuprique de lavage à l'intérieur du parenchyme. J'ai découpé soigneusement les portions du limbe comprises entre les taches de bouillie bordelaise, et c'est dans ces fragments que les coupes ont été faites pour être examinées ensuite sous le microscope. Le traitement de celles-ci au ferrocyanure s'opérait directement sous le couvre-objet, en présence d'acide acétique. Cet essai, répété à de nombreuses reprises et sur des feuilles de différentes espèces végétales, ne m'a jamais permis de déceler la présence du cuivre dans les cellules.

Je m'empresse de reconnaître que les conditions dans lesquelles je me suis placé étaient particulièrement défavorables puisque j'évitais par là même d'examiner les cellules les plus directement en contact avec les taches de sels de cuivre et ainsi, je ne pouvais constater que les portions de sels métalliques qui auraient été mises en circulation au sein de la feuille.

J'ai cherché cependant à examiner aussi le contenu des cellules immédiatement sousjacentes aux taches de bouillie bordelaise. Pour cela, les feuilles ont été nettoyées, à sec tout d'abord, aussi soigneusement que possible ; la région où se trouvait la tache a été lavée rapidement avec le minimum possible de liquide acide, puis essuyée tout de suite.

Les coupes faites dans des feuilles ainsi préparées ont donné, ainsi qu'on pouvait le prévoir, des résultats variables et par conséquent incertains. J'ai constaté tantôt l'absence du cuivre dans les tissus, tantôt au contraire la formation de ferrocyanure de cuivre dans les cellules épidermiques. Pour ce qui me concerne, je n'hésite pas à attribuer ce dernier à la présence, soit de traces de cuivre extérieur non dissous par le lavage soit — et ceci paraît plus probable — de petites quantités de métal solubilisé par l'acide de lavage et qui auraient eu le temps de pénétrer au travers de la cuticule, dans les cellules épidermiques,



malgré la rapidité avec laquelle les opérations ont été effectuées. L'irrégularité des résultats est facile à comprendre si l'on songe surtout que la perméabilité de la cuticule varie, pour la même espèce, d'une feuille à l'autre <sup>1</sup>.

Il me paraît donc impossible que l'on puisse se baser sur des constatations aussi irrégulières que celles que je viens de résumer pour admettre la pénétration du cuivre dans les feuilles.

On pouvait éviter la cause d'erreur qui vient d'être mentionnée, en prenant comme matériel une plante dont l'épiderme des feuilles soit facile à détacher. L'iris était tout indiqué pour ces recherches. Quelques plantes d'Iris (*Iris germanica*) ont été traitées copieusement à la bouillie bordelaise; le 1, les 4, 6, 10 jours après, j'ai prélevé des échantillons de feuilles. Celles-ci n'ont, naturellement, subi aucun lavage. L'épiderme a été détaché sur des fragments de feuilles dans lesquels les coupes ont été faites pour être traitées ensuite au ferrocyanure. Il ne m'a pas été possible d'obtenir une coloration indiquant la présence du cuivre.

En face de ces résultats, une première question se posait : est-ce que les sels de cuivre, en pénétrant dans la cellule, ne pourraient pas se fixer immédiatement à tel ou tel groupe organique, formant avec lui une combinaison dans laquelle le métal ne pourrait plus réagir vis-à-vis du ferrocyanure ?

Tschirch <sup>2</sup> a montré en particulier que de petites quantités de cuivre pouvaient entrer en combinaison avec un des éléments constituants de la chlorophylle, en formant un composé défini auquel il a donné le nom de phyllocyanate de cuivre. Ce corps possède une couleur verte, plus foncée que celle de la chlorophylle qui lui a donné nais-

---

<sup>1</sup> Bain, *loc. cit.*, page 67. 5.

<sup>2</sup> Tschirch, *Das Kupfer vom standpunkt der gericht. Chemie.* 123.



sance, il est en outre plus stable que celle-ci vis-à-vis des acides ; or, ce sont précisément là les caractères spéciaux que possèdent les feuilles sulfatées. On pouvait logiquement supposer que s'il y avait formation d'un composé organique de cuivre dans la cellule, ce dernier pourrait bien être du phyllocyanate de cuivre (Tschirch). Il y avait là une méthode indirecte, permettant, cas échéant, de constater la pénétration des sels de cuivre à l'intérieur des feuilles.

Dans ces recherches, il a été procédé comme suit : les feuilles sulfatées ont été dessinées avec soin, de façon à repérer exactement la position des taches de bouillie bordelaise. Les feuilles ont été ensuite immergées dans de l'eau légèrement acidulée d'acides soit minéraux, soit organiques ; pour les feuilles de vigne, dont l'altération de la chlorophylle se fait particulièrement promptement, j'ai fait quelques essais par simple immersion dans de l'eau pure. Après un temps plus ou moins long, suivant les liquides et les feuilles en expérience, on constate que la chlorophylle est altérée et que la feuille jaunit. Les premiers points d'attaque ont été repérés sur le dessin de la feuille ainsi que les dernières parties restées vertes. Je n'ai pas pu remarquer la correspondance de ces dernières aux parties du limbe sous-jacentes aux taches de bouillie, comme il semble que cela aurait dû être le cas s'il y avait eu formation de phyllocyanate de cuivre dans ces parties-là. Le jaunissement se manifeste en premier lieu, tantôt le long des nervures ou sur le bord du limbe — c'est-à-dire dans les parties les plus acides de la feuille<sup>1</sup> — tantôt par l'apparition de taches distribuées d'une façon qui paraissait absolument irrégulière et qui, je le répète, m'a semblé n'avoir aucune relation avec la répartition des sels de cuivre à la surface de la feuille.

---

<sup>1</sup> Astruc, *Recherches sur l'acidité végétale*. 4.

*b) Recherches du cuivre dans le pétiole des feuilles.*

Pour ces recherches, le pétiole semblait être *a priori* un matériel plus favorable que le limbe de la feuille, car s'il y avait pénétration et mise en circulation des sels de cuivre dans le végétal, on aurait, concentré sur la section relativement faible du pétiole, un courant contenant la presque totalité du métal absorbé par toute la surface du limbe. Il était en outre très facile de faire des coupes transversales, en évitant les parties du pétiole tachées de bouillie bordelaise. Malgré cela, je n'ai obtenu que des résultats négatifs, c'est-à-dire que je n'ai pas constaté de cuivre dans les tissus du pétiole.

*c) Recherches du cuivre dans les rameaux.*

Berlese et Sostegni<sup>1</sup> ont montré que dans les tiges herbacées de la vigne, c'est le collenchyme qui a la propriété de fixation la plus marquée pour le cuivre. Ces auteurs, il est vrai, ont introduit de grandes quantités de ce métal dans des tiges coupées en faisant tremper l'extrémité de celles-ci dans des solutions cupriques. Mes recherches ont porté surtout sur le groseiller à grappes dont j'ai examiné les rameaux de l'année, 4 à 10 jours après le traitement à la bouillie bordelaise. Là encore, je n'ai jamais pu constater le cuivre dans des coupes faites sur les régions du rameau n'ayant pas de taches de bouillie cuprique. Dans les parties en possédant, j'ai obtenu quelquefois, après lavage acide de la branche, une légère coloration rose par le traitement au ferrocyanure, mais cette coloration étant toujours localisée à la région corticale de la coupe, ne pouvait provenir, à mon sens, que de la pénétration dans les cellules épidermiques de petites quantités de liquide cuprique de lavage.

---

<sup>1</sup> Berlese et Sostegni, déjà cités. 10.

En résumé, je ne suis pas parvenu à déceler, et cela d'une façon certaine, la présence du cuivre dans les tissus des feuilles et rameaux de végétaux ayant reçu l'application extérieure de bouillie bordelaise, c'est-à-dire de bouillie nettement alcaline.

En présence de ces résultats, il était tout indiqué de continuer les recherches du cuivre, non plus dans quelques cellules, mais dans plusieurs feuilles en ayant recours à l'analyse chimique.

#### RECHERCHE DU CUIVRE DANS LES FEUILLES PAR ANALYSE CHIMIQUE.

J'ai tout d'abord travaillé en utilisant la méthode suivante, indiquée par Rumm :

Dix feuilles de vigne ayant reçu deux traitements à la bouillie bordelaise, ont été cueillies quinze jours après le second sulfatage et lavées soigneusement avec de l'acide chlorhydrique (1 : 3) jusqu'à ce que le liquide acide de lavage ne donne plus la réaction du cuivre. A ce moment, on constate régulièrement qu'une partie de la chlorophylle est attaquée par l'acide, les feuilles devenant plus ou moins brunes. Elles ont été ensuite incinérées, après un lavage à l'eau, jusqu'à disparition de la réaction acide, et les cendres utilisées pour la recherche qualitative du cuivre au moyen des réactifs ordinaires : ammoniacque, ferrocyanure de potassium et par les réactions chimiques<sup>1</sup>.

Aucune de ces méthodes ne m'a permis de déceler même des traces de cuivre dans les cendres examinées.

Plusieurs essais analogues ont été faits avec des feuilles de groseillers à grappes et de groseillers à gros fruits. Les échantillons prélevés étaient toujours de cinq à quinze feuilles, lavées soigneusement une à une, de la façon indiquée plus haut. Les résultats furent toujours négatifs.

---

<sup>1</sup> Klement, *Réactions microchimiques*. 56.

C'est en tenant compte de ces constatations, ainsi que d'une partie des recherches par voie microscopique, que, en 1899, la conclusion suivante a été publiée : « ... Nous avons constaté l'absence totale de cuivre dans la feuille traitée, après élimination sur celle-ci des résidus de traitement par un lavage à l'acide chlorhydrique<sup>2</sup>. »

Depuis lors, les recherches diverses entreprises dans ce domaine m'ont fait prévoir que si les végétaux sulfatés absorbaient une partie des sels de cuivre répandus sur leurs feuilles, cette absorption ne devrait porter que sur de très petites quantités de métal. Dans ces conditions, les résultats de recherches faites sur quinze feuilles au maximum ne semblaient plus offrir une certitude suffisante et demandaient à être confirmés par de nouveaux essais s'étendant sur un matériel plus abondant.

Ces nouvelles analyses ont été faites avec des feuilles de groseillers à grappes et groseillers à épines, avec celles de la vigne et de la pomme de terre. Pour abréger, je ne mentionnerai en détail qu'une série de ces recherches, de façon à indiquer la méthode suivie pour toutes.

Le 14 juillet, un buisson de groseillers à grappes a été copieusement sulfaté à la bouillie bordelaise ; ces arbustes n'avaient subi encore aucun traitement au cuivre, ni dans l'année courante, ni dans les années précédentes. Le lendemain, un échantillon de cent feuilles a été prélevé ; celles-ci ont subi un premier nettoyage à sec, au moyen d'une brosse douce, de façon à enlever la plus grande partie de la bouillie cuprique encore adhérente à leur surface ; puis chacune d'elles a été plongée séparément dans de l'acide chlorhydrique (1 : 3), frottée à la main pour faciliter le nettoyage et placée immédiatement après dans un cylindre perforé, plongeant dans de l'eau courante.

L'immersion dans l'acide n'a jamais dépassé trois à

---

<sup>2</sup> E. Chuard et F. Porchet, déjà cités. 19.

quatre secondes, et le liquide acide était renouvelé en général lorsqu'il avait servi à nettoyer une dizaine de feuilles. Toutes ces précautions étaient prises pour éviter, autant que faire se pouvait, la pénétration dans la feuille du liquide de lavage, plus ou moins chargé de cuivre ; c'est là une cause d'erreur à laquelle on n'a peut-être pas suffisamment pris garde, dans plusieurs travaux. Après ce premier lavage, les feuilles ont été reprises et placées, toujours une à une, dans de l'acide chlorhydrique (1 : 10) où elles ont séjourné jusqu'à ce que l'altération de la chlorophylle commence à se manifester, c'est-à-dire pendant deux à dix minutes, suivant les feuilles. De là, elles ont subi un deuxième lavage, prolongé, à l'eau courante, puis, pour terminer, sont restées pendant une heure dans de l'eau distillée à laquelle elles ne communiquaient plus de réaction acide ; ces feuilles ont été ensuite séchées et analysées.

De nouveaux échantillons, de plus en plus importants, ont été prélevés 2, 3, 5, 8, 17, 21 jours après le sulfatage. Tous ont été lavés comme le premier. En général, j'ai également conservé pour l'analyse le deuxième liquide acide de lavage (HCl, 1 : 10). Une partie du dernier échantillon a subi cependant un traitement spécial. Un lot de trois cent quarante feuilles a été prélevé, vingt-un jours après le sulfatage et traité tout d'abord comme les précédents. Après le second lavage acide, une partie, cent dix feuilles, a été séchée et conservée pour l'analyse, tandis que l'autre, deux cent trente feuilles, était soumise à un troisième lavage acide, très prolongé, de façon à produire une altération profonde de la chlorophylle. Les feuilles, complètement brunes, commençaient à se désagréger lorsqu'elles ont été retirées du liquide acide, pour être placées dans l'eau courante, puis dans l'eau distillée jusqu'à disparition de la réaction acide dans le liquide qu'on en exprimait par pression. Le troisième acide, fortement coloré



en brun, a été conservé pour la recherche du cuivre. Cette dernière a été faite par méthode colorimétrique de la façon suivante : Après incinération des feuilles, les cendres ont été dissoutes dans de l'acide azotique ; après avoir étendu la dissolution, on l'a sursaturée par l'ammoniaque ; après filtration, le liquide a été très fortement concentré, puis repris par quelques gouttes d'acide azotique, sursaturé avec de l'ammoniaque concentré, puis examiné colorimétriquement. Pour reconnaître la coloration bleue de l'oxyde de cuivre ammoniacal, j'ai employé de longs tubes à parois minces, de 75 cm. de longueur avec un diamètre de 7 mm., ce qui représente, par conséquent, une capacité de 29 cm. environ. Une série de tubes ont été remplis avec des solutions ammoniacales contenant de 0,05 mg. à 1 mg. Cu. En concentrant la solution, on peut du reste facilement apprécier colorimétriquement de 0,02 à 0,2 mg. Cu, au moyen de tubes de 20 cm. de longueur et 4 mm. de diamètre. L'échelle colorimétrique ainsi obtenue permettait de déterminer très rapidement, par comparaison des intensités de coloration des colonnes liquides, les quantités de cuivre contenues dans les solutions. En procédant ainsi, on apprécierait, sans aucune difficulté, le 0,05 mg. Cu si on travaillait avec des solutions pures de sel de cuivre ; il n'en est malheureusement pas ainsi pour le liquide en expérience, à cause de la légère coloration jaune, visible sur une grande épaisseur et qu'il est impossible d'éviter ; on n'a pas à comparer du bleu au blanc, mais bien du vert au jaune, ce qui est plus difficile, en sorte qu'on ne peut guère apprécier exactement qu'à partir de 0,1 mg. Cu. Au reste, il est évident que si les résultats obtenus par cette méthode, dans un cas donné, avaient été douteux, j'aurais eu recours à la méthode électrolytique ; cela n'a pas été nécessaire car, ainsi qu'on va le voir, en travaillant sur 10 gr. de feuilles sèches, au minimum, j'ai toujours trouvé plus de 0,25 mg. de Cu, c'est-à-



dire des quantités très facilement dosables par voie colorimétrique.

Voici les résultats obtenus de cette façon avec les feuilles de la série dont nous nous occupons.

Nombre de jours écoulés entre le sulfatage et la prise d'échantil.	Nombre de feuilles	Poids de feuilles sèches en gr.	Cu dans les feuilles		Cu ds les liquides acides		Gr. Cu total pr 100 gr. feuilles sèches
			Gr. Cu trouvé	Gr. Cu pour 100 gr. feuilles sèches	Gr. Cu trouvé	Gr. Cu pour 100 gr. feuilles sèches	
1	96	10.7	0.0005	0.0047	0.0005	0.0047	0.0094
2	100	11.1	0.0005	0.0045	0.0005	0.0045	0.0090
3	88	10.0	0.0005	0.0050	—	—	—
5	190	23.8	0.00025	0.0010	0.0017	0.0071	0.0081
8	160	20.3	0.0010	0.0048	0.0010	0.0049	0.0097
17	280	34.7	0.00012	0.0034	0.0010	0.0029	0.0063
21	110	15.1	0.0007	0.0046	0.0012	0.0079	0.0125
21 bis	230	30.2*	0.0005	0.0016	0.0012	0.0039	0.0055

\* Poids calculé au moyen du lot de 110 feuilles, les feuilles traitées par l'acide ayant perdu beaucoup de substances, solubilisées par Hcl., ne pesaient en réalité que 24.9 gr.

Les résultats donnés sous 21 bis sont ceux du lot de feuilles traitées à fond par l'acide. Comme on le voit, après deux lavages acides, il y avait encore *dans* ou *sur* celles-ci 0,0055 gr. Cu pour 100 gr. de feuilles et le troisième lavage laisse encore 0,0016 gr. Cu % insoluble. Ce dernier fait m'a paru particulièrement important et je l'ai vérifié à plusieurs reprises, en modifiant plus ou moins la méthode de lavage. Voici un deuxième exemple :

125 feuilles de vigne, cueillies dix jours après le traitement à la bouillie bordelaise, ont été placées pendant six heures dans un courant d'eau de façon à enlever le plus possible de la bouillie encore adhérente, tout en facilitant la dissolution subséquente de ce qui ne serait pas entraîné par l'eau. Les feuilles, après avoir subi un premier lavage à l'acide chlorhydrique, furent placées de nouveau dans l'eau courante, puis dans l'eau distillée. Celle-ci ne

donna pas la réaction du cuivre à l'analyse. Puis les feuilles furent traitées une deuxième fois à l'acide jusqu'à brunissement complet (la plupart étaient déjà brunes : les feuilles de vigne s'altérant très rapidement même par simple immersion dans l'eau). Après un lavage prolongé, jusqu'à disparition de réaction acide, les feuilles furent incinérées ; leurs cendres contenaient du cuivre.

Des essais analogues ont été répétés souvent et je n'ai jamais pu obtenir, en travaillant avec un matériel un peu abondant, de cendres de feuilles sulfatées ne donnant pas la réaction du cuivre, alors même que, dans un cas, des feuilles de pommes de terre ont séjourné pendant vingt-quatre heures dans de l'acide chlorhydrique (1 : 3).

De ces recherches il résulte que :

1<sup>o</sup> En opérant comme je l'ai fait, il est impossible d'éliminer les sels de cuivre adhérents à la surface des feuilles sulfatées à la bouillie bordelaise sans en altérer la chlorophylle.

2<sup>o</sup> Même par un lavage acide prolongé on ne réussit pas à obtenir des feuilles ne donnant plus la réaction du cuivre.

Trois interprétations de ces faits me semblent possibles : ou bien le cuivre extérieur est sous une forme suffisamment insoluble pour que la feuille soit désagrégée complètement par l'acide avant que celui-ci ait pu dissoudre les sels de cuivre ; ou bien le cuivre qui résiste aux lavages répétés n'est pas du cuivre extérieur, il a été, au contraire, fixé d'une façon quelconque à l'intérieur des cellules de la feuille et il n'est mis en liberté et solubilisé qu'au fur et à mesure que les tissus se dissocient ; ou bien, enfin, le cuivre extérieur, dissous par l'acide, forme une combinaison insoluble avec une substance organique de la feuille désagrégée. On a signalé, par exemple <sup>1</sup>, le grand pouvoir de fixation que possède, vis-à-vis des sels de cuivre, la cuticule morte qui, à l'état vivant, ne retient pas ces derniers <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Millardet. 74.

<sup>2</sup> Berlese et Sostegni. 10.

Je n'ai obtenu aucun résultat me permettant de me prononcer en faveur de l'une ou l'autre de ces hypothèses. Il suffira de constater que la présence de cuivre dans les cendres de plantes sulfatées ne permet pas de conclure à la pénétration des sels de cuivre dans les végétaux, puisqu'il est impossible de savoir si ce cuivre est extérieur ou intérieur.

L'analyse chimique ne nous donne par conséquent pas la solution du problème posé au début de ce chapitre.

Je n'ignore pas que cette conclusion est opposée à celles de plusieurs auteurs qui, au moyen de l'analyse chimique, sont arrivés à démontrer qu'il y a pénétration des sels de cuivre dans les feuilles. Quelques-uns, malheureusement, ne nous donnent pas le détail des méthodes employées pour éliminer le cuivre extérieur ; d'autres se sont placés dans des conditions toutes spéciales, différant de celles dans lesquelles opère la pratique, par exemple en sulfatant avec des solutions pures de sulfate de cuivre qui, sous cette forme, pénètre naturellement dans la feuille si ce n'est par voie physiologique, tout au moins simplement par osmose, après avoir tué les cellules dans lesquelles il pénètre ; d'autres, enfin, constatant du cuivre dans les feuilles incinérées, le considèrent comme cuivre intérieur alors même que ces feuilles, lavées à l'acide jusqu'à disparition de la réaction du cuivre dans les eaux de lavage, ont de nouveau cédé de petites quantités de ce métal lorsqu'on les plongeait dans l'ammoniaque.

\* \* \*

Ne pouvant éliminer le cuivre sans altérer la chlorophylle, on peut se demander s'il ne serait pas possible de faire l'inverse, c'est-à-dire d'extraire la chlorophylle pour y chercher le cuivre ensuite. En premier lieu, dans le cas où les sels de cuivre pénétreraient dans les feuilles, on n'est pas certain qu'ils se combineraient avec la chloro-

phylle ; de plus, il est très difficile d'éviter que des traces de cuivre ne soient entraînées avec le liquide alcoolique et ne viennent donner naissance à du phyllocyanate de cuivre. Ce sel, en effet, peut se former très facilement, je m'en suis rendu compte par les essais suivants.

Des feuilles diverses ont été placées dans des vases à précipités contenant les uns de l'eau pure, les autres des solutions très diluées de sulfate de cuivre, le tout a été porté à ébullition ou dans d'autres cas simplement chauffé au bain-marie. Dans ces conditions on constate, après un temps variable suivant les espèces végétales, un brunissement ou un noircissement assez rapide des feuilles ; celles qui baignent dans les liquides cupriques reverdissent bientôt pour acquérir une teinte beaucoup plus vive que celle qu'elle possédait au début.

La feuille qui m'a donné les meilleurs résultats, en ce qui concerne la sensibilité, est celle du groseiller à épine, non pas que son pigment réagisse d'une façon spéciale vis-à-vis des sels de cuivre, mais parce que, grâce à leur forte cuticule, ces feuilles peuvent supporter plus longtemps que d'autres l'action de l'eau chaude sans se désagréger, permettant ainsi une action plus prolongée du liquide cuprique. Avec ces feuilles je suis arrivé à déceler nettement la présence du cuivre dans un liquide ne contenant que 0,000057 gr. Cu. Il suffit donc de traces de ce métal pour provoquer la formation du phyllocyanate. Ce dernier sel peut même prendre naissance facilement à froid ainsi que l'expérience suivante le démontre.

25 gr. feuilles de vigne n'ayant reçu aucun traitement ont été extraits par 500 cm<sup>3</sup> alcool auquel j'avais ajouté 0,01 gr. FeSO<sub>4</sub>. Dans un deuxième lot identique le sel de fer était remplacé par 0,01 gr. CuSO<sub>4</sub> ; un troisième lot servait de témoin. A titre de comparaison j'ai étudié, parallèlement l'extrait obtenu avec 25 gr. de feuilles de groseillers à grappes et 500 cm<sup>3</sup> d'alcool. L'examen spectroscopique des liquides, fait à divers intervalles sur une

épaisseur de solution de 10 mm., a donné les résultats suivants :

L'extraction a été commencée le 1<sup>er</sup> septembre.

Les extraits ont été examinés le :

*Longueurs d'ondes en millièmes de millimètres.*

**Vigne témoin.**

Raies d'absorp.	5 septembre	22 septembre	29 septembre	10 octobre	20 décembre	18 février
I	682—644	676—642	678—646	682—648	674—646	676—646
II	611—600	613—598	613—602	621—602	615—602	613—602
III	543—530	541—528	538—531	546—531	543—531	538—531
IV	pas visible	—	—	—	512—510	512—507
V	514	512	489	488	488	486

**Vigne + 0.01 gr. Cu SO<sub>4</sub>.**

I	673—636	676—634	672—640	678—640	674—638	676—636
II	estompée	613—592	613—590	617—598	617—597	617—595
III	estompée	538—531	538—530	541—533	540—536	540—535
IV	pas visible	—	—	—	—	—
V	495	494	494	494	490	491

**Vigne + 0.01 gr. Fe SO<sub>4</sub>.**

I	678—644	676—644	676—650	680—648	676—646	676—646
II	614—598	613—595	613—602	617—602	613—602	613—602
III	543—530	541—528	541—531	546—531	541—531	538—531
IV	pas visible	—	—	—	512 env.	513—511
V	495	494	491	491	488	486

**Groseilles à grappes, témoin.**

I	682—636	676—634	678—640	682—642	—	678—642
II	608—600	617—595	617—600	625—598	—	615—597
III	538—530	541—528	543—528	546—531	—	538—531
IV	—	—	—	—	—	512—488
V	512	514	498	503	—	500



Il ressort de ces chiffres que les sels de cuivre agissent d'une façon très nette sur les extraits chlorophylliens alcooliques, même à froid ; ils peuvent modifier d'une façon très notable les spectres de ceux-ci. On remarque que le sulfate de fer provoque aussi de légères modifications dans la largeur et la disposition des raies et bandes d'absorption ; mais ces écarts s'atténuent peu à peu et lorsque les phénomènes d'oxydation se sont poursuivis pendant assez longtemps le spectre de la solution chlorophyllienne ayant reçu du fer est identique à celui de la solution témoin.

Il est très probable que dans les conditions de ces expériences il y a formation de phyllocyanate de cuivre, car le liquide obtenu présente tous les caractères de ce corps : couleur vert-bleu, disparition presque complète du dichroïsme, stabilité vis-à-vis des acides, spectre d'absorption. Le fer doit être entré aussi en combinaison formant un composé analogue à celui obtenu avec le cuivre. Schunck<sup>1</sup> (pour qui les phyllocyanates sont des combinaisons doubles de phyllocyanine et acide gras avec un métal), a montré que la phyllocyanine donne avec le fer deux séries de combinaisons suivant l'acide en présence. Le premier groupe (acides acétique, palmitique, oléique) donne des composés dont les spectres présentent des raies déplacées vers le violet ; le deuxième groupe (acides citrique, oxalique, malique, etc.), donne des composés dont les spectres sont identiques à celui de la chlorophylle dont ils dérivent. Il en résulte que lors même que les spectres des solutions témoin et traitées au  $\text{FeSO}_4$  sont identiques, cela n'implique pas nécessairement que le fer ne soit pas entré en combinaison.

Quoiqu'il en soit, ce qui précède montre qu'il suffit de très faibles quantités de cuivre pour communiquer aux extraits chlorophylliens des propriétés particulières et je crois qu'il y a là une cause d'erreur à laquelle on n'a pas

---

<sup>1</sup> *Berl. Berich.* 106.



toujours suffisamment pris garde. En effet, plusieurs auteurs, voulant comparer l'intensité de coloration de feuilles sulfatées et non traitées, extraient simplement à l'alcool des quantités égales de limbe ; dans ces conditions, les parcelles de cuivre qui peuvent être encore adhérentes aux feuilles ou celles qui ont été solubilisées par un lavage, peuvent donner naissance à du phyllocyanate de cuivre auquel il faudrait attribuer pour une très large part, si ce n'est complètement, la plus grande intensité de coloration de l'extrait chlorophyllien obtenu avec des feuilles sulfatées.

Par conséquent, soit la recherche du cuivre dans les feuilles, soit l'étude du pigment de ces dernières ne nous donnent pas de renseignements précis sur la pénétration ou la non pénétration des sels de cuivre dans les végétaux sulfatés.

Renonçant à la méthode par analyse chimique, j'ai cherché à résoudre le problème d'une façon indirecte. Il m'a paru que si l'on pouvait démontrer qu'en introduisant certaines quantités de sels de cuivre dans un végétal, on donnait naissance à des phénomènes identiques à ceux qui sont provoqués dans ce même végétal par le sulfatage, on aurait démontré d'une façon absolue que, dans le second cas, ces phénomènes sont bien dus à la pénétration des sels cupriques dans la plante.

---

## 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 Sostegni <sup>1</sup> ainsi que dans un article de C. Muller <sup>2</sup>. 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) <sup>3</sup>. Dans les expériences faites pour introduire artificiellement ce métal dans les plantes, citons celles de Phillips <sup>4</sup> qui constate que le cuivre, ajouté à des solutions nutritives, est un poison violent pour les racines ; celles de Tschirch <sup>5</sup> 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

<sup>1</sup> Déjà cités. 10.

<sup>2</sup> Muller, *Zeit. für Pfl. Krank.*, 1894. 82.

<sup>3</sup> Déjà cité. 108.

<sup>4</sup> *Bot. centralblatt*, 1883. 92.

<sup>5</sup> 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. Haselhoff<sup>1</sup> 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. Sestini<sup>2</sup>, 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 Sostegni<sup>3</sup> admettent la pénétration du cuivre par les racines. Otto<sup>4</sup> 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 radicelles.

Vermorel et Viala<sup>5</sup> 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.

---

<sup>1</sup> *Landw. Jahrbücher*, Bd. XXI, 1892. 49.

<sup>2</sup> Déjà cité. 108.

<sup>3</sup> Déjà cité. 10.

<sup>4</sup> 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 cm<sup>3</sup>, soigneusement enveloppés d'une chemise noire pour empêcher le développement d'algues et de champignons au sein du liquide. Ce dernier (formule de Knopp)<sup>1</sup> 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

---

<sup>1</sup> 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  $\text{Cu So}_4$  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 demeuraient 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 <sup>1</sup>, 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

---

<sup>1</sup> 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 $\text{Cu SO}_4$	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<sup>o</sup> 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 cm<sup>3</sup>, contenant les solutions des sels suivants, dans de l'eau distillée :

Mg	So <sub>4</sub>	0.1 %	Cu	So <sub>4</sub>	0.01 %
Fe	So <sub>4</sub>	0.1 %	Cu	So <sub>4</sub>	0.001 %
Cu	So <sub>4</sub>	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  $\text{So}_4$ , Mg.  $\text{So}_4$ , Cu  $\text{So}_4$  0.001, Cu  $\text{So}_4$  0.01  $\text{o}$ , témoin, Cu  $\text{So}_4$  0.1  $\text{o}/\text{o}$ .

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 $\text{So}_4$	0.07 Cu $\text{So}_4$
0.7 g. Fe $\text{So}_4$	0.007 Cu $\text{So}_4$
0.7 g. Cu $\text{So}_4$	—

Voici, pour une série, le nombre des feuilles constatées pendant la période végétative ( $1/2$  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 $\text{So}_4$ 0.7 g.	0.5	2	9	9	9.5	9.5	9
Fe $\text{So}_4$ 0.7 »	0	7.5	11	11	10	10	8
Cu $\text{So}_4$ 0.7 »	0	3	5	7	7.5	7.5	7
Cu $\text{So}_4$ 0.07 g.	0	3	6	8	9	9	10
Cu $\text{So}_4$ 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 $\text{So}_4$ 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 $\text{So}_4$ 0.7	10 feuilles 6 jaunissent	8 feuilles 4 jaunes	8 feuilles. Toutes sont jaunes	Toutes sont tombées	—
Cu $\text{So}_4$ 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 $\text{So}_4$ 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 $\text{So}_4$ 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 :  $\text{Cu SO}_4$ .  $\text{K}_2 \text{ SO}_4$ .  $\text{Mg SO}_4$ .  $\text{Fe SO}_4$  et  $\text{Cu SO}_4$  et avait observé dans ses essais, demeurés inédits, la persistance du phénomène végétatif et de la couleur verte des feuilles dans les essais avec  $\text{Cu SO}_4$ . 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 $\text{Cu SO}_4$	7 g.	V $\text{Fe SO}_4$	0.7 g.
II $\text{Cu SO}_4$	0.7 g.	VI $\text{Mg SO}_4$	0.7 g.
III $\text{Cu SO}_4$	0.07 g.	VII Eau pure.	
IV $\text{Cu SO}_4$	0.007 g.	VIII $\text{Cd SO}_4$	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 ( $\text{Mg So}_4$ ) 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
$\text{Cu So}_4$ 7 g. = I	7	16
$\text{Cu So}_4$ 0.7 g. = II	21	25
$\text{Cu So}_4$ 0.07 g. = III	33	33
$\text{Cu So}_4$ 0.007 g. = IV	16	21
$\text{Fe So}_4$ 0.7 = V	10	15
$\text{Mg So}_4$ 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,  $\text{Cu So}_4$  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

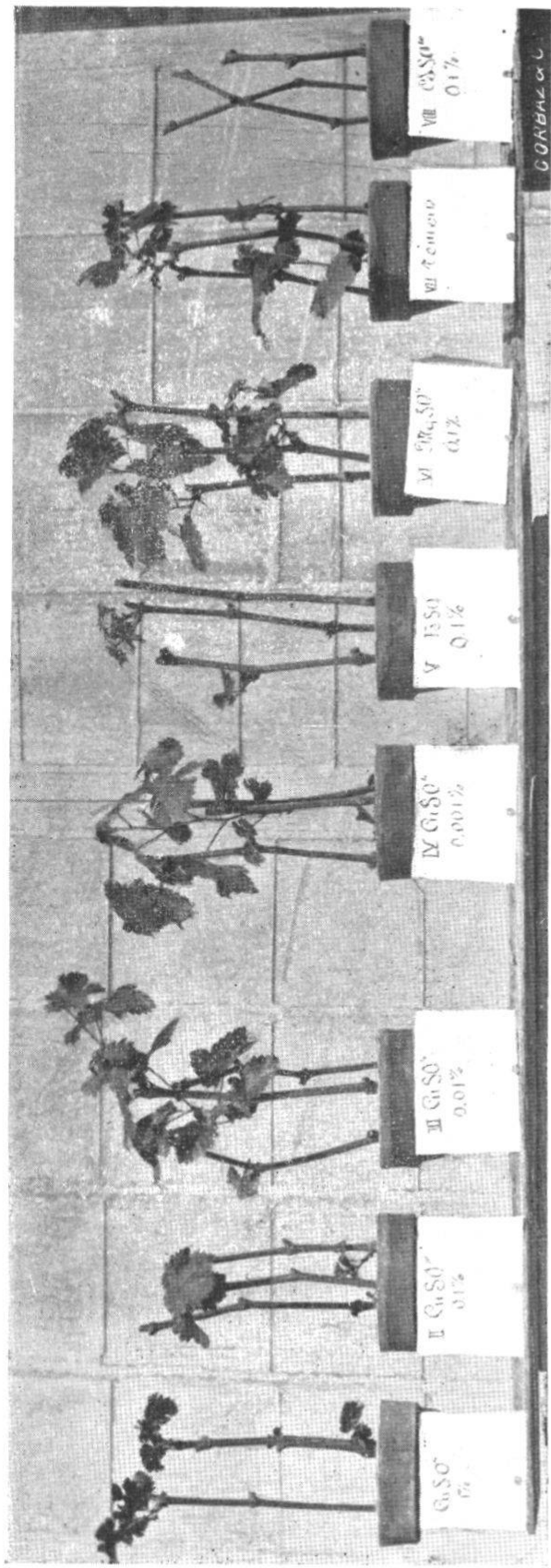


FIG. 1. — Culture de sarments en tourbe. (Photographie prise au moment de la poussée.)

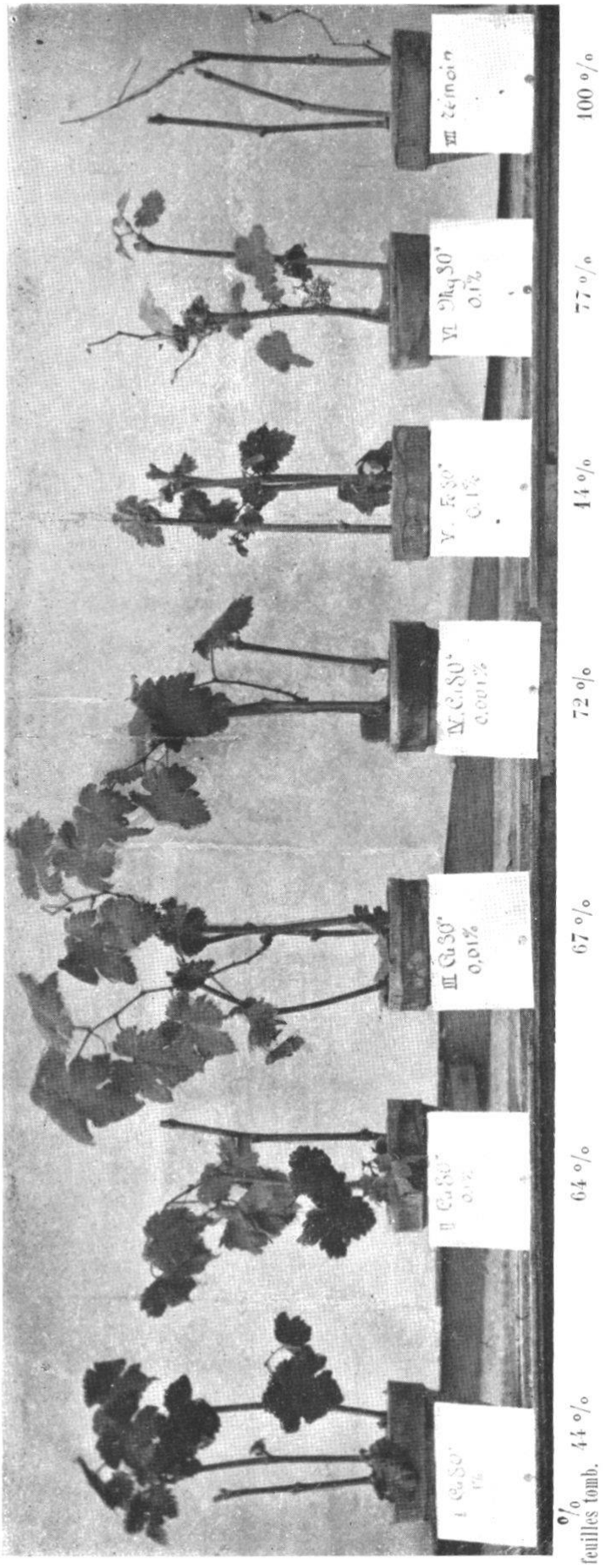


FIG. 2. — Culture de sarments en tourbe. (Photographie prise au moment de la chute des feuilles.)

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 Rudorff<sup>1</sup>) 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 » » »

---

<sup>1</sup> 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 décrit<sup>1</sup> 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

---

<sup>1</sup> 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 <sup>1</sup>, recherchant quelle dose de cuivre on pou-

---

<sup>1</sup> 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. Vermorel<sup>2</sup>, 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

---

<sup>2</sup> *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

dont le pigment, prenant une couleur plus foncée, fait supposer par là qu'il devient plus abondant. Ce fait étant constaté régulièrement, il était naturel de conclure que c'est sur la production du pigment chlorophyllien que les sels de cuivre exercent une action excitante particulière.

Pour les raisons indiquées précédemment, j'ai poursuivi mes recherches surtout sur les groseillers à grappes, groseillers à gros fruits et framboisiers. Or, pendant les quatre années sur lesquelles se sont répartis mes essais, il ne m'a pas été possible de constater que le sulfatage produisît une coloration spéciale du feuillage des arbustes cités, pas plus qu'un retard dans la chute automnale de leurs feuilles. C'est pourtant sur ces végétaux que l'analyse chimique a permis de mettre en lumière une maturation plus hâtive des fruits ainsi qu'une légère augmentation de la proportion de sucre dans ces derniers.

Ce simple fait semblerait indiquer lui aussi <sup>1</sup> qu'il n'y a pas une relation de cause à effet entre les modifications apportées par les sels cupriques sur le feuillage et celles qu'ils provoquent dans la composition chimique des fruits. Il était intéressant d'examiner la sensibilité du pigment de la chlorophylle de quelques plantes, vis-à-vis des sels de cuivre.

J'ai pu constater une augmentation *apparente* <sup>2</sup> de la pigmentation des feuilles après sulfatage à la bouillie bordelaise chez les plantes suivantes :

Vigne (*Vitis vinifera*), pomme de terre (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), chrysanthème (*Chrysanthemum*).

Par contre, aucune coloration spéciale des feuilles sulfatées n'a été observée chez le groseiller à grappes (*Ribes*

---

<sup>1</sup> Voir page 525 de ce mémoire.

<sup>2</sup> J'emploie le terme « apparent » pour ne pas préjuger de la question ; je veux dire par là que les choses se passent comme s'il y avait augmentation de la quantité de chlorophylle.

*rubrum*) (raisins de mars), le groseiller à épines (*Ribes grossularia*), le framboisier (*Rubus Idaeus*), les pois (*Pisum sativum*), haricots (*Phaseolus vulgaris*), fèves (*Vicia faba*), épinards (*Spinacia oleracea*), chicorée (*Cichorium intybus*), iris (*Iris germanica*).

Nous ne sommes donc pas en présence d'une action se manifestant d'une façon générale, mais bien d'une sorte de sensibilité plus ou moins grande de la chlorophylle des diverses plantes vis-à-vis des sels de cuivre.

Quel est donc le siège de l'action excitatrice produite par les sels de cuivre, puisque celle-ci ne semble pas être localisée dans les cellules à fonction chlorophyllienne?

Pour essayer de résoudre cette question, j'ai pensé que le plus simple était d'introduire artificiellement dans les rameaux de petites quantités de cuivre, et de suivre ensuite les modifications qui pourraient se manifester dans l'allure de la végétation.

La première méthode employée fut la suivante :

J'ai pratiqué un certain nombre d'incisions longitudinales sur des rameaux de groseillers à épines; ces branches ont été recourbées en U, de façon à pouvoir immerger la courbure — parties ayant reçu les incisions — dans des solutions de sulfate de cuivre de 0.5 % à 5 %. L'expérience a été faite à fin mars, c'est-à-dire à une époque où la circulation est particulièrement intense dans la plante, aussi les solutions furent-elles très rapidement absorbées. J'introduisis ainsi brusquement des quantités assez élevées de cuivre dans le végétal qui présenta, de suite, tous les symptômes d'une intoxication. Les feuilles qui venaient de s'épanouir brunirent puis séchèrent, les bourgeons cessèrent de se développer. Il est à noter que l'empoisonnement se propagea, dans les branches traitées, très rapidement, et cela dans les deux sens, c'est-à-dire que les effets toxiques du cuivre s'étendirent depuis la région immergée jusqu'au bourgeon terminal des branches et, en même

temps, depuis cette région jusqu'au tronc de l'arbuste. Le courant se répandit même dans les branches n'ayant reçu aucun traitement et produisit, là aussi, la mort des feuilles et des bourgeons. Il en résulta un empoisonnement complet de l'arbuste. Il faut tenir compte de ce que ce dernier était un groseiller greffé sur haute tige ; les points d'attache des branches sur le tronc étaient très voisins, ce qui facilitait l'intoxication générale. Dans ce cas donc, l'introduction des sels de cuivre a provoqué un empoisonnement du végétal.

Pensant que cela provenait du fait que l'absorption du liquide cuprique avait été trop rapide et surtout trop abondante, j'ai supprimé les incisions sur les rameaux dans les essais suivants :

A fin mars, c'est-à-dire au moment où les premiers bourgeons s'entr'ouvraient, les extrémités des rameaux d'un groseiller à épines ont été plongées dans des tubes de 9 cm. de longueur, contenant des solutions de  $\text{Cu SO}_4$  à 0.05 %, 0.5 %, 1 %, 5 %, 10 %, et ont été maintenues immergées pendant vingt-quatre heures consécutives ; les extrémités des rameaux témoins ont séjourné pendant le même temps et dans des conditions semblables dans des tubes contenant de l'eau distillée. Après ce traitement, les tubes ont été enlevés, et j'ai observé le développement des différents rameaux.

Voici un résumé des notes prises au sujet de cette expérience :

*Témoin.* Au sortir de l'eau, les jeunes feuilles sont en parfait état et ne semblent pas avoir souffert de la privation d'air ; quatre jours après, les bourgeons sont normalement développés et sains ; dix jours après le début de l'expérience, on constate que toutes les feuilles des bourgeons se fanent et cela, non seulement dans la région qui avait été immergée, mais sur toute la longueur de la branche. La plupart de ces feuilles tombent et, depuis ce mo-

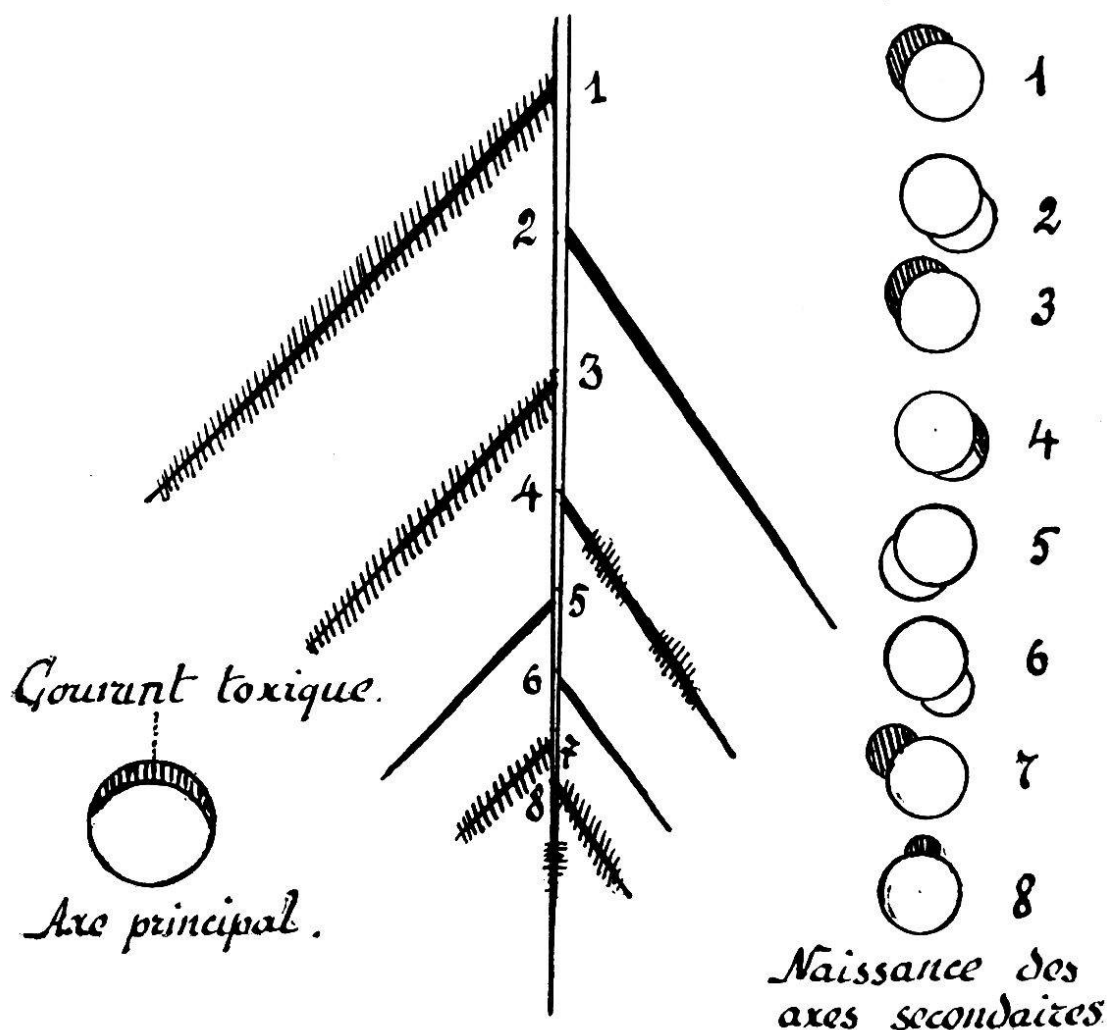
ment, les bourgeons continuent à se développer vigoureusement.

*Cu SO<sub>4</sub> 0.05 %*. Au sortir du liquide, toutes les feuilles déjà développées sont brunes. Onze jours plus tard, il n'y paraît presque plus ; seules les feuilles ayant été en contact avec la solution cuprique ont séché ; tous les bourgeons immergés se sont développés normalement, ainsi que ceux du reste de la branche. Trois semaines après la mise en expérience, le développement du rameau entier est normal et très vigoureux.

*Cu SO<sub>4</sub> 0.5 %*. Au début, ce rameau présente le même aspect que le précédent, mais peu à peu, on constate que les bourgeons qui ont été en contact avec la solution de sulfate de cuivre se développent difficilement ; trois semaines après le traitement, il existe une dépression très nette dans le développement foliaire de la partie immergée, le reste de la branche, par contre, est très vigoureux.

*Cu SO<sub>4</sub> 1 %*. Les feuilles déjà développées ont naturellement bruni au contact de la solution de vitriol. Onze jours après on observe que les bourgeons immergés ont cependant poussé péniblement quelques feuilles vertes. L'action toxique de cuivre n'est pas limitée à la portion de la tige qui a été en contact avec le liquide, car les bourgeons du reste de la branche présentent, par-ci, par-là, des signes d'intoxication. Trois semaines plus tard, quelques feuilles subsistent dans la région terminale, de là la zone d'empoisonnement s'étend sur une longueur de 45 cm. dans la direction du tronc. Cependant, l'action nuisible du cuivre s'est fait sentir lentement, car la plupart des bourgeons non immergés se sont développés et ceux-ci n'ont séché qu'après avoir atteint un certain degré d'accroissement et d'une façon très irrégulière.

Je schématise ci-dessous la disposition des rameaux secondaires sur la branche principale, en couvrant de hachures les parties sèches. A première vue, il semble im-



possible de comprendre une disposition aussi irrégulière. Cependant, si on examine le point de sortie de chaque rameau secondaire de la branche primaire, on entrevoit une explication : les sels de cuivre qui, à l'extrémité de la branche, sont répartis sur toute la section de celle-ci puisqu'ils y pénètrent de toute parts, tendent à se réunir en un seul courant liquide, s'acheminant vers le tronc en suivant une partie parfaitement déterminée de la branche. Tous les rameaux secondaires, dont les faisceaux fibro-vasculaires sont issus de la portion de la branche parcourue par le courant contenant les sels de cuivre, seront intoxiqués à leur tour, les autres ne le seront pas.

J'ai placé en regard du croquis de la branche les coupes schématiques des régions où les rameaux secondaires



prennent naissance en indiquant aussi par des hachures les parties sèches. Au premier coup d'œil, on voit que, dans le cas qui nous occupe, le courant toxique a suivi la partie supérieure de la branche, provoquant la mort de tous les rameaux prenant naissance dans cette partie, épargnant par contre ceux qui s'inséraient à la face inférieure.

Cette localisation du courant toxique est due sans doute à la propriété connue du protoplasma qui fait que celui-ci tend à isoler les éléments toxiques qui entrent en contact avec lui.

*Cu SO<sub>4</sub> 5 %*. Dès le début, on constate une action intoxicante, non seulement dans la partie immergée, mais sur toute la branche; celle-ci ne porte qu'un rameau secondaire qui n'est que partiellement atteint par le courant des sels de cuivre.

*Cu SO<sub>4</sub> 10 %*. Les bourgeons immergés ont été immédiatement tués, on pouvait s'attendre à ce que tout le reste de la branche subît le même sort. Or, il n'en a rien été. L'action toxique du sulfate de cuivre a été strictement limitée à la région immergée, le reste de la branche n'a absolument pas souffert, celle-ci a poussé très normalement et a mené ses fruits à parfaite maturation.

Il est probable que, sous l'influence de l'action astringente du *Cu SO<sub>4</sub>* à une semblable concentration, le protoplasme s'est coagulé et a empêché ainsi la pénétration du sel de cuivre dans le reste de la branche.

En résumé, nous constatons que dans les conditions dans lesquelles ont été faites ces expériences, le sulfate de cuivre à 0.05 % n'exerce pas d'action toxique sur l'organisme avec lequel il est mis en contact. Une solution à 0.5 % provoque une légère dépression sur les organes qui en subissent l'influence. Si la concentration est de 1 à 5 %, on provoque un empoisonnement de toute une partie du

végétal. Le sulfate de cuivre à 10 % exerce une action intoxicante maximum, mais, par contre, limitée.

Ce sont là des faits absolument analogues à ceux que nous avons constaté sur les sarments cultivés en tourbe. Soit les chiffres que nous avons indiqués à ce propos, donnant le nombre des feuilles de chaque lot, soit simplement la photographie de ces sarments montrent très nettement que les bois placés dans la tourbe, arrosée avec la solution la plus concentrée de sulfate de cuivre, croissent difficilement; une solution dix fois plus diluée permet déjà un meilleur développement, bien qu'anormal encore; enfin, avec des solutions cent et mille fois plus diluées, on obtient non plus une action défavorable sur la croissance, mais au contraire une excitation très nette de la puissance végétative. Il y a là donc simplement une question de degré. Le sel qui provoquera une intoxication du végétal lorsqu'il sera appliqué à une concentration donnée, pourra produire sur la même plante un effet absolument contraire, si on l'emploie en solution plus diluée. Il y a donc concordance complète entre les résultats obtenus sur la vigne et sur les groseillers à épines. Il est vrai que sur ces derniers arbustes, je n'ai pas pu mettre en évidence, par introduction des sels de cuivre, une coloration spéciale des feuilles; ceci était en quelque sorte à prévoir, puisque l'application extérieure des composés cupriques ne provoque pas ce phénomène.

Il n'était, par conséquent, pas possible dans ce cas, de démontrer que l'action excitatrice du cuivre se substitue à son action toxique au fur et à mesure que la dilution augmente. Seuls les fruits pouvaient peut-être fournir la preuve d'une maturation plus hâtive. Mais les groseillers à gros fruits ne pouvaient pas être employés dans ce but, car les fruits, gros et relativement peu nombreux sur chaque branche, se développent assez inégalement et ne peuvent par conséquent pas permettre de tirer des conclusions certaines.

L'expérience a donc été répétée sur le groseiller à grappes. Pour éviter si possible les intoxications signalées plus haut, j'ai modifié encore le mode de procéder de façon à arriver à introduire des quantités variables de solutions cupriques, sans devoir pour cela placer les branches dans des conditions aussi anormales que l'immersion. A la base de chaque rameau mis en expérience, j'ai soulevé, au moyen d'un couteau à greffer, une languette d'écorce et d'aubier, d'environ 5 cm. de longueur, restant naturellement attachée à la tige par la partie supérieure. Cette languette plongeait dans un petit tube de 6 cm. de longueur, appliqué contre le rameau et contenant le liquide cuprique. Celui-ci était une solution de sulfate de cuivre à 0.5 %, 0.05 %, 0.005 %. Après l'absorption d'une certaine quantité de liquide, les tubes étaient enlevés, le fragment de rameau remis en place et ligaturé.

Je pensais pouvoir établir approximativement quelle était la quantité optimum de cuivre qu'il fallait introduire dans un rameau de dimensions données pour produire une excitation et non une intoxication. Malheureusement, la chose ne m'a pas été possible, car, dans les séries établies à cette intention à deux reprises, les données ont été complètement faussées par des pluies d'orages qui ont rempli les tubes dont une partie du liquide avait été absorbée et, en outre, ont modifié la concentration de toutes les solutions.

L'expérience a été faite à l'époque de la véraison des petites groseilles. Les conditions de cet essai étaient très différentes d'un rameau à l'autre, puisque la concentration de la solution, la quantité de liquide absorbé, la résistance de la branche elle-même variaient d'un cas à l'autre; les résultats obtenus devaient nécessairement être assez dissimilaires.

Dans quelques cas, il s'est produit une intoxication complète; jusqu'au sommet de la branche les feuilles ont bruni;

le pétiole s'est peu à peu abaissé contre la tige, et pour finir, la feuille s'est détachée. Les fruits de ces rameaux, qui étaient complètement verts au moment de l'expérience, ont développé rapidement du pigment rouge, puis se sont flétris, sans avoir achevé leur maturation.

D'autres rameaux ont subi une intoxication partielle. Quelques feuilles, souvent même des fractions de limbes seulement, ont bruni et séché. Les fruits sont devenus rapidement rouges, mais très irrégulièrement, c'est-à-dire que, dans une grappe, quelques grains seulement se modifiaient et non les autres.

Enfin, dans un certain nombre de branches, aucune intoxication ne s'est manifestée sur les feuilles. Dans les fruits, le pigment est apparu de cinq à un jours plus tôt que dans ceux des rameaux témoins (rameaux ayant aussi subi également une mutilation, la languette plongeait dans de l'eau distillée) qui, eux, se sont développés d'une façon identique aux branches n'ayant reçu aucun traitement. La transparence du grain s'est produite également plus vite dans les rameaux contenant du cuivre.

Il ne s'agissait donc pas simplement d'une production de pigment, mais bien d'une maturation plus rapide des fruits.

Ceux-ci, du reste, ont poursuivi leur accroissement d'une façon normale et ont présenté (du moins en ce qui concerne l'acidité totale qui est la seule détermination que j'aie pu faire) la même composition chimique que ceux qui provenaient de rameaux n'ayant pas reçu de sels de cuivre.

J'ai voulu répéter ces recherches en automne sur la vigne, mais sans succès ; ce végétal, se montrant beaucoup plus sensible que les groseillers, doit être expérimenté dans des conditions spéciales, de façon à éviter l'intoxication que j'ai toujours provoquée dans mes premiers essais.

Dans les groseillers à grappes, comme dans le groseiller

à maquereau, le cuivre agit à haute dose comme intoxicant, à plus faible dose comme excitant ; cette dernière se manifestant par la maturation plus rapide des fruits des rameaux ayant reçu le sel cuprique.

Cette conception qui, dans le cas qui nous occupe, peut paraître quelque peu surprenante, est admise depuis longtemps pour toute une série de corps. Bien que comparaison ne soit pas raison, en science moins peut-être que partout ailleurs, je citerai cependant quelques cas de substances, classées incontestablement parmi les poisons et qui, cependant, prises à faible dose, peuvent exciter telle ou telle fonction de l'organisme qui les a absorbées. L'emploi de l'arsenic en thérapeutique est connu depuis longtemps. Le bichlorure de mercure, qui possède la toxicité que l'on sait, non seulement perd celle-ci lorsqu'il est administré à dose minime, mais au contraire, il provoque une augmentation de la quantité de globules rouges dans le sang. Le même fait se présente pour les poisons d'origine végétale : la morphine, par exemple, devient un excitant dans certaines conditions. On tend à admettre également que les amers doivent leurs propriétés toniques aux principes alcaloïdiques qu'ils renferment.

L'organisme végétal réagit comme l'organisme animal. Mazé<sup>1</sup> a montré par exemple, que de petites quantités d'iode, de lithium, agissent comme excitants sur les plantes, alors que la présence de ces corps, en plus grande quantité, entrave le développement du végétal.

Cette excitabilité, ayant nécessairement son siège dans le protoplasma, doit pouvoir se manifester, soit dans la cellule isolée, soit dans une colonie de cellules (c'est-à-dire un tissu), soit enfin dans un ensemble de tissus (organisme supérieur, animal ou végétal). Je viens de donner des exemples de ces derniers cas.

---

<sup>1</sup> *Annales de l'Institut Pasteur*, 1901. 69.



En ce qui concerne l'excitabilité des tissus, je citerai les recherches de Wedensky <sup>1</sup> sur les excitants et les poisons des nerfs. L'auteur montre que presque toutes les substances qui produisent la narcose puis la mort du nerf provoquent tout d'abord chez celui-ci une excitation. Les sels de baryum, de nickel, de zinc, etc., les sulfates de fer et de cuivre engendrent régulièrement les trois états successifs chez le nerf.

On connaît les belles recherches de Raulin <sup>2</sup> sur l'influence du sulfate de Zn. sur le développement de l'*Aspergillus niger*. L'auteur considérait alors le Zn. comme un *aliment* particulièrement nécessaire à l'*Aspergillus*. Depuis, Richards <sup>3</sup> a repris ces recherches en remplaçant le Zn. par le fer, le nickel, le cobalt, puis par la cocaïne, l'amygdaline, l'antipyrine. Dans chaque cas, il obtient l'indication d'une quantité optimum qui provoque un développement maximum du champignon. Si on diminue la quantité de ces différentes substances, l'*Aspergillus* croît moins bien, si on l'augmente, au contraire, le développement du champignon s'opère de moins en moins facilement, au fur et à mesure que les doses augmentent, jusqu'à ce qu'enfin les substances prennent nettement le caractère d'un poison. Il ressort de ceci que, là encore, toute une série de corps, que leur diversité même ne permet plus de considérer comme des aliments, sont tantôt excitants, tantôt intoxicants.

Comme preuve de l'existence de faits analogues dans l'être unicellulaire, je cite en terminant les recherches de H. Schulz qui démontrent que de petites quantités de bichlorure de mercure, d'iode, de brome excitent les levures alcooliques et facilitent, par conséquent, la fermentation.

---

<sup>1</sup> *Comptes-Rendus Acad. Paris*, oct. 1902. **134.**

<sup>2</sup> *Annales des Sc. Nat. Botanique*, série V, tome XI. **98.**

<sup>3</sup> *Jahrbuch f. wissensch. Botanick*, 1897. **97.**



On le voit, le principe lui-même est solidement établi et les recherches, dont j'ai présenté plus haut les résultats, montrent clairement qu'il est applicable aux sels de cuivre. On a déjà, du reste, quelques données sur l'action de sels cupriques vis-à-vis des organismes végétaux inférieurs.

Quelques recherches ont été entreprises pour étudier l'action que pourrait avoir sur la fermentation, les sels de cuivre introduits dans les moûts par les raisins sulfatés. Hoffmann et Krüger <sup>1</sup> montrent que de petites quantités de cuivre excitent les levures et par conséquent favorisent la fermentation. Ce dernier auteur cite comme dose maximum, pour une action excitatrice, 0.0071 gr. ‰ Cu.

Pichi <sup>2</sup> admet qu'à partir de 0.015 gr. ‰ Cu l'action devient défavorable, depuis 0.03 gr. ‰ l'action toxique du métal sur les levures se manifeste très nettement. On est donc là en présence d'un cas analogue à ceux cités pour d'autres métaux.

J'ai cherché à me rendre compte si cette action excitante pouvait être mise en évidence dans des rameaux détachés de la plante. Dans ce but, des tiges de plantes diverses ont été coupées et abandonnées pendant un certain temps à l'atmosphère sèche du laboratoire. A ce moment les feuilles étaient complètement fanées et les tiges flasques ne pouvaient plus se maintenir verticales. Les extrémités inférieures des différents rameaux ont été placées alors dans des solutions Cu SO<sub>4</sub> à 0.5 ‰ et 0.05 ‰; Fe SO<sub>4</sub> à 0.5 ‰ et 0.05 ‰ et dans de l'eau distillée. Deux à six heures après, suivant les espèces en expériences, on voit les tiges reprendre peu à peu leur apparence primitive et se relever.

A égalité de concentration, c'est toujours le sulfate de cuivre qui provoque l'action la plus rapide, puis vient le

---

<sup>1</sup> *Centr. Blatt für Brack*, Ab. II, Bd. IV. 51.

<sup>2</sup> *Nuov. Rev. di vit. et œnol.* 1891. 93.

sulfate de fer ; enfin, la tige plongeant dans l'eau est toujours celle qui se relève le plus lentement.

Il est intéressant de noter que dans ces expériences c'est le liquide qui produit l'action la plus énergique qui provoque aussi l'intoxication la plus rapide. A égalité de concentration, ce sont les rameaux plongeant dans  $\text{Cu SO}_4$  qui se flétriront les premiers, puis ce sera le tour de ceux qui sont dans le  $\text{Fe SO}_4$ , enfin, si les rameaux séjournant dans l'eau exigent plus de temps pour reprendre leur turgescence première, ils la conservent par contre plus longtemps que les autres.

Il est évident que je ne prétends pas avoir là une représentation de ce qui se passe dans un végétal sulfaté. Si j'ai cru devoir résumer en quelques mots ces premières expériences <sup>1</sup>, c'est qu'elles montrent que le cuivre agit sur ces tiges d'une façon absolument analogue au fer, mais plus énergiquement ; et en second lieu que cette excitation, tout artificielle il est vrai, mais s'exerçant néanmoins sur des cellules encore vivantes, est en relation intime avec la toxicité des sels métalliques employés.

Je pense que le cuivre qui pénètre dans l'organisme végétal après le sulfatage, exerce, à l'instar des substances diverses qui ont été énumérées d'autre part, une action excitatrice sur le protoplasma même, par conséquent sur *toutes* les cellules vivantes de la plante ; il en résulte naturellement une accélération de tous les phénomènes vitaux, croissance plus rapide, maturation plus hâtive, assimilation plus intense, et, par conséquent, élaboration d'une plus grande quantité de sucre et d'amidon. Si l'on introduit de plus fortes quantités de cuivre, cette excitation fait place à une intoxication.

Telle était la conclusion à laquelle j'étais arrivé à la

---

<sup>1</sup> Ces recherches devront être complétées de façon à établir l'importance des différents facteurs qui entrent en jeu : espèce végétale, âge du rameau ou des feuilles en expérience, concentration et nature de la solution cuprique, etc.

suite de mes recherches, lorsqu'il m'est parvenu un important travail de la station agronomique de l'Université de Tennessee dans lequel M. Bain <sup>1</sup> écrit entre autres : « Il n'y a entre l'action stimulante et l'action toxique du cuivre sur les feuilles qu'une question de degrés. » On le voit, nos conclusions sont identiques.

Ce n'est pas ici le lieu de donner une analyse de cette volumineuse publication ; je dirai simplement que l'auteur, qui est un botaniste, a employé des méthodes absolument différentes de celles que j'ai utilisées. Il démontre la pénétration des sels de cuivre dans la feuille en faisant passer des liquides sous pression au travers de sa cuticule et c'est, d'une part, en étudiant la régénérescence des tissus de feuilles plus ou moins lésées par la présence de sels de Cu à leur surface, et, d'autre part, en évaluant colorimétriquement la quantité d'amidon se trouvant dans des feuilles sulfatées et dans celles qui ne le sont pas, que M. Bain met en lumière ce qu'on peut appeler l'action *toxico-excitatrice* du cuivre. L'auteur a travaillé surtout sur le pêcher, le pommier et la vigne. Le fait que deux travaux, poursuivis indépendamment l'un de l'autre et dans des conditions et par des méthodes tout à fait différentes, arrivent absolument aux mêmes conclusions, donne, me semble-t-il, plus de valeur à ces dernières puisqu'elles sont déduites d'un nombre plus considérable d'observations.

La propriété excitante et intoxicante des sels de cuivre vis-à-vis des végétaux est ainsi doublement démontrée.

Est-ce là une propriété spécifique de ce dernier métal ? Je ne le pense pas. On a vu que le zinc, le nickel, le cobalt provoquent sur les microorganismes des phénomènes analogues à ceux produits par le cuivre sur la vigne ; ce dernier métal joue, vis-à-vis des levures, le même rôle que le mercure. Je viens de démontrer d'autre part que, dans

---

<sup>1</sup> Déjà cité. 5.

certaines occasions, le fer et le cuivre agissent de façon identique sur les tiges ; en outre, les sulfates de ces deux métaux possèdent également à haute dose une action nuisible sur la germination des graines qui ont été immergées pendant longtemps dans leurs solutions (pages 516 et suivantes). (Il semble tout d'abord que la comparaison n'est pas possible, le fer étant un métal indispensable dans les phénomènes d'élaboration de la chlorophylle ; mais indépendamment de ce fait, il doit, dans nombre de cas, jouer le rôle d'excitant, au même titre que le cuivre. Ainsi on recommande, par exemple, en arboriculture, de badigeonner avec une solution de  $\text{Fe SO}_4$  la partie non développée de fruits difformes ; les cellules, excitées par le sel métallique, se multiplient plus rapidement, et le fruit peut reprendre souvent une forme symétrique.)

Enfin, MM. Ravaz et Bonnet<sup>1</sup> ayant essayé l'emploi des sels de cadmium dans la lutte contre le mildiou résument comme suit leurs observations :

« Dans nos essais à l'Ecole d'agriculture de Montpellier, le cadmium et le cuivre ont eu la même action sur le mildiou et sur la *végétation*. »

La propriété d'excitant ne semble donc pas être l'apanage du cuivre, puisque d'autres métaux la manifestent également. Le cuivre la possède peut-être à un degré tout particulier, grâce au fait qu'il est très toxique pour l'organisme végétal ; il semble ressortir en effet des cas jusqu'ici connus que, plus une substance est toxique à doses un peu fortes, plus ses propriétés excitantes seront énergiques, lorsque la quantité incorporée est très faible.

Résumant ce qui vient d'être dit dans ce paragraphe, je formulerai les conclusions suivantes :

Les petites quantités de cuivre, introduites dans les végétaux par le sulfatage, provoquent une excitation de l'ac-

---

<sup>1</sup> Déjà cités. 96.

tivité de l'*ensemble* des cellules de la plante. Cette excitation se traduit par une poussée plus vigoureuse, une maturation plus hâtive des fruits.

Cette excitation est un stade de l'intoxication.

D'autres métaux, le fer, le cadmium, par exemple, possèdent la même propriété.

L'intensité et la persistance de la coloration du feuillage des plantes sulfatées n'est pas une conséquence de cette excitation, puisque ces phénomènes ne se produisent que sur un nombre limité d'espèces végétales.

Je n'entends pas dire par là que les cellules chlorophylliennes ne participent pas également à l'excitation générale ; je pense, au contraire, que les phénomènes d'assimilation, comme tous les autres phénomènes vitaux de la plante, deviennent plus intenses sous l'action des sels de cuivre — l'augmentation de la quantité de sucre et d'amidon en est une preuve — mais je crois que cette excitation de la fonction chlorophyllienne ne se traduit pas par une augmentation de l'intensité de coloration des feuilles sulfatées. Ce dernier fait, très spécial, comme on l'a vu, est absolument indépendant du premier qui, lui, est très général ; il doit donc être considéré comme un cas particulier dont je poursuis actuellement l'étude.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

I. Par les traitement cupriques on introduit dans les végétaux de très petites quantités de cuivre.

II. Ce métal produit une excitation qui est un degré d'intoxication.

III. Il n'y a pas de relation de cause à effet entre la verdeur plus intense des plantes sulfatées et les modifications de la composition chimique des fruits.

---



## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1. ADERHOLD. — *Ueber die Wirkungsweise der sogenannten Bordeauxbrühe*. Centralblatt für Bacteriol. Abt. II. Bd. 5. 1899.
2. ALESSANDRI. — *Action des remèdes contre le Peronospora*. Italia agricola. 1889.
3. ASTRUC. — *Acidité des plantes*. Comptes-rendus. Acad. des Sc. de Paris. Septembre 1901.
4. — *Recherches sur l'acidité végétale*. Dissertation. Faculté des sciences. Paris. 1903.
5. BAIN. — *The action of copper on leaves*. Bulletin of the Agricultural experiment station of the University of Tennessee. Avril 1902.
6. BARTH. — *Neue Beobachtungen über Blattfahlekrankheit*. Bot. Centralblatt. 1895.
7. BAUMANN. — *Action des sels de zinc sur le sol*. Landw. Versuchstationen, Bd. XXI.
8. BEACH. — *Les composés cupriques retardent-ils la végétation?* Rural New-York. 1892.
9. BELZUNG. — *Anatomie et physiologie végétales*. Paris. 1900.
10. BERLESE et SOSTEGNI. — *Recherches sur l'action des sels de cuivre sur la végétation de la vigne et sur la fertilité du sol*. Revue internat. de viticulture et d'œnologie (V. Vermorel). Tome I. 1894.
11. BOKORNY. — *Eine bemerkenswerthe Wirkung oxydirter Eisenvitriollösungen auf lebende Pflanzenzellen*. Berichte d. deuts. bot. Gesell. 1889.
12. BRINGUIER. — *Etude sur la pénétration du cuivre dans les feuilles de la vigne*. Messenger agricole du Midi. 1897.
13. BRUNNER et CHUARD. — *Phytochemische Studien*. Berl. chem. Berich. XVIII. 1885.
14. — *Sur la présence de l'acide glyoxylique dans les végétaux*. Bull. Soc. vaud. sc. nat. XXII, 1886, et XXIII, 1887.
15. CHUARD. — *Le traitement des vignes par les remèdes cupriques exerce-t-il une influence sur la qualité du vin?* Chronique agricole du canton de Vaud. 1899. N° 8.
16. — *Influence des composés cupriques sur la qualité du vin*. Chronique agricole. 1900. N° 18.
17. — *Le raisin de table et le sulfatage*. Chronique agricole. 1900. N° 19.



18. CHUARD. — *Raisin de table et sulfatage*. Chronique agricole. 1901. N° 18.
19. CHUARD et PORCHET. — *Influence des composés cupriques sur les phénomènes de maturation*. Bull. Soc. vaud. sc. nat. XXXVI, N° 135.
20. COCKERELL. — *Merkwürdige Wirkung der Arsensalze auf das Pflanzenleben*. Zeitschrift für Pflanz. Krank. 1898.
21. COUPIN. — *Toxicité des sels de cuivre*. Comptes rendus. Paris. 1898.
22. — *Sensibilité de la vigne vis-à-vis des agents toxiques*. Comptes rendus. Paris. 1901.
23. CUBONI. — *Effets du cuivre dans la lutte contre le Peronospora*. Revista viticultora e œnolog. 1885.
24. DÉHÉRAIN. — *Germination dans l'eau distillée*. Comptes rendus. Paris 1901. N° 9.
25. DEVAUX. — *Absorption des poisons métalliques dilués par les cellules végétales*. Comptes rendus. 1901. N° 11.
26. DROPP. — *Ueber rationelle Behandlung der Weinstöcke mit Kupferkalk*. Zeit. f. Pflanzkrank. 1900.
27. DUFOUR, J. — *Notes sur l'action du sulfate de cuivre sur la germination de quelques champignons*. Landw. Jahrbuch der Schweiz. III. 1889.
28. — *Maladie de la pomme de terre et sulfatage*. Chronique agricole. 1890.
29. — *Notiz über eine neue Art der Anwendung von Eisenvitriol bei gelbsüchtigen Pflanzen*. Zeit. für Pflanzenkrank. 1891. I.
30. DUFOUR et CHUARD. — *Influence des sulfatages de la vigne sur la qualité du vin*. Bull. Soc. vaud. Sc. Nat. 1889.
31. EHRENSPERGER. — *Sulfatage de la pomme de terre*. Bad. Wochenblatt der Landw. 1890.
32. EVANS. — *Copper sulphat and germination*. U. S. Dep. agr. Dir. veget. physiol. pathol. Bulletin n° 10. 1896.
33. FRANK et KRÜGER. — *Ueber den directen Einfluss des Kupfer-, Kalk-Brühe auf die Kartoffelpflanze*. Arbeiten der deut. Landw. Gesell. 1894. Heft 2.
34. FRANK. — *Die Krankheiten der Pflanzen*.
35. FREIHERR et TUBEUF. — *Biolog. Abth. für Landw. und Forstw.* 1901.
36. FREITAG. — *Die schädlichen Bestandtheile des Hüttenrauchs der Kupfer-, Blei-, Zinckhütten und ihre Beseitigung*. Landw. Jahrbuch. Bd. XI. 1882.
37. FRIEDEL, J. — *Assimilation chlorophyllienne en dehors de l'organisme*. Comptes rendus. Mai 1901.

38. GALLOWAY. — *Die Erfolge der im Jahre 1899 in Amerika durchgeführten praktischen Versuche zur Bekämpfung von Krankheiten in Culturgewächsen*. Ref. Zeit. für Pflanz. Krank. Bd. I.
39. GAYON. — *Les vins « cassés » et les traitements cupriques*. Revue de viticult. 1894, t. I.
40. — *Les vins mildiousés*.
41. GIRARD. — *Traitement de la pomme de terre par les sels de cuivre*. Annales agr. XVI.
42. — *Adhérence des bouillies cupriques sur les feuilles*. Comptes rendus. 1892.
43. GRIFFON. — *Sur le pigment des plantes*. Ann. des Sc. nat. Botanique (8). Tome X.
44. — *Relation entre l'intensité de la coloration verte des feuilles et l'assimilation chlorophyllienne*. Compt. rendus. Janvier 1899.
45. GUILLEMARE. — *Action des agents chimiques sur les pigments chlorophylliens*. Comptes rendus, 115.
46. — *Acide phyllocyanique et les phyllocyanates*. Comptes rendus, 126 (1898).
47. GUILLON. — *Adhérence des bouillies cupriques sur les feuilles*. Comptes rendus. 1898.
48. GUTZEIT. — *Lutte contre la maladie de la pomme de terre au moyen du sulfate de cuivre*. Zeit. f. Pflanz. Krank. Bd. 11. 1901.
49. HASELHOF. — *Ueber die schädigende Wirkung von Kupfersulfat- und Kupfernitriäthaltigem Wasser auf Boden und Pflanzen*. Land. Jahrbücher. B. XXI. 1892.
50. — *Vesuch über den Ersatz des Kalkes durch Strontium bei den Pflanzen*. Landw. Jahrbücher. 1892.
51. HOFFMANN. — *Für Beitrag zur Translokation des Kupfers beim Keltern gekupfter Trauben*. Centralblatt für Bacteriol. Ab. II. Bd. IV.
52. HOLLRUNG. — *Handbuch der chem. Mittel gegen Pflanz. Krank.* Berlin. 1898.
53. JOIST. — *Le sulfate de cuivre dans la lutte contre les parasites végétaux*. Deutsche Landw. Presse. 1892.
54. JUMELLE. — *Recherches sur l'assimilation chlorophyllienne et la transpiration*. Revue gén. de bot. T. III.
55. KAYSER. — *Les levures*. Paris. Gauthier-Villars.
56. KLEMENT et RENARD. — *Réactions microchimiques*. Bruxelles. 1886.
57. KLENIG et WÜTHRICH. — *Lutte contre la maladie de la pomme de terre*. Zeit. f. Pflanz. Krank. Bd. I.

58. KNOPP. — *Absorption par les plantes de substances qui ne sont pas des aliments*. Bot. Centralblatt, XXII.
59. KRÜGER. — *Ueber den Einfluss von Kupfervitriol auf die Vergärung von Traubenmost durch Saccharomyces ellip.* Vers. Gesenheim, Ref. Zeit. f. Pflanz. Krank. 1894.
60. LAFITTE. — *Intoxication de la sève de la vigne*. Journal d'agr. pratique. 1883. T. II.
61. LAURENT. — *Recherches expérimentales sur les maladies des plantes*. Ann. de l'Inst. Pasteur. 1898-1899.
62. LEYDHECKER. — *Die Bekämpfung der Kartoffelkrank. durch die Verwendung von Kupfervitriol*. Zeit. f. Pflanz. Krank. 1894.
63. LIEBSCHER. — *Ungenügende und ungünstige Wirkung von Kupferpräparaten zur Behandlung der Kartoffelkrankheit*. Journal für die Landw. 1892.
64. LÖEW. — *Giftwirkung des destillirten Wassers*. Land. Jahrb. XX (1891).
65. MACDOUGAL. — *Le cuivre dans les plantes*. Revue scientif. 1899.
66. MANGIN. — *La végétation de la vigne et les pulvérisations aux sels de cuivre*. Revue des Sciences. 1894.
67. — *Action du sulfate de cuivre sur la vigne*. Revue de viticulture. 1894. II.
68. MAYER. — *Action du sulfate de fer sur les céréales*. Journal für die Landw. Bd. 40.
69. MAZÉ. — *Etudes sur la germination*. Annales de l'Inst. Pasteur. 1901.
70. MIANI. — *Einwirkung von Kupfer auf das Wachstum lebender Pflanzenzellen*. Ber. de d. bot. Gesell. 1901.
71. MILLARDET. — *Essais sur le mildiou*. 1882.
72. — *Instructions sur le traitement du mildiou*. 1890.
73. — *Traitement du mildiou*. 1886.
74. — *Recherche du cuivre dans les ceps sulfatés*. Comptes rendus. 1885.
75. — *Action des sels cuivreux sur la feuille*. Comptes rendus. 1887.
76. MILLARDET et GAYON. — *Réserve de cuivre dans les diverses sortes de bouillie*. Revue de viticult. 1894. T. II.
77. — *Recherches sur le traitement du mildiou*. 1887.
78. MOHR. — *Neue Studien über die Bordeauxbrühe*. Zeit. f. Pflanz. Krank. Bd. IX. 1899 (p. 317).
79. — *Ueber der Kupferkalkbrühe als Cryptogamicid*. Zeit. für Pflanzenkrank. Bd. IX. 1899 (p. 346).

80. DU MOULIN. — *Toxicité des sels de cuivre*. Acad. roy. de médecine de Belgique. Novembre 1885.
81. MULLER. — *Action des sels de cuivre sur les arbres fruitiers*. Zeit. f. Pflanz. Krank. Bd. 11 (1901).
82. — *Zur Geschichte der Physiologie und der Kupferfrage*. Zeit. f. Pflanz. Krank. 1894.
83. NÆGELI. — *Phénomènes oligodynamiques*. Denkschr. der Schw. Naturf. Gesell. 1893.
84. NOBBE. — *Absorption des sels métalliques par le sol*. Landw. Versuchstat. Bd. XV.
85. OTTO. — *Einfluss von kupferhaltigen Lösungen auf die Wurzeln*. Zeit. f. Pflanz. Krank. III.
86. — *Ueber den Einfluss vom Strychninsalzlösungen auf die Entwicklung von Pflanzen in verschiedenen Bodenarten*. Zeit. f. Pflanz. Krank. 1894.
87. OVERTON. — *Propriétés osmotiques de la cellule*. Viertelsjahr Nat. Gesell. Zürich Jahrg. 1899.
88. PACOTTET. — *Action du cuivre sur la fermentation*. Revue de viticult. Avril 1901.
89. PEGLION. — *I trattamenti antiperonosporici e la qualita dei vini*.
90. PETIT. — *Influence du sulfatage sur la maturité et la pourriture*. Vigne américaine. 1891.
91. PFEFFER. — *Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemischen Reiz*. Ber. der d. bot. Gesell. 1883.
92. PHILLIPS. — *Absorption des oxydes métalliques par les plantes*. Bot. Centr. Blatt. 1883.
93. PICHI. — *Action des sels de cuivre sur la végétation*. Nuov. Riv. di vitic. et œnolog. 1891.
94. PORTES et RUYSSSEN. — *Traité sur la vigne*. Paris. 1886.
95. PRILLEUX. — *Rapport sur le mildiou*. 1882.
96. RAVAZ et BONNET. — *Expériences sur le traitement du mildiou*. Progrès agricole et viticole. 1902.
97. RICHARDS. — *Die Beeinflussung des Wachstums einiger Pilze durch chemische Reize*. Jahrbuch der Wissensch. Botanik. Bd. 30. 1897.
98. RAULIN. — *Etudes chimiques sur la végétation*. Ann. Sc. nat. Bot. Série V. Tome XI.
99. ROMMIER. — *Action du cuivre sur les levures*. Comptes rendus. Mars 1900.
100. RUMM. — *Ueber die Wirkung der Kupferpräparate bei Bekämpfung der sogenannten Blattfahlkrankheit der Weinrebe*. Ber. der d. bot. Gesell. Bd. XI. 1893 (page 79).

101. RUMM. — *Zur Frage nach der Wirkung der Kupferkalksalze bei Bekämpfung der Peronospora viticola*. Ber. der deuts. bot. Gesell. Bd. XI. 1893 (p. 445).
102. RUMM. — *Giftwirkung der Bordeauxbrühe auf Spyrogira und Puccinia*. Stuttgart. 1895.
103. SCHACHINGER. — *Influence des traitements à la bouillie bordelaise sur la vigne*. Ost. Landw. Wochenblatt. 1893.
104. SCHER. — *Sur les phénomènes d'oxydation provoqués par les sels de cuivre*. Compte rendu de la Soc. Helv. Sc. Nat. Zo-fingue. 1901.
105. SCHIMPER. — *Zur Frage der Assimilation von Metallsalzen durch die grünen Pflanzen*. Flora. Bd. 73. 1890.
106. SCHUNCK. — *Chimie de la chlorophylle*. Berl. chem. Berichte. 1885, 1887, 1889, 1894.
107. SCHUNCK et MARSCHLENSKI. — *Chimie de la chlorophylle*. Berl. chem. Berichte. 1895, 1896.
108. SESTINI. — *Staz. sperim. agr. ital.* 1892.
109. DE SEYNES. — *Cultures de Penicillium cupricum*. Bull. Soc. Bot. de France. XLII. 1895.
110. SORAUER. — *Einige Beobachtungen bei der Anwendung von Kupfermitteln gegen die Kartoffelkrankheit*. Zeit. f. Pflanz. Krank. III.
111. STEGLICH. — *Action nuisible des sels de cuivre*. Nachrichten aus dem Kluk der Landw. Berlin. 1893.
112. — *Lutte contre la maladie de la pomme de terre*. Sächsische landw. Zeitung. 1892.
113. STREBEL. — *Action du vitriol sur la pomme de terre*. Zeit. für Pflanz. Krank. III.
114. — *Action des sels de cuivre sur le sol*. Wurtemb. Wochenblatt für Landw. 1893.
115. SWINGLE. — *Bordeauxmixture*. Bull. U. S. Dep. agricul. Division of veget. phys. and path. 1896.
116. THIELE. — *Eine ungünstige Wirkung der Bordeauxbrühe*. Zeit. für Pflanz. Krank. IX. 1899.
117. — *Einwirkung von Kupfersalzen auf Kartoffelpflanzen*. Zeit. für Pflanz. Krank. VIII. 1898.
118. THIENPONT. — *Traitement de la pomme de terre au vitriol*. Bruxelles. 1891.
119. TSCHIRCH. — *Recherches sur les pigments végétaux*. Ber. der d. bot. Gesell. 1896.
120. — *Untersuchungen über das Chlorophyll*. Berlin. 1884. Parey.
121. — *Sur l'acide phyllocyanique*. Ber. der d. bot. Gesell. 1887.

- 
122. TSCHIRCH. — *Chimie de la chlorophylle*. Berl. Ber. 1896.  
123. — *Das Kupfer vom Standpunkt der gerichtlichen Chemie*. Stuttgart.  
124. — *Coloration des substances alimentaires*. Schw. Wochenschrift für Pharm. 1891.  
125. VEDRÖDI. — *Das Kupfer als Bestandtheil der Sandböden und unserer Kulturgewächse*. Chem. Zeitung. XVII.  
126. VERMOREL. — *Action des sels de cuivre employés pour arrosage*. Revue de la Station viticole de Villefranche. 1890.  
127. VIALA. — *Etude sur le Peronospora*. Vigne américaine. 1883.  
128. — *De l'action de certaines substances toxiques sur la vigne*. Revue de viticulture. 1894.  
129. — *Les maladies de la vigne*.  
130. — *Le traitement du mildiou au début de la végétation*. Revue de viticulture. 1901.  
131. VIGNON. — *Emploi des sels de mercure en viticulture*. Comptes rendus. 1899.  
132. VILLE. — *Analyse de la terre par les plantes*. Revue scient. I. 1890.  
133. — *La sensibilité des plantes considérée comme simple réactif*. Revue scient. II. 1889.  
134. WEDENSKY. — *Les excitants et les poisons du nerf*. Comptes rendus. Octobre 1902.  
135. WOLLNY. — *La décomposition de la matière organique et les formes d'humus*. Paris. 1902.  
136. WÜTHRICH. — *Ueber die Einwirkung von Metallsalzen und Säuren auf die Keimfähigkeit der Sporen einiger parasitischer Pilze*. Stuttgart. 1892.  
137. ZIMMERMANN. — *Réponse à Ramm*. Bot. Centralblatt. 1893.
-