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

**Artikel:** Action des sels de cuivre sur les végétaux
**Autor:** Porchet, Ferdinand
**Kapitel:** IV: Nature de l'action des sels de cuivre sur les végétaux
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-267032

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

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

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

**Download PDF:** 16.07.2025

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

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 chlorophylliennne. 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 [1] 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* [2] 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 (*Chrusanthemon*).

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

[1] Voir page 525 de ce mémoire.

[2] 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 $Cu\,SO_4$ 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-

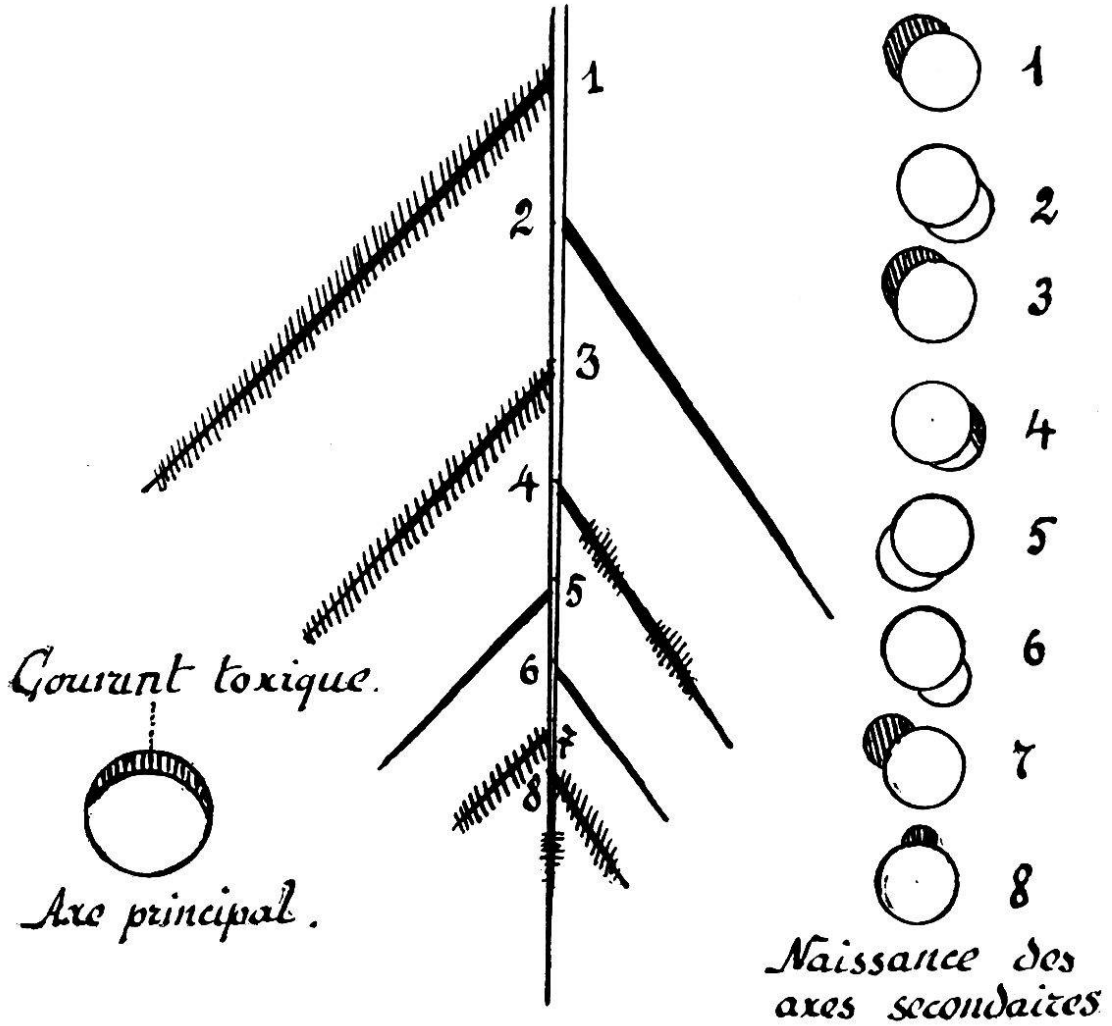
ment, les bourgeons continuent à se développer vigoureusement.

*Cu* $SO_4$ *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* $SO_4$ *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* $SO_4$ *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* $SO_4$ *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* $SO_4$ *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 $SO_4$ 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'un 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 dissemblables.

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 [1] 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.

[1] *Annales de l'Institut Pasteur*, 1901. **69.**

En ce qui concerne l'excitabilité des tissus, je citerai les recherches de Wedensky [1] 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 [2] 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 [3] 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.

---

[1] *Comptes-Rendus Acad. Paris*, oct. 1902. **134.**

[2] *Annales des Sc. Nat. Botanique*, série V, tome XI. **98.**

[3] *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 [1] 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 [2] 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 $SO_4$ à 0.5 % et 0.05 %; Fe $SO_4$ 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

[1] *Centr. Blatt für Brack,* Ab. II, Bd. IV. **51.**

[2] *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 $Cu\ So_4$ qui se flétriront les premiers, puis ce sera le tour de ceux qui sont dans le $Fe\ So_4$, 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 [1], 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

[1] 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 Tennesse dans lequel M. Bain [1] 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

1 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 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 [1] 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-

[1] 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.