

Zeitschrift:	Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber:	Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band:	2 (1924-1928)
Heft:	2
Artikel:	Action cryptogamicide comparée des sels de cuivre de nickel de zinc, de fer et d'aluminium sur divers champignons parasites
Autor:	Fæs, H. / Stæhelin, M.
Kapitel:	Contribution à la théorie de l'action toxique
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-248661

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>

tionné d'agar et des sels de cuivre et de nickel, nous observons, comparativement aux essais témoins, une extension du mycelium dans les solutions très diluées. Le développement est entravé dans les solutions très concentrées, l'action toxique exercée par le sulfate de cuivre est ici plus marquée que celle du sulfate de nickel.

Si nous réunissons en milieu nutritif les deux sels, ils exercent une action stimulante très prononcée sur le développement du champignon ; dans les solutions très concentrées, la croissance se ralentit et devient comparable à celle observée dans nos essais témoins.

Un fait spécialement intéressant à enregistrer dans nos expériences est l'action stimulante ou excitatrice, qui n'est pas autre chose qu'un premier degré d'intoxication, exercée sur la croissance de beaucoup d'organismes par certains sels métalliques (cuivre en particulier) en solutions très diluées.

De nombreux auteurs ont déjà fait des constatations analogues, non seulement sur les champignons, mais aussi sur le développement des levures, voire même sur celui des œufs de grenouille¹.

Contribution à la théorie de l'action toxique.

Toutes les substances peuvent, suivant leurs éléments chimiques, exercer une influence sur les échanges nutritifs de la plante.

Les poisons sont des substances qui déjà à de faibles concentrations peuvent exercer une action nuisible, c'est-à-dire entraver le développement ou l'annuler ; mais ils peuvent également à des concentrations extrêmement diluées, exercer une action stimulante ou renforcer le développement.

La virulence d'un poison dépend de la résistance individuelle de l'organisme, des milieux de dilution, de la concentration du poison, de la température et de la durée d'action.

Clark (18) et Pulst (19) ont déjà traité la question de la résistance individuelle des champignons aux solutions toxiques ; celle-ci varie d'une espèce de champignon à l'autre et suivant la solution toxique utilisée. La résistance des spores varie suivant leur âge ; les jeunes comme les vieilles sont moins résistantes que les adultes.

Il va de soi qu'une température élevée renforce l'action toxique ainsi qu'une solution très concentrée et un contact de plus longue durée.

Nous ne parviendrons pas, dans cette étude, à élucider d'une

¹ Dr F. Porchet. Le cuivre, excitant des réactions chimiques et biologiques. Revue scientifique, 18 février 1911.

manière définitive le problème très complexe de l'action toxique, mais nous essayerons d'en tirer certaines conclusions en nous basant sur la partie expérimentale de notre travail.

Dans les substances solubilisées dans l'eau, le développement des spores peut être entravé de deux manières différentes :

1. La solution a la tendance, suivant son degré de concentration, à extraire l'eau enfermée dans la spore, réduit de ce fait la turgescence et provoque un arrêt dans le développement. Si on la met dans une solution plus diluée, la spore n'étant pas tuée, la germination peut se faire.

2. Il faut attribuer à un phénomène osmotique l'empêchement de la germination. Celle-ci peut être entravée, voire annulée dans les concentrations très diluées, du fait que les substances, entrant en contact avec la masse protoplasmique, attaquent ainsi la cellule elle-même. — La mort des cellules a lieu par phénomène physico-chimique ; rappelons à cet effet que les solutions toxiques provoquent des oxydations et des réductions dans la cellule qui, d'une part endommagent sérieusement le protoplasme et détruisent, d'autre part, les substances fermentescibles.

Ces différents troubles et altérations des réactions vitales des cellules amènent nécessairement leur mort.

L'influence toxique sur les cellules de la plante est en rapport avec la structure de la cellule et de son contenu. La structure d'une cellule type de plante est connue. La membrane cellulaire forme l'enveloppe extérieure, elle entoure la masse protoplasmique et celle-ci à son tour contient la vacuole centrale remplie de suc cellulaire.

D'après les dernières recherches dans ce domaine, la membrane cellulaire ne serait pas absolument perméable, mais la cellulose formant un gel, elle se trouve à l'état colloïdal et pour ainsi dire imprégnée d'autres substances colloïdales (Lipoïdes). On pourrait admettre qu'à la surface de la paroi cellulaire se produisent des phénomènes d'adsorption ; c'est ainsi que les bases de certains sels peuvent être absorbées tandis que les acides sont retenus ; le phénomène inverse peut aussi se produire. Si l'état biologique de la membrane est obscur, celui du protoplasme l'est encore plus. Le protoplasme est en quelque sorte comparable à un hydroïdisperseïde très compliqué.

Le caractère colloïdal de la substance vivante est un facteur important pour les propriétés vitales. L'état colloïdal est surtout important au point de vue des perméabilités électives vis-à-vis

des migrations ioniques. Il est certain que beaucoup de propriétés de la substance vivante et plusieurs processus vitaux ne sauraient s'expliquer que par la chimie des colloïdes. Des actions physico-chimiques produisant la flocculation des colloïdes cellulaires amènent infailliblement la mort de la cellule. A la mort est donc liée la coagulation des colloïdes protoplasmiques. Nous avons souvent pu constater ces phénomènes de coagulation dans du matériel de champignons à grosses spores (*Botrytis cinerea*, *Rhyzopus* et *Sclerotinia*). Dans les concentrations à degré élevé, il se produit, au premier stade de l'effet toxique, une vacuolisation très marquée du contenu des cellules suivie d'une véritable agglomération du protoplasme dans les solutions de plus en plus concentrées. La masse centrale coagulée du protoplasme prend la couleur brunâtre. Ces mêmes phénomènes ont déjà été observés dans les cellules des plantes par Küster (20) et Klemm (21).

En partant du principe que le protoplasme est un système de colloïdes, nous pouvons admettre que tout effet toxique d'une substance est à rechercher dans un changement d'état des colloïdes ; la substance agit soit en augmentant soit en diminuant la grandeur des micelles. Une solution de sel pur peut toujours exercer une action nocive sur les colloïdes des cellules si l'on prolonge la durée d'action, du fait qu'elle nuit au gonflement normal, provoque la liquéfaction ou la coagulation des colloïdes et détermine la mort de la cellule.

A la suite des essais classiques exécutés par Fr. Hofmeister, nous connaissons une série d'anions qui augmentent graduellement la valeur du gonflement ou l'annule.

Les ions sulfuriques et citriques sont ceux qui possèdent la plus grande propriété précipitante vis-à-vis des albumines et sont aussi ceux qui entravent le plus le gonflement. Par contre les ions sulfocyaniques et chloriques favorisent le gonflement et sont par conséquent ceux qui ont la plus faible action précipitante vis-à-vis de l'albumine.

Entre ces deux groupes nous trouvons les ions nitriques et chlorhydriques. On connaît pour les cations des propriétés analogues.

Les alcalis (Na. K) possèdent une action précipitante vis-à-vis de l'albumine plus faible que les alcalino-terreux (Ca. Mg. Ba) tandis que cette propriété est très marquée chez les métaux lourds (Ni. Cu. Hg. Ag.). Ces corps possèdent en outre à un haut degré une affinité d'adsorption vis-à-vis des albuminoïdes. Ils sont de ce fait très toxiques et sont utilisés pour cela dans la lutte contre les maladies des plantes.

D'après ce qui précède nous nous trouvons en présence de deux actions toxiques : d'une part la toxicité par gonflement et liquéfaction, d'autre part, par coagulation. Le gonflement débute par une augmentation de l'eau dans la cellule, qui provoque, à son tour, une augmentation de volume de la cellule et une diminution de la consistance. Ce gonflement peut être assez important, pour pouvoir provoquer la désorganisation de la paroi cellulaire, on parle alors de liquéfaction. Les agents provoquant ce phénomène sont les acides et les alcalis. La flocculation ou la coagulation est caractérisée par les phénomènes suivants : d'une part l'eau de gonflement est éliminée, d'autre part il se produit dans la cellule un rassemblement en grumeaux des particules dispersées.

C'est ainsi qu'agissent les métaux lourds, les sels neutres, les alcools et les crésols.

L'effet toxique consisterait donc dans la liquéfaction des protoplasmes cellulaires, ou encore, les sels métalliques lourds provoqueraient la coagulation des protéines de la cellule. L'attaque du sel toxique agit sur la membrane protoplasmique ; la consistance normale de celle-ci garantit à la cellule l'exercice de ses fonctions vitales. Si cette consistance est modifiée dans le sens d'une perméabilité plus accentuée, soit au contraire par l'annulation complète de cette dernière, les échanges nutritifs de la cellule subissent des modifications ou sont même complètement entravés ce qui provoque sinon la mort, du moins une altération de la cellule.

Les phénomènes amenant la mort de la cellule restent très obscurs, même après les explications ci-dessus. Mais nous avons essayé d'exposer l'action des toxiques d'après le point de vue de la biochimie moderne, en considérant les combinaisons qu'ils forment avec les colloïdes de la cellule et les altérations résultant de ces combinaisons.

L'effet toxique d'un poison sur la cellule est donc de nature très complexe. Nous avons en vain cherché à trouver une relation utilisable entre l'effet toxique et le poids atomique des éléments employés. Woeber (23) a trouvé une règle simple liant l'action toxique des cations aux poids atomiques et spécifiques.

Il distingue 4 groupes bien séparés :

Dans le premier groupe, qui comprend l'aluminium, nous ne trouvons aucun cation à caractère fungicide.

Dans le second groupe, le chrome n'exerce pas d'action toxique ; celle-ci se marque de plus en plus en passant par le manganèse, le fer, le cobalt et le nickel, jusqu'au cuivre, qui présente les propriétés

toxiques les plus accentuées. En passant au zinc, il y a de nouveau diminution de la toxicité.

Dans le troisième groupe, le molybdène est inactif. Suivent, proportionnellement à leur action toxique, les métaux légers du groupe du platine, puis l'argent, à caractères toxiques très marqués. Les autres cations du groupe, cadmium et étain, sont également inactifs.

Enfin dans le 4^e groupe se trouve le tungstène inactif ; viennent ensuite les métaux lourds du platine, puis l'or, et, comme cation le plus toxique, le mercure. En passant au plomb et au bismut, la toxicité diminue rapidement.

L'effet toxique des sels métalliques dans les solutions n'est pas seulement provoqué par les ions présents dus à la dissociation, mais aussi par les molécules.

La toxicité est de nature très complexe, d'autres agents jouent un rôle complémentaire, tels que les processus de diffusion, la décomposition de la matière à l'intérieur des cellules, les procédés d'adsorption et avant tout le milieu de dilution. Nous ne pouvons ici que signaler ces différents facteurs. Hœber (24), Benecke (25), Paul et Krœnig (26) donnent sur eux des indications plus précises dans leurs différents travaux.

Dans nos séries d'essais nous n'avons pas seulement étudié la toxicité séparée des sels de cuivre, nickel, fer, zinc et aluminium à des concentrations variables, mais aussi celle exercée par la combinaison de deux, voire plusieurs de ces sels. C'est ainsi que de nouvelles questions viennent s'ajouter au problème déjà très complexe du processus de la toxicité.

Par l'intervention en solution toxique de deux ou plusieurs cations différents, l'effet physiologique peut être moindre que celui exercé par un seul, comme il peut être aussi plus fort. L'effet toxique du cuivre par exemple est diminué par la présence de la chaux, tandis qu'il est renforcé, si, au lieu de cuivre, on ajoute du mercure. Il est difficile de donner une explication exacte des causes de cette influence réciproque ; nous supposons que la perméabilité de la membrane protoplasmique se modifie sous l'influence des différents ions ; mais il se peut aussi que le passage de certains ions soit entravé par la présence d'autres ions qui influencent le gonflement des colloïdes protoplasmiques.

Si nous travaillons avec deux ou plusieurs sels qui présentent des cations différents, mais renferment les mêmes groupes d'anions, la solution toxique se modifie.

Le degré de dissociation de la solution peut être diminué lorsqu'on ajoute un sel ayant même anion que le premier, ce qui diminue également l'effet toxique pour autant qu'on rende les ions-cations seuls responsables du processus de toxicité. D'autre part, si les molécules non dissociées agissent en nombre sur la spore du champignon, une nouvelle question vient encore s'ajouter au problème si compliqué de l'action toxique. Des actions antagonistes peuvent également influencer l'équilibre du mélange.

Sans vouloir entrer dans les détails des recherches effectuées par Lœb, Hœber et Grafe, nous dirons en passant que ces auteurs sont d'accord pour déclarer que toute solution de sel pure peut agir de façon toxique sur la cellule des animaux et des plantes ; mais que le degré de toxicité peut être diminué, voire entièrement annihilé par la présence d'autres sels ou d'un mélange de différents sels. C'est ainsi que l'effet toxique d'un sel de sodium est annulé par la présence du calcium. Les travaux de Szucz (27), portent plus spécialement sur cette question. D'après cet auteur, la cellule ne réagit que très peu sous l'influence des ions combinés, cuivre et aluminium, l'effet toxique du cuivre est ainsi diminué. Il en est de même pour le bleu de méthylène qui, dans les concentrations très diluées est rapidement absorbé par la cellule de la plante, et qui, par contre, ne pénètre plus dans la cellule, lorsqu'il est en présence de ions d'aluminium. Ce phénomène serait dû à l'engourdissement de la membrane protoplasmique qui, sous l'influence des ions d'aluminium, devient imperméable et ne permet plus la pénétration du sel de cuivre et du bleu de méthylène.

Résumé. — L'étude du mécanisme de l'action toxique des substances anticryptogamiques et insecticides sur la cellule vivante est à la base de tout progrès dans la lutte contre les parasites des cultures.

Le cuivre fait partie, avec les métaux du groupe du mercure et de l'argent, des éléments qui possèdent une propriété toxique très marquée vis-à-vis de la cellule. D'après nos propres travaux, cette propriété est variable suivant le champignon en expérience. Le cuivre occupe également un rang élevé dans la catégorie des métaux lourds fungicides.

Le sulfate de nickel paraît exercer, dans nos essais, une action toxique plus marquée encore que le cuivre, mais ce sel n'entre pas en compte pour la pratique.

Viennent ensuite les sels de zinc, avec un pouvoir toxique très