

RECHERCHES BIOLOGIQUES SUR UNE CHYTRIDINÉE PARASITE
DU LIN.

par EMILE MARCHAL.

CHAPITRE PREMIER.

Introduction.

Depuis de longues années déjà, les cultures de Lin ont à souffrir, dans nos Flandres, des atteintes d'une maladie à laquelle les cultivateurs flamands donnent le nom de *vlasbrand* (brûlure du Lin).

Elle apparaît, dans les linières, le plus fréquemment en mai, plus rarement au commencement de juin, sous l'aspect de taches souvent circulaires, situées d'ordinaire dans les parties les plus déclives du champ.

Les individus qui constituent ces taches sont arrêtés dans leur développement; ils ne dépassent guère, souvent, une hauteur de 15 à 20 centimètres et présentent les caractères suivants :

Les cotylédons sont jaunes ainsi que les feuilles inférieures; la tige manque de rigidité et sa partie supérieure retombe flasquement vers le sol. Si l'on déterre, avec précaution, une motte de plantules ainsi atteintes, on constate que les dernières terminaisons des racines ont un aspect vitreux particulier, manquent de turgescence et s'arrachent avec la plus grande facilité.

Les taches de brûlure, les *brandplekken*, comme les appellent les cultivateurs flamands, s'étendent souvent rapidement lorsque le temps est humide, deviennent confluentes et recouvrent ainsi le champ tout entier.

Le sort ultérieur des plantes malades dépend des conditions météorologiques. L'humidité, tout en étant favorable à la dispersion de la maladie, permet cependant aux jeunes lins de vivre plus longtemps et parfois même de se rétablir. La maladie n'est alors que passagère; la végétation, après avoir traversé une crise, reprend son cours par suite de la formation de nouvelles racines. Toutefois, les lins qui ont brûlé restent toujours plus courts que les lins normaux et ne livrent qu'un produit de qualité inférieure.

Si, au contraire, quelques jours de sécheresse surviennent au moment de l'extension de la maladie, celle-ci se trouve paralysée mais l'effet pernicieux du mal s'aggrave singulièrement. En un jour, parfois en quelques

heures, on voit les plantules jaunir entièrement, se dessécher sur pied et mourir comme si elles étaient privées, tout-à-coup, de leurs organes absorbants.

Dans ces conditions, il ne reste plus au cultivateur que l'alternative de abourer ses linières pour en livrer le sol à une autre culture.

Tels sont les caractères de la brûlure. Examinons maintenant les causes qui ont été successivement mises en avant pour en expliquer l'apparition.

Ladureau a attribué la brûlure aux atteintes d'un thrips, le *Thrips Lini*. Toutefois la maladie occasionnée par ce parasite, en France et en Allemagne, semble être nettement différente de la brûlure de nos cultures.

Il en est de même de l'affection provoquée sur le Lin par le développement de la rouille, le *Melampsora Lini*, qui est très caractéristique et à laquelle on a parfois aussi donné le nom de brûlure.

Bien différente est, d'autre part, la déformation connue sous le nom d'étiement, dont l'étiologie est encore douteuse, mais que Sorauer attribue au parasitisme d'un champignon inférieur, le *Fusicladium Lini*.

Nous réserverons le terme de brûlure à la maladie décrite ci-dessus telle qu'elle est connue depuis très longtemps dans nos Flandres

Elle y est surtout fréquente aux environs de Courtrai, Thielt, Roulers, Ingelmunster, Bruges, et Herzele; on la rencontre aussi dans le nord du Hainaut, aux environs de Leuze et de Templeuve, où elle sévit avec intensité. Elle s'est manifestée également aux environs de Lierre.

Dans les autres régions du pays où la culture du Lin est d'ailleurs peu importante, la brûlure n'a pas été signalée comme causant des dommages notables.

A l'étranger, cette maladie est particulièrement fréquente en Hollande et dans le Nord de la France; elle paraît exister également en Allemagne, en Irlande et, peut-être, en Russie.

Il n'est pas aisé, d'ailleurs, d'établir, d'une façon précise, l'aire de dispersion de la maladie qui nous occupe à cause du manque de précision qui règne dans l'acception du terme « brûlure » qui a servi à désigner, comme je le disais tout à l'heure, des affections relevant de causes très variées.

La brûlure du Lin a été, jusqu'ici, peu étudiée et la littérature du sujet ne comporte comme travaux importants que ceux de deux professeurs de l'École de Wageningen (Hollande) Ad. Mayer et L. Broeckema (1). Un résumé complet du mémoire de ce dernier a été publié par M. P. Nypels dans ses intéressantes « Notes pathologiques » (2).

Il résulte des recherches de Broeckema que la brûlure est de nature parasitaire et contagieuse, c'est-à-dire que le sol qui a porté une culture

(1) L. BROECKEMA. — Eenige waarnemingen en denkbeelden over den vlasbrand (*Landbouwkundig Tijdschrift*), 1893, b. 59.

(2) P. NYPELS. — Notes pathologiques. *Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique*, t. XXXVI, p. 198.

atteinte est susceptible de produire l'infection d'une nouvelle génération de Lin et que des portions de lins malades, tiges ou racines, placées dans un milieu jusqu'alors indemne y provoquent l'apparition de la maladie.

Quant à la nature du parasite, Broeckema ne l'a pas reconnue; il a trouvé en abondance des bactéries dans les parties malades, mais il ne fournit aucune preuve de leur action spécifique.

Tel était l'état de la question lorsque je fus chargé en juin 1897 par le Département de l'Agriculture d'entreprendre les recherches dont l'exposé fait l'objet du présent mémoire.

Avant de relater mes investigations personnelles, j'accomplis un devoir très agréable en remerciant M. l'Agronome de l'État Van den Wouwer, du concours précieux qu'il m'a fourni pendant toute la durée de mes études. Je remercie également MM. les Agronomes Boisdenghien, Decaluwe, Marousé, Peiffer, Van de Velde et Van Elst des renseignements et des échantillons qu'ils ont bien voulu me communiquer.

CHAPITRE II.

Étiologie de la Brûlure.

C'est en juin 1897, que je me suis rendu pour la première fois dans les environs de Courtrai; à l'effet d'étudier sur place les conditions dans lesquelles se produit la brûlure.

Un mois de mai pluvieux avait favorisé l'extension de la maladie; aussi M. Van den Wouwer eut-il facile à me montrer de nombreuses linières fortement et complètement atteintes.

L'examen des copieux échantillons rapportés fut fait d'une manière minutieuse et méthodique.

La racine, la tige, les feuilles furent successivement examinées et ensuite mises en culture dans des milieux nutritifs appropriés afin de provoquer le développement des organismes qu'ils pouvaient contenir. Ces cultures donnèrent toutes un résultat absolument négatif. Seules, quelques moisissures banales et des bactéries dépourvues de tout caractère parasitaire s'y développèrent.

L'examen microscopique des feuilles et de la tige ne donna également aucun résultat.

Il n'en fut pas de même de l'étude des racines ou plus exactement des terminaisons radiculaires les plus tenues.

Ici on observait, dans les cellules de l'assise pilifère, ainsi que dans les poils radiculaires, deux genres d'éléments très caractéristiques.

C'étaient, d'une part, des corpuscules étoilés à membrane épaisse dont les caractères me rappelèrent immédiatement les spores durables d'une Chytridinée étudiée dans les racines de diverses plantes par notre savant confrère M. E. de Wildeman, et décrite par lui sous le nom d'*Asterocystis radialis*.

Dans des cellules voisines, très souvent aussi dans les mêmes cellules, se trouvaient, d'autre part, des corps arrondis ou elliptiques à contenu granuleux ou différencié en sphérules très petites représentant les organes de propagation des Chytridinées : les zoosporanges.

Frappé par l'extraordinaire abondance de ce parasite dans les racines malades, j'en cherchai la présence dans les racines de lins sains provenant de Gembloux, de Courtrai et d'Opprebais (Brabant). Ces exemplaires ne révélèrent la présence d'aucune trace de champignon, si ce n'est toutefois quelques sujets de la dernière provenance montrant quelques spores durables. Toutefois, le parasite y existait en quantité tellement minime que l'on comprend qu'il n'ait encore occasionné aucune altération apparente.

J'ai examiné ensuite de très nombreux échantillons de Lin brûlé que j'avais recueillis ou que je devais à l'obligeance de mes correspondants.

Je trouvai, d'une manière constante et en grande abondance, la Chytridinée, dans des plantules malades provenant des environs de Courtrai, Thielt, Harlebeke, Oostcamp, Termonde et Leuze, c'est-à-dire *sur tous les lins malades examinés*.

Un lin provenant d'Oppuers qui avait été légèrement atteint de la maladie mais s'était remis dans la suite, ne présentait plus de parasite.

Il résulte de ces constatations que l'*Asterocystis* se trouve en abondance et d'une façon constante dans le Lin brûlé.

Premiers essais d'infection.

Il ne suffit pas, pour établir l'étiologie d'une maladie, de reconnaître la présence constante d'un parasite sur les sujets atteints, il est indispensable de reproduire, en prenant ce dernier comme point de départ, l'affection avec tous ses caractères, sur des plantes saines.

C'est dans cet ordre d'idées que je tentai de produire une brûlure expérimentale en infectant des lins sains à l'aide des germes du parasite observé antérieurement.

L'expérience fut conduite de la façon suivante : le 20 mai 1898, on sème des graines de Lin dans deux pots (A et B) contenant de la terre de jardin à laquelle avait été préalablement mélangé le produit du broyage dans l'eau, de quelques racines de Lin brûlé de l'année précédente.

Deux autres pots (C et D) renfermant la même terre reçoivent des graines de Lin, mais ne sont pas infectés et constituent des témoins.

La germination et le développement s'opèrent normalement. Tous les deux jours il est prélevé, dans chaque pot, et avec précaution afin de leur conserver les radicules les plus fines, quelques individus qui sont soumis à l'examen microscopique.

Le 15 juin, la maladie apparaît dans les pots A et B. Les cotylédons sont jaunes ainsi que les feuilles inférieures: les racines se montrent abondamment pourvues de zoosporanges mais ne présentent pas encore de spores durables. Les témoins en sont indemnes.

Le 27 juin, apparaissent les premières spores de conservation.

L'infection de lins sains, par les germes de l'*Asterocystis*, avait donc parfaitement réussi.

Toutefois, l'influence nuisible du champignon sur le développement du Lin n'avait pas été très manifeste, ce que j'attribuai aux copieux arrosements auxquels étaient soumises les cultures.

C'est pourquoi, j'en refis de nouvelles dans les mêmes conditions. Après un mois de végétation, lorsque le parasite fut abondamment répandu dans les racines, les pots furent placés dans des conditions variées d'humidité. Les uns continuèrent à être copieusement arrosés chaque jour, les autres reçurent de l'eau en quantité strictement suffisante pour empêcher la dessiccation trop rapide du sol; enfin, une troisième série fut laissée sans arrosements.

Des cultures témoins, sans parasite, étaient parallèlement placées dans les mêmes conditions.

Des différences marquées se montrèrent rapidement entre ces deux séries. Tandis que les témoins résistaient normalement à la dessiccation, les individus parasités succombèrent rapidement après avoir présenté les symptômes caractéristiques de la brûlure.

En sol peu arrosé, le jaunissement suivi de dessiccation, la courbure du sommet de la tige se manifestèrent après deux ou trois jours; en sol sec ces phénomènes apparurent souvent après quelques heures et les plantules moururent beaucoup plus rapidement que les témoins non infectés.

La figure ci-contre montre une culture présentant les symptômes de cette brûlure expérimentale.



Fig. 1.

Ces résultats, confirmés par de nombreuses expériences analogues, me permirent de conclure que l'*Asterocystis radialis* joue un rôle étiologique essentiel dans le développement de la brûlure du Lin.

Méthode d'expérimentation.

Avant d'exposer les résultats de l'étude biologique que j'ai faite du parasite de la brûlure du Lin, je tiens à faire connaître la méthode d'expérimentation qui a été utilisée dans la grande majorité des essais. C'est la méthode des cultures aqueuses appliquée à l'étude du Lin parasité et de son hôte.

Ce procédé permet à l'observateur d'être absolument maître des conditions de développement des êtres mis en expérience, de composer à son gré le milieu nutritif et de diriger aisément l'action des facteurs dont il recherche l'influence.

Dans le cas spécial qui nous occupe, il permet, de plus, de recueillir dans toute leur intégrité, les racines des individus malades, ce qui n'est jamais possible lorsque ces derniers se sont développés dans le sol.

Le Lin se prête assez bien à ce genre de culture et son parasite y trouve des conditions exceptionnellement favorables pour son développement.

Les cultures ont été effectuées, le plus fréquemment, dans des cristallisoirs de 500 c^{ms} cubes de capacité, surmonté d'une étamine à mailles serrées, sur laquelle étaient disposées les graines. Leurs parois latérales étaient entourées de papier opaque destiné à empêcher le développement des algues.

Pendant les quelques jours qui suivent la germination les cristallisoirs étaient couverts d'une cloche tapissée de papier buvard humecté. Les plantules étaient laissées à l'air libre dès que leurs racines avaient pris contact avec le liquide nutritif.

La solution minérale adoptée présentait la composition ci-après, très voisine de celle du liquide nutritif bien connu des physiologistes sous le nom de liquide de Sachs :

Eau	1,000	grammes
Nitrate de sodium	1	»
Sulfate de potassium	0,5	»
Sulfate de calcium	0,5	»
Sulfate de magnésium	0,5	»
Chlorure de sodium	0,5	»
Phosphate tricalcique	0,5	»
Sulfate de fer		traces

Pour produire l'infection, tantôt on a ajouté aux cristallisoirs quelques centimètres cubes du liquide trouble obtenu en broyant dans l'eau quelques radicules de Lin fortement parasitées, tantôt en repiquant, au milieu des cultures, quelques plantules abondamment pourvues d'*Asterocystis*.

A la température de 12 à 15°, la germination est rapide et normale; on obtient déjà, après trois jours, des plantules qui restent toutefois longtemps à l'état cotylédonaire. Ce n'est qu'après 8 à 10 jours qu'elles produisent une tige grêle portant de nombreuses feuilles petites et très rapprochées.

L'observation du parasite est rendue très facile par l'emploi d'une solution faible d'iode dans l'iodure de potassium qui colore fortement en brun-acajou les jeunes plasmas du parasite.

Après quelque temps de développement, l'*Asterocystis* a formé, en abondance, des zoospores qui se sont répandues dans le milieu nutritif; le liquide de culture devient très infectieux et peut servir commodément à transmettre la maladie à de nouvelles générations de lins.

Indépendamment de ces cultures en cristallisoirs, on s'est servi également de cultures en tubes, en soucoupes, etc. Fréquemment aussi les plantules obtenues sur cristallisoirs étaient mises en expériences en les repiquant dans des tubes, contenant des solutions minérales, ou à la surface d'autres cristallisoirs.

Les cultures en terre ont été l'exception et n'ont été employées que comme contrôle des expériences effectuées en milieu liquide.

Ce procédé des cultures aqueuses m'a fourni d'excellents résultats.

Il m'a permis de pénétrer assez avant dans la connaissance, tant morphologique que physiologique, de l'*Asterocystis radialis* et d'apporter ainsi, une contribution importante à l'étude biologique encore si peu avancée de l'intéressant groupe des Chytridinées.

CHAPITRE III.

Description de l'*Asterocystis radialis*.

La description du parasite de la brûlure peut être résumée en la diagnose suivante :

Asterocystis radialis De Wild. in Ann. Soc. belge de Microscopie, t. XVII, 1893.

Zoosporanges solitaires ou 2-3 dans les cellules de l'hôte; ovoïdes ou elliptiques, réguliers rarement un peu arqués, 20-50 = 13-20 mic.; zoospores d'abord globuleuses puis ovoïdes, uniciliées, à protoplasme granuleux, 3 mic. de diamètre ou 2 = 4 m.c. environ, sortant du zoosporange par une ouverture latérale (fig. 1, 2 et 3 de la planche). Spores durables globuleuses ou ovales elliptiques, les premières de 12-20 mic. de diamètre, les autres atteignant de 20-32 = 10-20 mic.; solitaires ou groupées au nombre de 2 à 12 dans la cellule nourricière, d'un aspect étoilé, comme circonscrites dans un cercle ou une ellipse, pourvues d'un noyau globuleux ou ellipsoïde ne remplissant pas toute la cavité cellulaire (fig. 4 et 5).

Hab. Dans les racines du Lin et d'autres espèces phanérogamiques.

C'est à côté du genre *Olpidium* que de Wildeman a placé le genre *Asterocystis* dont les spores durables étaient alors seules connues. La découverte des zoosporanges, non seulement justifie pleinement les affinités que cet auteur avait si bien pressenties, mais de plus, autorise le transfert de cette espèce au voisinage de l'*Olpidium Brassicae*.

Bien que ces deux espèces aient des spores durables qui présentent la plus grande analogie, la confusion n'est pas possible: l'*Olpidium Brassicae* a des zoosporanges munis d'un col bien développé qui manque absolument chez l'espèce linicole.

CHAPITRE IV.

Parasitisme de l'*Asterocystis*.

1° PLANTES HOSPITALIÈRES.

Comme nous l'avons dit plus haut, le parasite de la brûlure du Lin ne se distingue pas morphologiquement de l'*Asterocystis radialis* observé par de Wildeman dans les racines de plantes variées.

Cette Chytridinée se rencontre, en effet, fréquemment au printemps, plus rarement en automne, dans les jeunes racines de plantules souffreteuses appartenant à diverses espèces végétales, par exemple, chez la Bourse-à-pasteur (*Capsella Bursa-pastoris*), le Thlaspi (*Thlaspi arvensis*) et quelques Graminées communes.

Les germes de ce champignon doivent donc être répandus abondamment dans la nature.

Comment expliquer alors que cet organisme, apparemment commun, n'occasionne, chez le Lin, la brûlure que dans des conditions particulières et relativement rares ?

C'est là un point de biologie fort intéressant que j'ai cherché à élucider en résolvant les deux questions suivantes :

1° L'*Asterocystis* du Lin peut-il aisément se développer sur les jeunes plantes d'autres espèces botaniques ?

2° D'autre part, l'*Asterocystis* recueilli sur des plantes variées est-il capable de passer sur le Lin et d'y déterminer la brûlure ?

Dans le premier ordre d'idées, ont été entreprises les expériences dont la relation suit :

Le 30 janvier 1900, on a préparé deux grands cristallisoirs contenant le liquide mentionné précédemment, additionné du produit du broyage de quelques racines sèches de Lin, riches en spores durables d'*Asterocystis*. Sur l'étamine recouvrant les cristallisoirs on a semé, par groupes, les graines des espèces suivantes :

Épinard (*Spinacia oleracea*), Radis (*Raphanus sativus*), Betterave (*Beta vulgaris*), Pois (*Pisum sativum*), Haricot (*Phaseolus vulgaris*), Luzerne (*Medicago sativa*), Lupuline (*Medicago Lupulina*), Trèfle blanc (*Trifolium repens*), Cerfeuil (*Anthriscus Cerefolium*), Cresson alénois (*Lepidium sativum*), Mâche (*Valerianella Oitoria*), Poircau (*Allium porrum*), Moutarde blanche (*Sinapis alba*), Spergule (*Spergula arvensis*), Lin (*Linum usitatissimum*).

Ces diverses espèces germèrent normalement, mais lentement, à cause de la température régnante qui fut en moyenne de 12° C.

A dater d'un mois après le semis, l'examen microscopique fréquent d'un échantillon de chaque espèce permet de constater les époques suivantes d'apparition du parasite chez les diverses espèces en expérience:

DÉSIGNATION DES ESPÈCES.	ÉPOQUES D'APPARITION DU PARASITE.	OBSERVATIONS.
Lin.	23 février	Par. très abondant.
Epinard.	6 mars	Par. peu abondant.
Lupuline.	6 »	Par. abondant.
Poireau.	8 »	Id.
Pois.	13 »	Par. peu abondant.
Radis.	15 »	Par. abondant.
Cerfeuil	16 »	Id.
Laitue.	16 »	Id.
Luzerne.	16 »	Id.
Moutarde blanche.	16 »	Par. très rare.
Chou.	27 »	Par. peu abondant.
Bette rave.		Ne s'est pas infecté.
Cresson.		Id.
Mâche.		N'a pas germe.

Une expérience similaire, faite antérieurement, avait fourni les résultats ci-après :

Époque du semis: 16 mai 1899.

Espèces mises en expérience: Laitue (*Lactuca sativa*), Grand-Soleil (*Helianthus annuus*), Moutarde blanche (*Sinapis alba*), Moutarde noire (*Sinapis nigra*), Colza (*Brassica Napus*) Navet (*Brassica campestris*), Pavot blanc (*Papaver somniferum*), Pâturin des prés (*Poa pratensis*), Froment (*Triticum sativum*), Avoine (*Avena sativa*), Lin (*Linum usitatissimum*).

Résultats de l'infection par l'*Asterocystis* du Lin :

Désignation des espèces.	Époques d'apparition du parasite.	Observations.
Lin.	30 mai.	Par. extrêmement abondant.
Pâturin des prés.	2 juin.	Par. très abondant.
Laitue.	4 »	Par peu abondant.
Navet.	4 »	Par. abondant.
Colza.	4 »	Id.
Moutarde noire.	5 »	Id.
Moutarde blanche.	5 »	Quelques zoosporanges.
Pavot blanc.	8 »	Par. peu abondant.
Avoine.	15 »	Par. rare.
Betterave.		Ne s'est pas infectée.
Froment.		Id.
Grand-Soleil.		Id.

Comme on pourra le constater par la comparaison des dates, les délais d'apparition du parasite sont ici beaucoup plus courts que précédemment, ce qui tient à la température plus élevée (18° à 22°) qui a régné pendant le cours de l'expérience.

De ces deux séries d'essais, il ressort la conclusion que la grande majorité des espèces (20 sur 25) mises en expériences, soumises à l'infection par l'*Asterocystis* du Lin, sont susceptibles d'être parasitées par ce dernier. Toutefois, elles le sont toutes après un délai plus prolongé que le Lin et, en général, moins abondamment.

J'ai ensuite cherché à résoudre la question inverse.

J'ai pris, dans ce but, comme point de départ, deux formes d'*Asterocystis* recueillies, la première sur des laitues chlorotiques et dépérisantes, la seconde, sur de jeunes colzas assez bien venus.

Le 26 mars 1900, on a semé des graines de Lin dans un cristalliseur et on a repiqué, à côté, de jeunes laitues fortement parasitées.

Examinés successivement les 10, 12, 13, 14, 15, 16 et 17 avril, les jeunes lins n'ont présenté aucune trace de parasite. Le 18, un exemplaire, sur huit examinés, présente quelques zoosporanges, mais le champignon ne prend ultérieurement aucun développement.

Le 25 mai suivant, on a repiqué, autour des racines de deux plantes de Colza fortement attaquées, un certain nombre de plantules de Lin de

15 jours d'âge, c'est-à-dire arrivées à un moment de leur existence où, comme nous le verrons plus loin, leur infection est particulièrement facile.

Le 24 juin, un mois après, aucune trace de champignon n'était encore apparente.

D'autre part, le 12 avril 1900, on avait mis à germer dans des cristallisoirs séparés :

1 ^o	du Lin destiné à être infecté avec l' <i>Asterocystis</i> du Lin				
2.	» Lin	»	»	»	» Colza
3.	» Lin	»	»	»	» Laitue
4.	» Colza	»	»	»	» Lin
5.	» Colza	»	»	»	» Colza
6.	» Colza	»	»	»	» Laitue
7.	» Laitue	»	»	»	» Lin
8.	» Laitue	»	»	»	» Colza
9	» Laitue	»	»	»	» Laitue

La présence du parasite se manifesta, aux époques suivantes, dans les diverses cultures :

N ^{os}	Nature des cultures	29 avril.	1 ^{er} mai.	5 mai.	Observations.
1	Lin infecté avec Lin.	par.			Par. très abondant.
2	Lin » Colza.	par.			Par abondant.
3	Lin » Laitue.				Ne s'est pas infecté.
4	Colza » Colza.			par.	Par. abondant.
5	Colza » Laitue.				Ne s'est pas infecté.
6	Colza » Lin.			par.	Par. peu abondant
7	Laitue » Lin.		par		Par. assez abondant.
8	Laitue » Colza.		par.		Id.
9	Laitue » Laitue.		par.		Id.

La comparaison des résultats de ces deux dernières expériences fait ressortir une contradiction. Dans le premier cas, le parasite du Colza n'a pas passé sur le Lin ; dans le second, cette infection s'est réalisée. La raison de cette différence résulte, à n'en pas douter, des conditions de milieu, dont la nature liquide a, dans la seconde expérience, favorisé le développement du parasite.

A ces multiples faits expérimentaux, j'ajouterai encore quelques faits d'observation.

En mélange intime avec les lins brûlés provenant des environs de Courtrai et d'ailleurs, croissaient un certain nombre de plantes adven-

tices, parmi lesquelles je citerai: *Lamium amplexicaule*, *Polygonum aviculare* et quelques jeunes graminées indéterminables. Un examen minutieux des radicelles les plus tenues ne m'a montré d'*Asterocystis* que dans un cas sur une vingtaine, sur une plantule de graminée en contact intime avec les racines malades du Lin.

De tous ces faits, il résulte que si l'*Asterocystis* du Lin peut se développer sur des plantes diverses, que si, d'autre part, les germes empruntés à d'autres espèces phanérogamiques passent dans certains cas sur le Lin, ces diverses inoculations ne s'effectuent pas sans difficulté, demandent le plus souvent des délais plus longs et s'opèrent fréquemment d'une façon incomplète.

Cela autorise à admettre que la forme du Lin lui est spécialement adaptée et constitue, en quelque sorte, une *race physiologique*.

Cette race linicole de l'*Asterocystis* se distingue par une virulence particulière à l'égard de son hôte normal, qu'elle attaque rapidement et envahit complètement, lui causant un dommage beaucoup plus sérieux que n'en occasionne aux autres plantes l'*Asterocystis* ordinaire.

L'idée d'une race physiologique chez cette Chytridinée s'accorde d'ailleurs bien avec ce que nous savons de beaucoup de végétaux inférieurs (un grand nombre de Bactéries, des *Oospora*, le *Botrytis cinerea*, beaucoup d'Uredinées), chez lesquels on voit des formes morphologiquement identiques présenter des propriétés physiologiques et, notamment, des aptitudes parasitaires très différentes.

Au point de vue pratique, cette conception du parasitisme de l'*Asterocystis* est très importante et nous aurons à y revenir dans les considérations culturelles qui terminent ce travail.

2. MARCHE DE L'INFECTION DU LIN PAR L'ASTEROCYSTIS.

A. Pénétration du parasite dans les tissus de son hôte.

Si nous suivons pas à pas une expérience d'infection, telle que nous l'avons décrite précédemment, nous constatons deux faits très intéressants :

1° Le parasite pénètre dans les racines de son hôte par un endroit bien déterminé ;

2° Cette pénétration n'est possible que lorsque les plantules ont acquis un certain âge.

Examinons successivement ces deux points.

Endroit où s'opère l'infection.

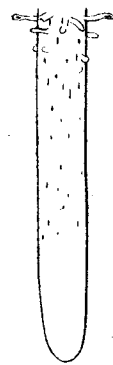
Une jeune racine de Lin présente successivement, à la considérer en partant de son extrémité :

1° La pilorhize, coiffe protectrice peu développée dans les cultures aqueuses, protégeant un cône végétatif formé de petites cellules régulièrement disposées, à gros noyau et à contenu très réfringent ;

2° Une zone de croissance, tissu méristématique à cellules en voie d'active division, à membranes très minces et à protoplasme très abondant ;

3° Une zone pilifère où la croissance est terminée et où les cellules de l'assise externe se prolongent en poils simples, assez courts.

A la limite de la zone de croissance et de la zone pilifère, se montrent les jeunes poils radiculaires, sous l'aspect de petites éminences arrondies.



Si l'on traite, par le réactif iodé, une jeune racine fraîchement envahie par le parasite, on constate, dans quelques cellules périphériques de la zone de croissance, de petites masses vivement colorées en brun-acajou.

Ces petites masses, qui constituent autant de jeunes individus d'*Asterocystis*, sont de forme et de dimension variables ; elles ne sont, en général, pas situées dans des cellules contiguës mais parsèment le tissu comme l'indique la figure ci-jointe.

En dehors de cette zone bien limitée, on ne remarque à ce moment aucune trace de parasite. Celui-ci effectue donc sa pénétration par les membranes minces de la zone de croissance. Les membranes plus épaisses des autres parties de la

Fig. 2. racine opposent à l'invasion des zoospores une barrière infranchissable.

Age auquel s'opère l'infection.

Il ne suffit pas, pour réaliser l'infection, que la racine présente une zone de croissance, il faut que les plantules aient atteint un âge minimum bien déterminé.

Pour le démontrer, j'ai eu recours à plusieurs dispositifs expérimentaux.

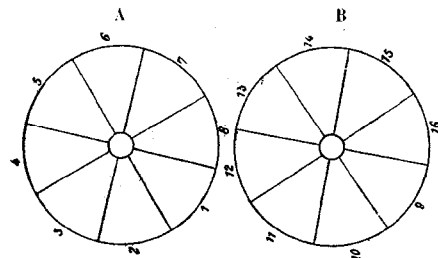


Fig. 3.

Première série d'expérience.

Sur deux grands cristallisoirs (A et B) contenant du liquide nutritif, on a étendu des étamines divisées par des fils rouges en 8 secteurs chacun (1 à 8 et 9 à 16).

Chacune des étamines présente, en son centre, une ouverture destinée à recevoir une douzaine de

jeunes lins, riches en parasites, qui doivent servir d'agents infectieux (fig. 3).

On a semé, d'autre part, le 17 avril, dans un cristallisoir ordinaire, des graines de Lin, afin de produire les plantules destinées à l'expérience.

Les précautions les plus minutieuses avaient été prises pour empêcher tout apport de germes dans le semis. L'examen microscopique de multiples exemplaires a, d'ailleurs, montré que toutes les plantules étaient indemnes de parasites.

Le 23 avril, alors que les jeunes lins ont 6 jours d'âge, on en repique 8 exemplaires dans le milieu infectieux, sur le secteur 1. Le 24, on repique de même 8 plantules dans le secteur 2. Le 25, 8 nouvelles plantes sont placées dans le secteur 3 et ainsi de suite jusqu'au 16^e jour.

La température du local varie de 12° à 18° C.

Entre temps, on examine journallement un exemplaire de chaque secteur pour déterminer le moment d'apparition de l'*Asterocystis*.

Les résultats de cet examen sont consignés dans le tableau de la page précédente.

Donc :

Les plant. de 6 jours se sont infect. après 8 jours, soit à l'âge de 14 jours.							
" 7	"	"	"	7	"	"	14 "
" 8	"	"	"	6	"	"	14 "
" 9	"	"	"	5	"	"	14 "
" 10	"	"	"	4	"	"	14 "
" 11	"	"	"	4	"	"	15 "
" 12	"	"	"	3	"	"	15 "
" 13	"	"	"	5	"	"	18 "
" 14	ne se sont pas infectées.						
" 15	se sont infectées après 7						22 "
" 16	"	"	"	4	"	"	20 "
" 17	"	"	"	5	"	"	22 "
" 18	"	"	"	5	"	"	23 "
" 19	"	"	"	4	"	"	23 "
" 20	"	"	"	4	"	"	24 "
" 21	"	"	"	4	"	"	25 "

Dans une seconde série de deux cristallisoirs (C et D), on a mis expérience des plantules plus âgées.

Le 7 mai, on a repiqué dans le secteur 1 du cristallisoir C, 8 plantules de 14 jours. Le 8, on a fait de même avec 8 lins de 15 jours et ainsi de suite pendant 16 jours.

Les résultats furent les suivants :

En conséquence ;

Les plant. de	14	jours se sont infectées après	4 j.	soit à l'âge de	18	jours
»	15	»	»	5	»	20
»	16	»	»	4	»	20
»	17	»	»	4	»	21
»	18	»	»	3	»	21
»	19	»	»	4	»	23
»	20	»	»	4	»	24
»	21	»	»	4	»	25
»	22	»	»	4	»	26
»	23	»	»	2	»	25
»	24	»	»	4	»	28
»	25	»	»	4	»	29
»	26	ne se sont pas infectées.				
»	27	Id.				
»	28	Id.				
»	29	Id.				

Deuxième série d'expériences.

Afin de déterminer plus exactement encore l'âge optimum pour l'infection, on a modifié l'expérience précédente comme suit :

Le 15 avril 1900, on a semé, dans le secteur 1 du cristalliseur A, des graines de Lin. Le 16, on a effectué le même semis dans le secteur 2 et ainsi de suite pendant 8 jours.

Le 2 mai, on a infecté la culture en plaçant une douzaine de lins malades au centre du cristalliseur. Celui-ci contient donc 8 générations de plantules, les plus jeunes de 10 jours, les plus âgées de 18, sur lesquelles va s'exercer la virulence des zoospores émises par les lins parasités du centre.

Le 5 mai, c'est-à-dire trois jours après, on recherche le parasite dans les différentes cultures.

Voici le résultat de cet examen :

Plantules ayant	11	jours au moment de l'infection :	0	parasite
»	12	»	»	Id.
»	13	»	»	par. abondant
»	14	»	»	Id.
»	15	»	»	Id.
»	16	»	»	Id.
»	17	»	»	Id.
»	18	»	»	par. rare

De ces différentes expériences, on peut déduire les conclusions suivantes :

1° Dans les conditions de l'expérience, c'est-à-dire en milieu liquide et lorsque le développement s'est effectué à une température de 12° à 18°, le *Lin* ne peut être infecté par l'*Asterocystis* qu'à partir du treizième ou du quatorzième jour, à dater de sa mise en germination. A cet âge, le parasite s'établit en trois jours dans les plantules et s'y multiplie rapidement de la façon qui sera indiquée plus loin.

2° Le *Lin* reste du 13^e au 25^e jour environ réceptif à l'égard du parasite de la brûlure. Toutefois, on a constaté que, déjà à partir du 18^e jour, l'infection est parfois incomplète.

Il existe donc un véritable âge optimum, compris entre 13 et 18 jours, durant lequel on observe le minimum de résistance à la maladie.

Quant à l'explication que l'on peut donner de cette non-réceptivité des jeunes plantules et des racines âgées, je crois qu'il faut la chercher dans l'épaisseur des membranes cellulaires.

Pendant les premiers jours qui suivent la germination, la radicule du *Lin* présente une assise périphérique à membranes cellulaires relativement épaisses.

Vers le dixième jour, commence la différenciation de la racine, suivie bientôt d'une rapide élongation.

Cet accroissement ne permet pas au méristème au niveau duquel s'opère, comme nous l'avons vu, la pénétration de l'*Asterocystis*, d'épaissir suffisamment ses membranes, qui n'opposent ainsi qu'une faible résistance à ce dernier.

Pendant toute la durée de l'allongement rapide de la racine, l'infection est facile; plus tard, quand il se ralentit, les membranes ont le temps de s'épaissir davantage, circonstance qui confère, désormais, l'immunité aux plantules à l'égard du parasite.

La brûlure est donc une affection du jeune âge comme le savent d'ailleurs les praticiens; elle guette les lins au début de la végétation, mais n'est plus à redouter dès que les jeunes plantes ont acquis un certain développement.

Dans les conditions de la culture, les limites indiquées plus haut par l'expérience doivent être nécessairement étendues parce que la germination s'opère plus lentement dans un milieu solide et que le premier développement du *Lin* n'est pas favorisé par une température aussi élevée.

Les âges critiques où commence la réceptivité et où elle disparaît sont, en effet, essentiellement sous la dépendance des conditions de milieu et, en tout premier lieu, de la température qui agit très manifestement, comme nous le verrons, sur le développement de l'*Asterocystis*.

B. *Extension du parasite.*

Nous venons de voir de quelle façon l'*Asterocystis* effectue sa pénétra-

tion dans les tissus de sa plante nourricière; nous pouvons étudier maintenant quels sont ses procédés d'extension.

Cette extension doit être envisagée:

- 1° Dans l'individu envahi lui-même;
- 2° Autour de ce dernier, sur les individus voisins.

Multiplication interne de l'Asterocystis.

Les premiers plasmas qui apparaissent dans la zone d'accroissement des racines procèdent de zoospores répandues dans le milieu ambiant; aussi, sont-ils disséminés, superficiels et peu nombreux.

Si l'on examine une racine ainsi infectée, quelques jours après le début de l'envahissement du champignon, on constate que les plasmas sont devenus extrêmement nombreux et dépassent les limites de la zone où ils étaient primitivement cantonnés. Il s'en trouve d'une part à la base de la pilorhize, d'autre part, dans la zone pilifère, souvent même en abondance dans les poils radiculaires (fig. 2 de la planche).

Comment s'est effectuée cette multiplication ?

On pourrait croire qu'elle s'opère uniquement par les zoospores sorties des premiers sporanges formés, et déversés à l'extérieur, qui viendraient se fixer en masse sur les différentes parties de la racine. Mais l'expérience suivante montre qu'il en est autrement.

Le 21 avril 1900, quelques plantules de quinze jours, fraîchement inoculées et ne présentant que quelques individus d'*Asterocystis* encore à l'état plasmatique, ont été repiquées dans de petits tubes contenant du liquide nutritif, additionné de 5/10000 de formaline.

Des essais préalables avaient démontré que cette faible dose d'antiseptique détruit rapidement la vitalité des zoospores.

Le 28 avril, on observe à nouveau ces plantules et l'on remarque que la Chytridinée s'est multipliée abondamment dans la zone d'accroissement et dans la zone pilifère.

Cette extension du parasite ne peut pas être due à une émission de zoospores, puisque ces dernières eussent été infailliblement tuées par l'aldéhyde formique; on ne peut donc l'expliquer que par une véritable multiplication interne.

Une autre preuve de cette multiplication interne est fournie par ce fait, constaté à différentes reprises et fort curieux, qu'en hiver, on n'observe que très rarement des sporanges arrivés à complet développement, c'est-à-dire présentant des zoospores bien différenciées. Malgré l'absence de ces organes de propagation, l'extension du parasite s'effectuait normalement.

Quant à la façon dont l'*Asterocystis* se multiplie ainsi, au sein des tissus, j'en suis réduit à des hypothèses.

Il est, en effet, très difficile de suivre l'évolution du parasite sous le microscope. Sa petitesse et sa transparence le rendent invisible à l'aide des objectifs faibles et moyens et, d'autre part, l'épaisseur des racines mises en observation exclut l'emploi de forts grossissements.

Toutefois, l'examen répété, à des intervalles très rapprochés, de plantules d'âge croissant et récemment inoculées tendrait à me faire admettre que, des premiers plasmas, se détachent un certain nombre de portions mobiles qui émigrent dans les cellules saines, vers lesquelles leur chimiotaxisme les attire en en perçant les membranes ou en s'insinuant dans les communications protoplasmiques.

S'il en était ainsi, on pourrait voir dans ces petites masses protoplasmiques des éléments très analogues aux myxamibes de certains Myxomycètes et notamment des *Plasmodiophora* et ce fait constituerait une preuve nouvelle des affinités qui rapprochent si étroitement ces dernières de beaucoup de Chytridinées, opinion déjà émise d'ailleurs par Cornu, Woronine, etc.

Ces corps protoplasmiques nus, une fois fixés dans leur cellule nourricière, y grandissent en continuant à présenter de lents mouvements amiboïdes. Ils sont granuleux, dépourvus de membrane propre et rappellent absolument le *plasmidium* des Myxomycètes parasites. Comme ces derniers, ils sont très riches en glycogène (fig. 1a, et a'; fig. 2 b de la planche).

Après quelque temps les plasmodies s'entourent d'une membrane, tandis que leur contenu devient écumeux (fig. 1 b et 2 c) et se fragmente en petits corps arrondis, en zoospores (fig. 1 b et 2 a).

Celles-ci, à un moment donné, s'échappent du zoosporange, par une ouverture latérale, rapprochée d'une des extrémités, et qui pourrait bien être produite sous la pression d'une papille dissolvant la membrane de la cellule nourricière.

Les zoospores sont, comme nous l'avons dit, dans la diagnose, d'abord globuleuses, puis ovoïdes; elles ne présentent qu'un cil (fig. 3 a et b).

Répondues dans le milieu aquatique ambiant, elles servent, comme nous allons le voir, à l'extension du parasite au dehors.

La multiplication interne de l'*Asterocystis* est, sur le Lin, tellement active, que souvent, après quelque temps, il n'est plus possible de trouver une cellule du parenchyme cortical de la racine qui en soit indemne. De même, fréquemment les poils radiculaires sont bourrés de plasmas plus ou moins avancés dans leur transformation en sporanges ou en spores durables. En revanche, le cylindre central de la racine ne m'a jamais présenté de parasite.

La conséquence directe de la multiplication interne du parasite dans les racines, est l'arrêt de l'accroissement de ces dernières.

Je m'en suis assuré en plaçant des plantules fortement parasitées dont les racines avaient été soigneusement mesurées, dans de grands tubes contenant du liquide minéral. Bien que les conditions de développement fussent favorables, et que notamment, la nutrition fut abondante, des mensurations successives ont permis de constater qu'aucune élongation de la racine principale ne s'était produite.

Chez les plantes dont la racine est ainsi arrêtée dans son développement, il se produit des racines secondaires. Celles-ci semblent être moins aptes à l'infection que les racines principales.

Cependant, après un accroissement rapide qui a laissé leurs membranes cellulaires amincies, elles peuvent très bien être envahies par l'*Asterocystis* et avoir à leur tour leur allongement arrêté.

En milieu liquide, on peut voir ainsi des plantules former plusieurs générations de racines qui sont successivement envahies par le parasite. Ces jeunes lins peuvent rester vivants très longtemps, malgré la faiblesse de leur appareil racinaire, celui-ci baignant directement dans la solution nutritive. Nous verrons plus loin que, dans les cultures, l'arrêt du développement des racines et l'envahissement des poils racinaires peuvent avoir, sur la santé des plantules, les plus désastreuses conséquences et déterminer, rapidement, la brûlure, avec ses symptômes caractéristiques.

Extension de l'Asterocystis au dehors.

Cette extension a, comme agents, les zoospores émises dans le milieu ambiant.

Elle s'accomplit d'autant plus aisément que ces organes trouvent, dans ce dernier, des conditions mieux adaptées à leur genre de vie, essentiellement aquatique.

Elle s'opère avec la plus grande facilité dans l'eau. Dans le sol bien arrosé elle est également très active, comme en témoigne l'expérience suivante :

Au centre d'une grande terrine renfermant de la terre préalablement stérilisée à l'autoclave pour la priver avec certitude de tout germe d'*Asterocystis* et ensemencée ensuite de Lin, on a repiqué quelques plantules fortement atteintes. L'examen microscopique des plantes de semis a montré que la dissémination des zoospores émises s'était effectuée en 24 jours dans un rayon de 20 centimètres environ du centre.

En terre sèche, au contraire, l'humidité qui sert de véhicule aux zoospores faisant défaut, l'extension du parasite se trouve absolument entravée.

C. Conservation du parasite.

La conservation de l'*Asterocystis* s'effectue par l'intermédiaire d'organes très bien adaptés à ce but : les spores durables.

Ces organes procèdent également des plasmodies granuleuses décrites précédemment. Celles-ci sont tantôt isolées, tantôt nombreuses (jusque 12) dans la même cellule nourricière. Cette circonstance, ainsi que les dimensions comparées des plasmas et des cellules qui contiennent ces derniers, déterminent la forme des spores durables.

S'ils sont nombreux dans une grande cellule, ils en occupent entièrement la cavité et donnent des spores arrondies (fig. 4 b). Si, au contraire, une spore est seule dans une cellule allongée, elle se moule en quelque sorte sur cette dernière, devient elliptique et acquiert de grandes dimensions (fig. 5).

La transformation des plasmodies en spores durables s'effectue de la façon suivante :

Leur protoplasme, de granuleux qu'il était, devient nettement écumeux (fig. 4 a, a), elles s'entourent d'une membrane qui s'épaissit graduellement et prend une forme étoilée tout en conservant un contour régulièrement circulaire ou elliptique (fig. 4 b et c).

Arrivées à leur complet développement, elles présentent, en leur centre, une masse globuleuse ou ellipsoïde qui ne la remplit pas en entier et dans laquelle la présence, en abondance, de matière grasse peut être aisément mise en évidence par l'acide osmique. Le glycogène, au contraire, y fait défaut.

Cette formation des spores durables exige beaucoup plus de temps que la différenciation des plasmodies en zoosporanges, aussi ces organes de conservation apparaissent-ils toujours plus tard (12 à 15 jours). On les trouve, de préférence, dans les parties déjà vieilles des racines où les zoosporanges vidés ne sont déjà plus visibles.

Il nous reste à envisager quel est leur mode de germination.

Si l'on met à macérer, dans l'eau, des racines de Lin contenant des spores durables, on constate que ces dernières se gonflent bientôt et que les saillies qui les caractérisent s'effacent rapidement et disparaissent (fig. 6 a). Le globule central se résout en un certain nombre de gouttelettes huileuses, de dimensions très inégales, qui restent groupées au centre (fig. 6 b). Peu après, ces gouttelettes se fondent dans le protoplasme qui reprend l'aspect écumeux et se fragmente ensuite en zoosporangies (fig. 6 c).

Je n'ai jamais pu assister à l'émission de ces zoospores ; je crois d'ailleurs que le voisinage d'une plante hospitalière, inoculable, exerçant sur elles une attraction chimiotaxique, est nécessaire. Mais ce que l'on

observe aisément dans les débris de racines malades ayant servi à infecter de jeunes lins, c'est la présence de spores durables absolument vides, ne présentant ni globule central, ni granulations (fig. 6 d).

J'ai tout lieu de croire qu'il s'agit là de spores de conservation ayant émis leur contenu ; l'épaisseur de leurs membranes exclut, en effet, toute confusion possible avec des zoosporanges vidés.

Les spores durables germent donc en donnant des zoospores qui ne sont probablement émises que lorsque le voisinage d'une plante hôte les y sollicite.

J'ai signalé, plus haut, ce fait intéressant, qu'en hiver, la différenciation des plasmas en zoosporanges ne s'effectue, en général, pas complètement. En revanche, la formation des spores durables continue son cours normal.

J'ai remarqué également d'une façon constante en été, qu'en milieu liquide, les zoosporanges prédominent ; les spores durables sont, au contraire, plus rares ; dans le sol, au contraire, la forme de propagation est moins abondante tandis que les organes de conservation pullulent.

L'*Asterocystis* s'adapte donc au milieu ambiant dont les facteurs retiennent, comme nous allons l'étudier maintenant, d'une façon très énergique sur son évolution.

CHAPITRE V.

Influence du milieu sur l'*Asterocystis*.

Connaissant le mode d'existence normale de l'*Asterocystis*, nous allons étudier successivement l'action des différents facteurs physiques et chimiques du milieu sur son développement.

1. — Influence de la lumière.

La lumière ne semble pas avoir d'influence sur le développement parasitaire de l'*Asterocystis*.

L'expérience suivante le montre à l'évidence :

Des jeunes lins sains, de 15 jours d'âge, placés dans des tubes de culture avec des plantules malades, se sont inoculés au bout du même temps (3 jours) et avec la même intensité, sous un globe noir et dans un endroit éclairé présentant la même température (16° C).

2. — Influence de la chaleur.

On a préparé 12 tubes contenant chacun deux plantules saines, de 15 jours, et deux plantules infectées, le tout plongeant dans la solution de Sachs.

Ces tubes ont été placés le 9 avril 1900, à 2 heures, à des températures variables : 25°, 20°, 15° et 12° C.

Le parasite fit son apparition, dans les lins sains, aux époques suivantes :

à 25°	le 11 à 4 heures soir,	soit après 2 jours et 2 heures
20°	12 à 8 heures matin,	» 2 » 16 »
15°	12 à 8 heures soir,	» 3 » 4 »
12°	16	» 7 jours.

Enfin des cultures de Lin faites en hiver, mises à germer au laboratoire et placées ensuite dans un endroit où la température variait de 3° à 10° C, restèrent des mois entiers sans montrer aucune trace de parasite, bien qu'elles fussent abondamment pourvues de macération de racines infectées.

L'influence de la chaleur sur le développement du champignon de la brûlure, est donc très manifeste : elle stimule énergiquement sa virulence.

Cette action de la chaleur doit être également envisagée sous le rapport de la vitalité des germes du parasite.

Toutefois, la brièveté de l'existence des zoospores, quelques minutes, ne permet pas d'instituer des essais *in vitro* sur leur résistance à la chaleur.

Il n'en est pas de même des spores durables dont la sensibilité a été étudiée par le procédé que voici :

Dans des tubes de 5 millim. d'épaisseur, on prend quelques centimètres cubes du produit du broyage, dans l'eau, de racines de Lin de l'année précédente abondamment pourvues d'organes de conservation ; ces tubes sont ensuite maintenus aux températures suivantes :

1—50°	pendant 5 minutes
25—0°	» 10 »
3—50°	» 15 »
4—60°	» 5 »
5—60°	» 10 »
6—60°	» 15 »
7—70°	» 5 »
8—70°	» 10 »
98—0°	» 2 »
10—80°	» 5 »
11—80°	» 10 »
12—90°	» 2 »
13—90°	» 5 »
14—90°	» 10 »
15—100°	» 2 »
16—100°	» 5 »

Les spores durables qui ont été ainsi soumises à l'action de la chaleur sont ensuite mélangées au liquide nutritif contenu dans des cristallisoirs ordinaires recouverts d'une étamine sur laquelle on sème du Lin.

Après 20 jours de développement à 15° et 17°, l'examen microscopique a donné les résultats consignés dans le tableau ci-après :

N ^{os}	DÉSIGNATION DES CULTURES.	RÉSULTATS DE L'INSPECTION.	
		Positifs.	Négatifs.
1	Spores exposées à 50° pendant 5 min.	Inoculés	
2	» 50° » 10 »	Id.	
3	» 50° » 15 »	Id.	
4	» 60° » 5 »	Id.	
5	» 60° » 10 »	Id.	
6	» 60° » 15 »	Id.	
7	» 70° » 5 »	Id.	
8	» 70° » 10 »		Non inocués.
9	» 80° » 2 »	Id.	
10	» 80° » 5 »		Id.
11	» 80° » 10 »		Id.
12	» 90° » 2 »		Id.
13	» 90° » 5 »		Id.
14	» 90° » 10 »		Id.
15	» 100° » 2 »		Id.
16	» 100° » 5 »		Id.

On voit donc que, dans l'eau, les spores durables de l'*Asterocystis* résistent pendant 5 minutes à une température de 70° et 2 minutes à 80°.

Nul doute que, en air sec, leur résistance soit beaucoup plus grande encore, comme c'est le cas, du reste, pour toutes les cellules vivantes.

3. — Action de l'humidité et de l'aération.

L'action de l'humidité sur le développement d'un organisme dont les agents de propagation mènent une vie aquatique s'explique d'elle-même.

La petite expérience suivante la met, au surplus, bien en évidence :

Le 30 avril, on a semé du Lin dans deux pots, A et B, contenant du sable fin, auquel était mélangé le produit du broyage de quelques racines malades séchées.

Le 10 mai, alors que les plantules ont 5 centimètres de haut et sont arrivées à peu près au moment où leur infection devient possible, le pot A a été placé dans une soucoupe contenant de l'eau destinée à main-

tenir une saturation constante du sable de culture ; le pot B, au contraire, ne reçoit en arrosements que la quantité d'eau strictement nécessaire à la vie du Lin.

Le 13 mai, le parasite se montre déjà abondant dans la culture A, tandis que la culture B n'en présente pas trace.

On pourrait se demander si l'aération insuffisante du sol, dans la culture A, n'a pas été la cause d'un affaiblissement de l'hôte ayant pour conséquence l'invasion du parasite.

Les deux éléments, aération du sol et humidité sont, en effet, très difficiles à séparer dans des expériences de ce genre.

J'ai cherché à mettre davantage en évidence la part qui revient à l'aération, dans les résultats ci-dessus, en employant le dispositif suivant :

Quatre petits cylindres de verre, de 15 centim. de long et de 2 centim. de large, sont fermés à leur partie inférieure à l'aide d'un bouchon percé d'ouvertures en nombre variable. Sur ce bouchon, on dispose une couche, d'épaisseur inégale, de scories lavées de dimensions partout sensiblement les mêmes, constituant drainage. Le reste du tube est rempli de sable. Dans ce sable on repique quatre plantules saines âgées de 15 jours et 2 plantules fortement atteintes que l'on sépare des premières à l'aide d'un fil de couleur pour éviter toute confusion.

Le cylindre 1 est complètement bouché à la partie inférieure et sans drainage.

Le n° 2 est fermé par un bouchon à 1 trou, portant 1 centim. de drainage

" 3	"	"	"	2	"	4	"	"
" 4	"	"	"	4	"	6	"	"

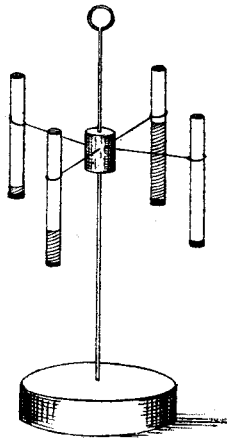


Fig. 4.

Afin de permettre un libre accès de l'air par les ouvertures pratiquées dans les bouchons et d'assurer l'écoulement des eaux d'arrosage, les cylindres étaient suspendus comme l'indique la fig. ci-jointe.

Journellement, les cultures recevaient la même quantité de liquide minéral nutritif.

L'examen microscopique a montré que l'infection n'était pas sensiblement influencée par l'aération ; conclusion qui a été confirmée par une seconde série d'essais effectués dans les mêmes conditions.

L'aération du sol semble donc ne pas jouer un rôle important dans le développement du champignon de la brûlure. Les résultats obtenus, dans l'expérience en sable saturé, doivent être mis uniquement sur le compte de l'humidité. Cette

dernière est donc le facteur qui agit d'une façon prépondérante sur l'*Asterocystis* ; c'est une condition *sine qua non* de l'infection. Nous verrons plus loin que le sort des plantules parasitées dépend également, avant tout, des conditions d'humidité ou de sécheresse qu'elles trouvent dans le sol.

4. — Influence de la réaction du milieu.

La réaction du sol a, sur l'apparition des maladies parasitaires des végétaux, une influence souvent très remarquable. Ainsi, on sait qu'une réaction alcaline favorise l'éclosion des maladies d'origine bactérienne, tandis qu'une légère acidité du milieu entrave l'évolution de ces dernières et, au contraire, stimule la virulence d'autres parasites, les *Sclerotinia*, par exemple.

C'est pourquoi il importait d'étudier comment le champignon de la brûlure se comporte à cet égard.

Influence de l'acidité.

Dans une première série d'essais, on a fait germer le Lin dans une solution minérale additionnée de doses croissantes d'acide sulfurique. Afin d'éviter que l'acide ajouté ne soit neutralisé partiellement par les sels basiques du liquide nutritif (par le phosphate tricalcique notamment), on a modifié celui-ci comme suit :

Eau	1000 gr.
Nitrate de sodium	1 gr.
Sulfate de calcium	0,5 "
Sulfate de magnésium	0,5 "
Sulfate de potassium	0,5 "
Phosphate de potassium	0,5 "
Sulfate de fer	0,01 "
Chlorure de sodium	0,5 "

Voici les doses d'acide employées dans les diverses cultures :

1. Liquide minéral additionné de 1/100 d'acide sulfurique
2. " " 1/200 "
3. " " 1/1000 "
4. " " 1/2000 "
5. " " 1/10000 "
6. " sans addition d'acide (témoins)

Ces liquides étaient contenus dans des cristallisoirs de 12 centim. de diamètre, recouverts d'une étamine sur laquelle on semait le Lin.

A chaque culture, était ajouté le produit du broyage de quelques racines malades.

L'observation de ces cultures montre que l'acidité du milieu est très défavorable à la germination du Lin.

Dans les cultures 1 et 2, la germination débute mais ne se poursuit pas. Dans le n° 3, elle est encore très incomplète ; lorsque la racine se

forme, elle ne s'enfonce pas directement dans le liquide sous-jacent, mais accomplit un certain trajet horizontal avant d'obéir au géotropisme. Les plantules, très chétives, meurent bientôt après s'être recouvertes d'abondants gazonnements de *Penicillium glaucum*.

La culture 4 n'est pas encore normale. La germination y est lente et imparfaite. Plus tard cependant, les plantules se remettent et poussent ensuite normalement.

Le n° 5 se développe aussi bien que le témoin.

Quant au parasite, il fait absolument défaut partout, sauf chez le témoin où il est assez abondant.

Dans une seconde série d'expériences, on a fait agir la réaction acide, non plus dès la germination, mais sur des plantules de 15 jours.

On s'est servi de petits tubes, à fond plat, de 12 à 15 centim. de long et de 2 à 3 centim. de large, fermés à leur partie supérieure par un bouchon percé de deux ouvertures, dont l'une, centrale, recevait les plantules à infecter, l'autre, latérale, des jeunes lins fortement atteints.

Le 9 mai, on a disposé de la sorte 5 tubes :

N° 1	avec liquide minéral additionné de 1/1000	d'acide sulfurique
2	»	» 1/2000
3	»	» 1/5000
4	»	» 1/10000
5	sans addition d'acide (témoin)	

Dans le tableau suivant, on a indiqué par des chiffres les plantes mortes sous l'action de l'acide, chaque culture en comprenant douze saines à l'origine :

Nos	DÉSIGNATION DES CULTURES.	PLANTULES MORTES AU				
		12 mai	14	16	17	20
1	Liquide minéral plus $\frac{1}{1000}$ d'acide sulfur.	6	6			
2	» $\frac{1}{2000}$ »	10	2			
3	» $\frac{1}{5000}$ »	1	4	1	5	3
4	» $\frac{1}{10000}$ »				1	2
5	Témoin.					

L'immersion dans les liquides 1, 2, 3, a donc été fatale à toutes les plantules de ces cultures. A la dose de 1/10000, l'acidité produit encore une mortalité de 3 individus sur 12.

Quant au parasite, il fait défaut chez tous les individus restés vivants et, chose curieuse, également chez le témoin.

Vérifiant la réaction du liquide de ces cultures témoins, j'ai constaté qu'elle était légèrement acide, acidité due à l'emploi, dans la constitution de la solution, du phosphate de potasse. Cette acidité, extrêmement faible, avait suffi pour entraver le développement de l'*Asterocystis*; après neutralisation le champignon se mit à végéter normalement.

Afin de déterminer exactement la limite de sensibilité des zoospores de l'*Asterocystis* à l'acidité, une nouvelle série de cultures fut entreprise, en substituant, dans la composition du liquide, le phosphate de soude, dont la réaction est neutre, au phosphate de potasse.

Les doses d'acide sulfurique employées étaient les suivantes :

1. Liquide minéral additionné de 1/10000 d'acide sulfurique
2. » » 1/20000 »
3. » » 1/50000 »
4. sans acide (témoin).

La mise en culture eut lieu le 29 mars, dans les mêmes conditions que précédemment.

L'apparition du parasite, dans les plantules qui toutes restèrent vivantes, eut lieu aux époques ci-après :

N ^{os}	Désignation des cultures.	9 avril.	18 avril.	20 avril.	Observations.
1	Liq. min. pl. 1/10000 d'ac. sulf.				
2	» 1/20000 »			par.	Très peu abondant.
3	» 1/50000 »		par.		
4	Témoin		par.		

On peut conclure de ces différents essais que *le Lin est très sensible à l'acidité du milieu, mais que son parasite y est plus sensible encore.*

Si l'on compare les résultats obtenus dans les deux séries d'expériences, on constate que les plantules soumises depuis la germination à l'action du milieu acide résistent à des doses beaucoup plus élevées que celles qui y sont plongées brusquement à l'âge de 15 jours. Il se produit dans le premier cas, une véritable adaptation qui les met à même de lutter contre les conditions défavorables ambiantes.

Acide tartrique.

Des expériences similaires ont été exécutées en remplaçant l'acide sulfurique par l'acide tartrique.

Le 12 février, on a mis en culture des jeunes lins de 13 jours, dans les liquides suivants :

- N^o 1 Liquide minéral additionné de 1/100 d'acide tartrique
 » 2 " " " 1/200 "
 » 3 " " " 1/400 "
 » 4 " " " 1/1000 "
 » 5 " " " 1/2000 "
 » 6 " " " 1/10000 "
 » 7 Témoin sans addition d'acide

Le nombre des plantules mortes sous l'influence de l'acide, est consigné dans le tableau suivant pour chaque culture, comprenant 12 exemplaires.

	Désignation des cultures.	14 fév.	20 fév.	2 mars.	12 mars.
1	Culture avec 1/100 d'acide tartrique.	6	6		
2	" " 1/200 " "	12			
3	" " 1/400 " "	12			
4	" " 1/1000 " "	12			
5	" " 1/2000 " "		1	1	
6	" " 1/10000 " "				1
7	" témoin.				

Quant au parasite, il ne s'est pas manifesté dans les cultures 1, 2, 3, 4, 5; dans la culture 6, il était très peu abondant; par contre, il pullulait dans le témoin.

L'action de l'acide tartrique est donc parallèle à celle de l'acide sulfurique, elle est toutefois un peu moins énergique et sur le Lin et sur son parasite.

Action de l'alcalinité.

Les essais sur l'alcalinité ont été conduits de la même façon que les précédents.

On a fait, tout d'abord, germer du Lin dans la solution minérale nutritive additionnée des doses ci-après de potasse (hydrate de potassium) :

1. Liquide minéral additionné de 1/100 de potasse
2. " " " 1/200 "
3. " " " 1/1000 "
4. " " " 1/2000 "
5. " " " 1/10000 "
6. " " sans addition de potasse (témoin).

Tandis qu'en 1 et 2 aucune germination ne s'est manifestée, en 3 et 4 elle s'effectue avec une légère avance sur le témoin. La culture 5 est très semblable à ce dernier.

Le parasite se montre exceptionnellement abondant dans les cultures 4, 5 et dans le témoin; il est rare dans le n° 3.

Dans une seconde série, on a repiqué, le 14 février 1899, des jeunes lins de 14 jours d'âge, dans des tubes contenant les solutions ci-après désignées :

1. Liquide minéral additionné de 1/100 de potasse
2. " " " 1/200 "
3. " " " 1/1000 "
4. " " " 1/2000 "
5. " " " 1/5000 "
6. " " " 1/10000 "
7. " " " 1/20000 "
8. " " sans potasse (témoin).

Les plantules des nos 1, 2, 3, moururent rapidement, les autres survécurent. Le parasite se montra aux dates suivantes :

	Nature des cultures.	22 fév.	25 fév.	2 mars.	Observations.
1	Culture avec 1/100 de potasse				Culture morte.
2	" 1/200 "				Id.
3	" 1/1000 "				Id.
4	" 1/2000 "				Ne s'est pas inocul.
5	" 1/5000 "			par.	Par. très abondant.
6	" 1/10000 "		par.		Id.
7	" 1/20000 "	par.			Id.
8	" témoin	par.			Par. peu abondant.

L'action de l'alcalinité est donc bien différente de celle de l'acidité sur le Lin et sur l'*Asterocystis*. *Le Lin résiste relativement bien aux alcalis; de même les zoospores de l'Asterocystis supportent facilement une dose de 1/5000 de potasse dans le milieu nutritif.*

Cette alcalinité, faible il est vrai, semble déterminer une végétation particulièrement luxuriante du parasite.

Cette constatation est à rapprocher de ce fait, fréquemment observé par les praticiens, qu'après un chaulage, la brûlure sévit souvent avec intensité. Toutefois, j'ai hâte de dire que cette action de la chaux peut être d'une toute autre nature. Nous allons voir, du reste, bientôt, si cet élément agit, en l'occurrence, comme alcali stimulant la virulence de l'*Asterocystis* ou comme aliment en excès, affaiblissant la vitalité du Lin.

5. Action des éléments fertilisants.

Les recherches de ces dernières années et, notamment les récentes études de Laurent (1), ont montré le rôle important que peut jouer la nutrition minérale dans le développement des maladies parasitaires des végétaux.

Le parasite de la brûlure, vivant en endophyte dans le suc cellulaire des organes absorbants du Lin, semble devoir être influencé directement par la nature et la proportion des éléments minéraux puisés dans le sol par la plante.

Afin de déterminer l'action de la nutrition minérale, et notamment l'action des éléments fertilisants les plus importants, il avait été organisé au printemps de 1898, dans les environs de Courtrai, un champ d'expérience sous la direction de M. l'agronome Van den Wouwer.

Malheureusement, les conditions météorologiques de l'année furent tellement favorables à l'extension de la maladie que celle-ci sévit en abondance et indistinctement sur toutes les parcelles. On put constater, cependant, que la parcelle avec excès d'azote avait été atteinte plus rapidement et d'une façon plus meurtrière que les autres et, qu'en revanche, celle avec excès d'acide phosphorique avait résisté partiellement.

Cet insuccès me détermina à faire des essais de laboratoire par la méthode si pratique des cultures aqueuses.

Le 13 avril 1900, on a semé, dans 20 cristallisoirs, 2 décigrammes de graines de Lin.

Ces cristallisoirs renfermaient les liquides suivants :

A 1	Liquide minéral ordinaire sans azote.
A 2	» » plus 0,5 % de nitrate ammonique
A 3	» » plus 1 % »
B 1	» » sans acide phosphorique
B 2	» » plus 0,5 % de phosphate de sodium
B 3	» » plus 1 % »
C 1	» » sans potasse
C 2	» » plus 0,5 % de chlorure de potassium
C 3	» » plus 1 % »
D 1	» » sans chaux
D 2	» » plus 0,5 % de chlorure de calcium
D 3	» » plus 1 % »
E 1	» » sans soude
E 2	» » plus 0,5 % de chlorure de sodium
E 3	» » plus 1 % »
F 1	» » sans fer
F 2	» » plus 0,05 % de sulfate de fer
F 3	» » plus 0,1 % »
G	» (témoin)
H	Eau distillée

(1) EM. LAURENT. Recherches expérimentales sur les maladies des plantes. Ann. de l'Institut Pasteur, déc. 1898.

La matière infectieuse consistait en racines malades broyées.

Afin d'écarter l'influence si importante de la réaction, toutes les solutions ont été soigneusement neutralisées.

Les cultures ont toutes été placées dans les mêmes conditions, dans un endroit bien éclairé, à la température moyenne de 14° C.

A partir du quinzième jour, on a examiné, tous les deux jours, quelques exemplaires de chaque culture.

On trouvera, dans le tableau ci-après, les résultats de cet examen :

L'inspection de ces résultats conduit aux déductions suivantes :

1° Le Lin est très sensible à la concentration des liquides nutritifs; il meurt rapidement, quand la proportion de matières minérales solubles dépasse, dans ce dernier, 0,5 0/0.

2° Le Lin cultivé en eau distillée ou dans les solutions minérales incomplètes, dépourvues notamment d'acide phosphorique, de potasse, de chaux et de soude, est parasité dès le 20^e jour, à la température moyenne de 14°, c'est-à-dire quelques jours plus tôt que dans les cultures témoins en liquide minéral complet.

Le manque d'azote et de fer ne détermine pas cette plus grande réceptivité.

3° L'excès d'azote active légèrement le développement du parasite.

4° L'excès de potasse, de chaux, en tant qu'aliments, semble n'avoir aucune influence.

5° Enfin, l'excès d'acide phosphorique confère au Lin une immunité relative à l'égard du parasite de la brûlure

On voit que l'influence de la nutrition minérale du Lin, sur le développement de l'*Asterocystis*, n'est pas, en somme, bien considérable. Certains engrais, en retardent quelque peu l'apparition, d'autres la hâtent légèrement, aucun ne l'empêche complètement.

On ne peut donc pas chercher dans une composition défectueuse du sol et notamment, comme on a voulu le faire, dans un manque de potasse, la cause déterminante de la brûlure, ni espérer en empêcher la réapparition par l'emploi de telle ou telle matière fertilisante.

On doit cependant se garder d'employer un excès d'azote et veiller, d'autre part, à donner au sol suffisamment d'acide phosphorique

6. — Action des fongicides.

Il m'a paru indispensable, pour terminer cette étude biologique du parasite de la brûlure, de rechercher quelle était sa sensibilité, ou plus exactement la sensibilité de ses zoospores, à l'action de divers fongicides, notamment des sels de cuivre et des sels de fer que l'on pourrait être tenté d'employer pour combattre la maladie.

Influence du sulfate de cuivre.

Dans des cristallisoirs contenant du liquide minéral, on a ajouté les doses suivantes de sulfate de cuivre :

DESIGNATION DES CULTURES	RÉSULTATS DES CULTURES							OBSERVATIONS	
	28 avril.	30 avril.	1 mai.	3 mai.	5 mai.	7 mai.	9 mai.		12 mai.
A1	Culture sans azote.	mourante	morte		parasite	parasite	parasite	parasite	Par. abondant
A2	» plus 0.5 % nitrate ammonique.				parasite	parasite	parasite	parasite	Id.
A3	» plus 1 % id.								
B1	» sans acide phosphorique.				parasite	parasite	parasite	parasite	Par. abondant
B2	» plus 0.5 % phosphate de soude.								Très rare
B3	» plus 1 % id.								
C1	» sans potasse.				parasite	parasite	parasite	parasite	Par. abondant
C2	» plus 0.5 % chlorure de potassium								Id.
C3	» plus 1 % id.								
D1	» sans chaux.				parasite	parasite	parasite	parasite	Par. abondant
D2	» plus 0.5 % chlorure de calcium.				parasite	parasite	parasite	parasite	Id.
D3	» plus 1 % id.								
F1	» sans soude.				parasite	parasite	parasite	parasite	Par. abondant
F2	» plus 0.5 % chlorure de sodium.								Id.
F3	» plus 0.1 % id.								
F1	» sans fer.				parasite	parasite	parasite	parasite	Par. abondant
F2	» plus 0.05 % sulfate de fer.				parasite	parasite	parasite	parasite	Id.
F3	» plus 0.1 % id.				parasite	parasite	parasite	parasite	Id.
G	» liqueur minérale normale.								Id.
II	» eau distillée.				parasite	parasite	parasite	parasite	Id.

1.	Liquide minéral additionné de	1/1000	de sulfate de cuivre	
2.	"	"	1/2000	"
3.	"	"	1/5000	"
4.	"	"	1/10000	"

Chacune de ces cultures est abondamment pourvue de spores durables d'*Asterocystis*. Les zoospores qui en seront issues vont donc se trouver en contact avec des doses variées de fongicide.

La mise en germination des graines a eu lieu le 17 mai.

Voici les observations faites ultérieurement sur les cultures :

N° 1. Germination très incomplète (40 0/0) et retardée de 4 jours, comparativement au témoin. Le 7 juin, les plantules ont 7 centimètres de haut. Elles ne présentent aucune trace de parasite.

N° 2. Germination légèrement retardée, mais complète. Le 7 juin, les plantules ont 10 centimètres, sont normales et ne présentent pas de parasite.

N° 3. Germination et développement normaux. Pas de parasite.

N° 4. Culture normale. Parasite très peu abondant.

Comme on le voit, le Lin n'est pas très sensible à l'action nocive des sels cuivriques. Son parasite, au contraire, ne résiste que très faiblement à l'état de zoospores, à l'influence de ces derniers.

Action du sulfate de fer.

Des essais analogues ont été exécutés à l'aide du sulfate de fer aux concentrations suivantes :

1.	Liquide minéral additionné de	1/100	de sulfate de fer	
2.	"	"	1/300	"
3.	"	"	1/1000	"
4.	"	"	1/2000	"
5.	"	"	1/5000	"
6.	Témoin.			

Dans le n° 1, germination et développement sont nuls.

N° 2. Germination très incomplète (35 0/0) et retardée. Les radicules, très grêles, ne pénètrent que tardivement dans le liquide, les plantules meurent bientôt sans présenter de parasite.

N° 3. Germination incomplète (75 0/0) et en retard de trois jours sur le témoin.

Les plantules restent chétives et meurent prématurément, sans être inoculées.

N° 4. Germination complète mais légèrement retardée. Après 18 jours l'*Asterocystis* se montre en abondance.

N° 5. Germination et développement normaux, beaucoup d'*Asterocystis*; de même que dans le témoin.

Comme on le voit, les sels de fer sont, à doses égales, plus nuisibles que les sels de cuivre à la végétation du Lin, mais en revanche, exercent sur l'*Asterocystis* une action fongicide moins énergique.

La supériorité du sulfate de cuivre, comme moyen de combattre la brûlure, m'a engagé à en approfondir l'action et à en étudier l'efficacité non plus en culture aqueuse, mais dans les conditions de la pratique, dans le sol.

Le 15 août 1899, on a semé 50 graines de Lin, dans 15 pots identiques, contenant chacun 1 kilogramme de terre de nature variée et additionnée de doses progressives de sulfate de cuivre.

Les graines ont été recouvertes d'une même épaisseur de terre dans les quinze pots. A cette terre de couverture, étaient mélangées des racines de Lin brûlé contenant de très nombreuses spores durables d'*Asterocystis*.

Voici la désignation des cultures :

Série A. Sol très sablonneux.

1. Pot contenant 1 gr. de sulfate de cuivre par kilog. de terre.
2. » » 2 » » » » »
3. » » 4 » » » » »
4. » » 10 » » » » »
5. Pot témoin ne contenant pas de sulfate de de cuivre.

Série B. Sol très calcaire.

6. Pot contenant 1 gr. de sulfate de cuivre par kilog. de terre
7. » » 2 » » » » »
8. » » 4 » » » » »
9. » » 10 » » » » »
10. Pot témoin ne contenant pas de sulfate de cuivre.

Série C. Sol argileux.

11. Pot contenant 1 gr. de sulfate de cuivre par kilog. de terre
12. » » 2 » » » » »
13. » » 4 » » » » »
14. » » 10 » » » » »
15. Pot témoin ne renfermant pas de sulfate de cuivre.

Tous les pots ont été strictement isolés, ils ont reçu les mêmes soins généraux et les mêmes arrosements réguliers

La germination a présenté les caractères suivants :

Dans les pots 1, 2, 3, 5, de la première série, 6, 7, 8, 9, 10, de la deuxième et 11, 12, 13, 15 de la troisième, la germination a été complète et régulière. En revanche, dans le pot 4 en sol sablonneux elle a été irrégulière et imparfaite. Dans le pot 14, la levée a été, pour ainsi dire, nulle, les quelques plantules qui apparurent moururent rapidement.

Comme on le voit, la germination du Lin n'est pas influencée par des doses de 1 à 4 grammes de sulfate de cuivre par kilogramme de terre. Il faut atteindre la dose de 10 grammes par kilogramme de terre pour

observer une action nuisible en sol sablonneux et surtout en sol sablonneux pauvre en calcaire.

En sol calcaire, au contraire, une grande partie de sulfate de cuivre a été insolubilisée à l'état d'hydrate cuivrique et ainsi rendue inoffensive pour le Lin.

La résistance du Lin aux sels cuivriques, déjà si notable en solution aqueuse est, comme il fallait s'y attendre d'ailleurs, ici, beaucoup plus remarquable encore. Cela tient à diverses causes mais surtout aux phénomènes complexes de pouvoir absorbant chimico-physique du sol qui s'oppose, sans cesse, à la pénétration des substances minérales dans la circulation végétale.

Pour ce qui regarde l'*Asterocystis*, l'expérience a donné les résultats suivants. L'observation des racines a été faite à deux reprises, le 5 et le 23 septembre.

Dès le 5 septembre, le parasite pullule dans les pots témoins 5, 10 et 15, à l'état de sporanges et plus tard de spores durables.

Il se montre, en minime quantité et presque exclusivement à l'état de spores durables dans les pots 1 et 6. Dans le n° 2, il n'y a rien encore, le 5 septembre; le 23 septembre, sur 5 plantes examinées, l'une d'elles présente quelques spores durables.

Le n° 7 présente également quelques-uns de ces corps reproducteurs sur trois plantes examinées.

Enfin les n°s 3 et 4, 8 et 9, 11, 12, 13, 14, ne montrent aucune trace de parasite.

On peut en conclure qu'en sols sablonneux et calcaires une dose de 2 à 4 grammes de sulfate de cuivre, par kilogramme de terre, est nécessaire pour empêcher le développement de l'*Asterocystis*. En sol argileux, pauvre en chaux une quantité de 1 à 2 grammes suffit pour arriver au même résultat.

Nous examinerons plus loin s'il est possible de tirer de ces divers résultats une application réalisable dans la pratique agricole.

CHAPITRE VI.

Considérations culturelles.

Après avoir mis en lumière, par des expériences de laboratoire, les principaux caractères biologiques du champignon de la brûlure ainsi que les modifications que divers agents du milieu font subir à son mode d'existence, nous pouvons nous transporter dans le domaine de la pratique et rechercher si les faits observés dans la culture du Lin y trouvent une interprétation rationnelle et satisfaisante.

1. — Marche de la maladie dans les cultures.

Étudions la marche de la maladie à la lumière des données scientifiques acquises sur le parasite qui l'occasionne.

La maladie existe dans nos Flandres, dans certains champs déterminés sur lesquels, au dire des cultivateurs, le Lin brûle toujours.

Le sol de ces champs renferme donc des spores durables qui se conservent, dans l'intervalle de deux cultures de Lin, dans les couches profondes où les labours les ont déposées et où elles ne trouvent pas les conditions requises pour leur développement.

Ramenées dans la couche arable proprement dite, par les façons culturales qui précèdent le semis du Lin, elles évoluent comme nous l'avons décrit antérieurement. Dans cet intervalle, le Lin a germé et est arrivé à cet âge critique où l'infection est rendue si facile par la minceur des membranes de la zone d'accroissement des racines. Les zoospores contenues dans les spores durables, sollicitées par l'attraction qu'exerce sur elles le voisinage de l'hôte, viennent se fixer sur les jeunes racines et les envahissent rapidement.

C'est ici qu'intervient, d'une façon prépondérante, l'action de l'humidité.

Le sol est-il humide, les zoospores produites sur les premiers individus atteints peuvent se transporter sur les voisins et le parasite se propage ainsi, progressivement dans tous les sens, d'autant plus aisément que le Lin est cultivé en emblavures extrêmement serrées. Son action nuisible se manifeste bientôt de deux manières :

1^o Par l'occupation des cellules du parenchyme cortical et des poils radiculaires, c'est-à-dire de tous les organes absorbants ;

2^o Par l'arrêt complet de l'allongement des racines qui en est la conséquence.

Si l'humidité qui a présidé à l'extension du parasite continue, le sens de son action se modifie complètement, de néfaste qu'elle était elle devient salulaire.

En effet, par temps humides, les pertes d'eau, par transpiration, sont très limitées, les besoins en eau de la plante sont conséquemment très réduits.

De plus, en sol humide, la pénétration de l'eau peut se faire tant bien que mal par les racines mêmes emputées de leurs organes absorbants les plus essentiels. Il en résulte que, dans ces conditions, les plantules restent vivantes et seul le jaunissement des cotylédons témoigne du malaise ressenti par la végétation.

Entre temps, des racines secondaires se forment. Leur développement, directement provoqué par l'arrêt d'allongement des racines principales, est encore favorisé par la fraîcheur du sol. Ces racines secondaires sont, en

général, comme nous l'avons vu, moins aptes à être infectées, et ne le sont, en tout cas, qu'après une période d'allongement qui demande quelques jours pour s'effectuer. Entre temps, les conditions météorologiques changent souvent, le sol s'assèche et cette circonstance assure l'immunité aux racines nouvellement formées, qui fonctionnant normalement, approvisionnent suffisamment d'eau les jeunes plantes.

La crise est passée. Toutefois, son influence ne se dissipera pas complètement et le Lin, bien que sain et vigoureux, n'atteindra jamais plus les mêmes dimensions que s'il avait franchi, sans encombre, sa période de jeunesse.

Tout autre est la marche des événements si le commencement de mai est sec.

Dans ce cas, l'extension de la maladie est, pour ainsi dire, nulle et, ne sont atteintes que les racines au contact intime desquelles se trouvent des spores durables contenant des zoospores différenciées, conditions qui doivent être rarement remplies dans la nature.

En revanche, si cette sécheresse, au lieu de dater de cette époque, ne survient que quelque temps après, à la suite d'une période de pluies qui a favorisé la dissémination de l'*Asterocystis*, son action est, au contraire, désastreuse. La transpiration des plantules devient active et, comme l'absorption est très faible, une dessiccation rapide des tissus les plus séveux se produit, les feuilles brunissent et se dessèchent, en quelques heures, ainsi que l'extrémité de la tige.

Comme on le voit, la marche de la brûlure, dans les cultures, est essentiellement sous la dépendance des conditions météorologiques.

Un commencement de mai sec en empêche l'apparition ; une période de pluies à la même époque en favorise, au contraire, à l'extrême, la propagation. Si, après l'extension de la maladie, le temps reste humide, les lins peuvent continuer à végéter jusqu'à la récolte, qui sera médiocre ; si, au contraire, il devient sec les plantules atteintes meurent rapidement et la récolte est perdue.

L'historique des faits de la pratique corrobore absolument cette conception des causes qui font varier, d'une année à l'autre, l'intensité de la maladie.

Les années 1897 et 1898 ont présenté une période de pluies, au commencement de mai : la brûlure a été désastreuse. En 1899 et en 1900, la sécheresse a régné à la même époque : la maladie a été exceptionnelle.

2. — Circonstances secondaires qui influent sur la marche de la maladie.

Indépendamment des conditions météorologiques, dont l'influence est prépondérante, quelques facteurs secondaires exercent leur action sur la maladie.

Je n'insisterai plus sur l'influence de la compacité et de l'humidité du sol des situations fraîches en contre-bas, qui a été suffisamment expliquée.

Je rappellerai, toutefois, une observation faite par de Keyser, de Thielt, et signalée par M. Nypels, (1) d'après laquelle, dans la petite culture, où les champs sont soigneusement travaillés à la bêche, la brûlure est relativement très rare, l'état de division du sol empêchant l'humidité de favoriser la maladie.

Influence des engrais.

Les essais relatés plus haut prouvent que l'influence de la nutrition minérale du Lin n'est pas très importante et que l'on ne peut guère attribuer comme on a voulu le faire, la brûlure à un épuisement du sol en matières fertilisantes, notamment, à un manque de potasse.

L'opinion d'après laquelle la chaux favoriserait la maladie semble avoir une base plus sérieuse. S'il est vrai, en effet, qu'en tant qu'élément nutritif la chaux, en excès, ne modifie pas sensiblement la réceptivité du Lin à la maladie, il n'en est pas moins vrai aussi qu'un chaulage abondant peut déterminer une réaction nettement alcaline du sol de nature à stimuler la virulence de l'*Asterocystis*.

Il est donc à conseiller d'être prudent dans l'application des amendements calcaires qui précèdent l'apparition du Lin dans la rotation.

Toutefois, dans les sols recevant de grandes quantités de matières organiques par les fumiers, les tourteaux, ce qui est le cas des terres à Lin, la chaux est en grande partie neutralisée par les acides humiques et la réaction du sol ne risque pas d'être sensiblement modifiée.

Je rappelle ici qu'il résulte de mes essais qu'un excès d'acide phosphorique semble augmenter la résistance du Lin à la brûlure, tandis qu'un excès d'azote la diminue.

Influence de la rotation.

Il est d'opinion courante, dans les Flandres, que le retour fréquent du Lin sur lui-même est une cause déterminante de la brûlure.

On le comprend aisément. Par suite de l'enfouissement de l'emblavure malade, pratiquée couramment par les cultivateurs, chaque culture de Lin contribue à enrichir le sol des germes de la maladie.

Quant à l'influence de la plante qui précède le Lin dans la rotation, les cultivateurs admettent généralement que la Chicorée constitue un bon précédent. Cette plante laisse, en effet, le sol dans un état d'émiettement qui en exclut un excès d'humidité.

(1) Nypels. Notes pathologiques. *Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique*, t. XXXVI, fasc. 3, p. 213.

3. — Moyens de combattre la maladie.

La recherche des moyens à employer pour combattre la brûlure doit s'inspirer des caractères si particuliers de cette maladie que l'on peut résumer comme suit :

1° La brûlure est une affection parasitaire et contagieuse, produite par un champignon endogène se développant dans le parenchyme et les poils absorbants des jeunes racines.

2° La propagation du parasite s'effectue par l'intermédiaire de zoospores, éléments très délicats, sensibles à la dessiccation, à l'influence des fongicides, des acides et menant une vie aquatique.

3° La conservation du parasite s'effectue par l'intermédiaire des spores durables, très résistantes aux agents extérieurs, mises en liberté par la décomposition des racines et qui se conservent dans le sol jusqu'à ce que les conditions nécessaires à leur évolution se réalisent. Cette évolution consiste dans la production par la spore durable, de zoospores sensibles, qui ne quittent ces dernières que sollicitées par l'attraction d'une racine nourricière.

Le premier de ces caractères, la nature endogène et souterraine du parasite, nous indique, de suite, que ce dernier sera très-difficile à atteindre par les moyens dont se servent les phytopathologistes pour détruire les ennemis cryptogamiques de nos plantes cultivées : les fongicides.

Mais, si ces agents ne peuvent être employés curativement pour tuer le parasite quand il est installé dans les cellules de son hôte, ne pourraient-ils l'être préventivement pour empêcher l'infection, en détruisant les organes de propagation si délicats du champignon, les zoospores ?

Nous avons vu que les zoospores de l'*Asterocystis* sont sensibles à l'action des antiseptiques et, notamment, du sulfate de cuivre. Malheureusement les doses exigées pour arriver à une destruction assurée de ces organes sont, notamment en sol quelque peu calcaire, tellement élevées, que le traitement deviendrait onéreux. De plus, l'introduction dans le sol, d'une grande quantité de sulfate de cuivre pourrait avoir un résultat funeste sur sa fertilité, en amenant la solubilisation et l'entraînement, dans les profondeurs, de certains sels nutritifs (sels de chaux, de magnésie et de potasse).

Dans cet ordre d'idées, la réaction acide du milieu agit encore bien plus énergiquement sur le parasite que les fongicides ; mais il serait, dans la pratique, tellement difficile d'amener le sol à cet état précis d'acidité qui tue les zoospores de l'*Asterocystis* mais respecte le Lin, qu'il faut renoncer à se servir de ce moyen. A peine pourrait-on utiliser l'action destructive des sels de cuivre ou des acides pour circonscrire les premières taches de brûlure, et empêcher ainsi l'extension de la maladie.

S'il faut renoncer à détruire le champignon de la brûlure par des moyens artificiels, il ne reste plus qu'à laisser s'éteindre, par l'action lente du temps, les foyers d'infection que constituent les spores durables enfoncées dans le sol. Il est donc de toute nécessité de ne point les revivifier par une nouvelle culture de leur plante nourricière et d'éviter, par conséquent, le retour de ce végétal, avant 7 ans au moins et mieux avant 10 ans, sur les terrains ayant porté du Lin malade.

D'autre part, la pratique qui consiste à retourner, après fauchage ou non, les jeunes emblavures de Lin brûlées, est absolument condamnable, car elle infecte le sol d'une quantité innombrable de germes.

Il est hautement à conseiller, dans ces circonstances, d'arracher, de préférence par temps humide, les lins malades, avec le plus grand soin afin d'extraire du sol la majeure partie des racines et de les brûler.

S'il reste, dans le sol, des racines, ce seront heureusement surtout les parties les plus jeunes dans lesquelles le parasite ne se trouve encore qu'à l'état de plasmas et de sporanges dont la dessiccation aura rapidement anéanti la vitalité. Cette extirpation des lins malades doit être effectuée le plus tôt possible et le mieux, dès l'apparition de la maladie. Plus on attend, plus il se forme de spores durables, plus on risque de laisser, en terre, les agents de la conservation de la maladie.

C'est donc en de simples mesures préservatives, prophylactiques, que se résument tous les remèdes que l'on peut mettre en œuvre pour combattre la brûlure du Lin.

Mais pour être suivis d'effet, ces moyens doivent être appliqués avec la plus extrême rigueur.

Il faut que le cultivateur se persuade bien de cette idée : que la brûlure est une affection parasitaire et contagieuse, que la plante porte en elle les germes du mal et que, confier ces germes à la terre, c'est en assurer la perpétuation. Il n'est pas douteux, qu'en se pénétrant de ces notions essentielles, on arriverait à éteindre, dans nos campagnes flamandes, les foyers épidémiques de brûlure qui occasionnent, pendant les années pluvieuses à la culture, si importante du Lin, des pertes considérables.

EXPLICATION DE LA PLANCHE.

FIG. 1. Cellules du parenchyme cortical de la racine.

a. Grand plasma, sans membrane, à aspect finement granuleux, remplissant toute la cavité cellulaire. — Grossissement : 500 fois.

a'. Plasma n'occupant qu'une partie de la cellule nourricière. — Grossissement : 500 fois.

b. Plasma présentant l'aspect d'une masse sillonnée, comme écumeux, déjà entouré d'une membrane. — Grossissement : 500 fois.

b'. Zoosporange ellipsoïdal, rempli de zoospores. — Grossissement : 500 fois.

FIG. 2. Poils radiculaires infectés, contenant :

a. Zoosporanges à zoospores différenciées. — Grossissement : 500 fois.

b. Grand plasma occupant une cellule de l'assise corticale et la base d'un poil radiculaire. — Grossissement : 500 fois.

c. Grand plasma, au stade qui précède immédiatement la fragmentation en zoospores, entouré d'une membrane et occupant presque entièrement un poil radiculaire. — Grossissement : 500 fois.

FIG. 3 *a.* Une cellule voisine de la pilorhize montrant un zoosporange qui émet ses zoospores. — Grossissement : 500 fois.

b. Zoospores très fortement grossies. — Grossissement : 1500 fois.

FIG. 4. Spores durables à différents états.

a. Plasma globuleux, finement granuleux, sans membrane. — Grossissement : 900 fois.

a. Plasma globuleux à aspect écumeux. — Grossissement : 900 fois.

b. Spores durables à noyau globuleux, étoilées, de dimensions très-différentes. — Grossissement : 900 fois.

c. Spores durables ellipsoïdales, plus grosses, à noyau allongé. — Grossissement : 900 fois.

FIG. 5. Poils radiculaires renfermant des spores immobiles, globuleuses et ellipsoïdales. — Grossissement : 500 fois.

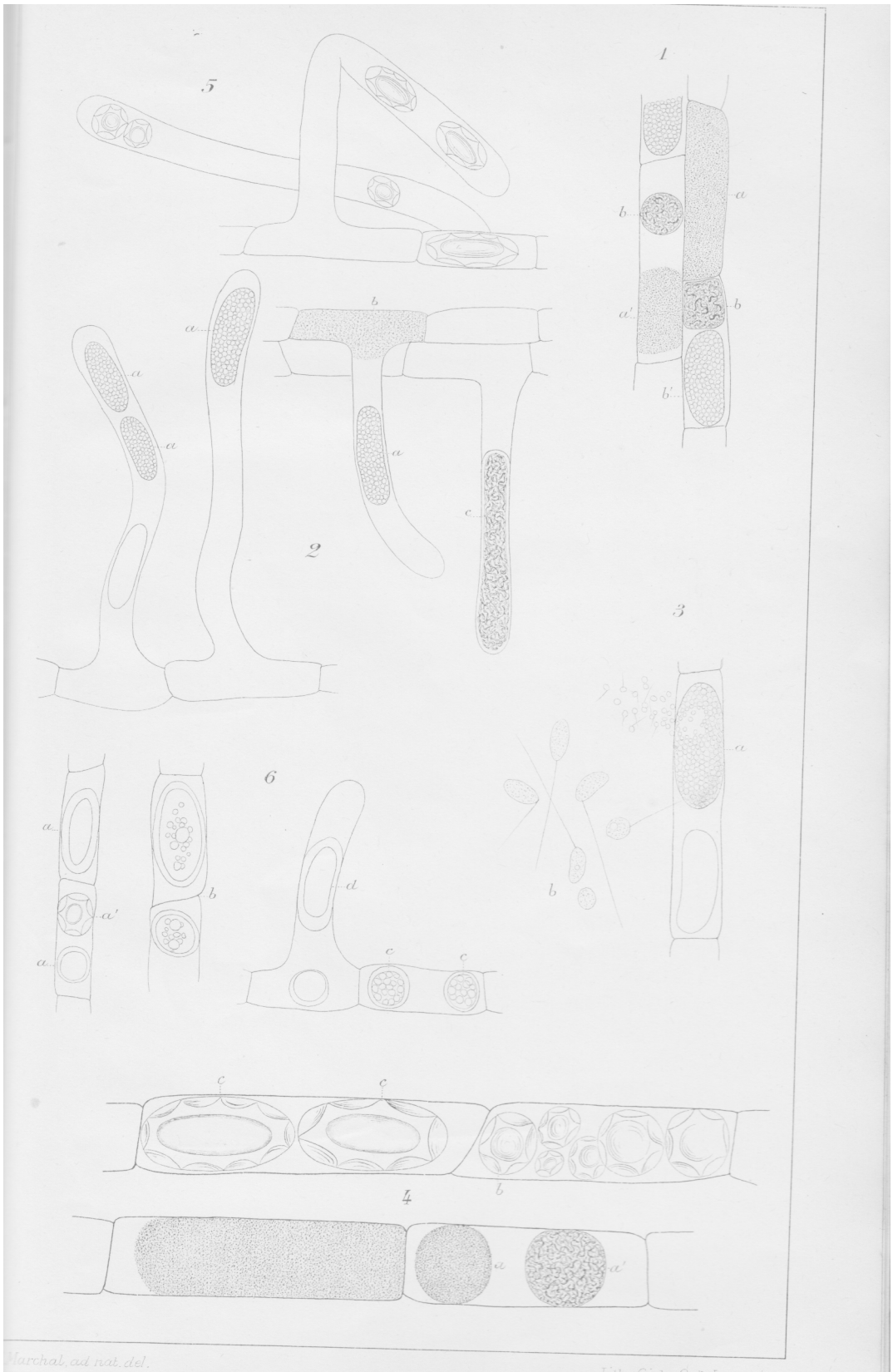
FIG. 6. Développement des spores durables :

a. Premier stade : les spores sont gonflées et leurs saillies effacées. — Grossissement : 600 fois.

b. Deuxième stade : noyau divisé en gouttelettes groupées au centre de la cellule. — Grossissement : 600 fois.

c. Spores durables remplies de zoospores. — Grossissement : 600 fois.

d. Spores durables vides. — Grossissement : 600 fois.



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE.

BULLETIN
DE
L'AGRICULTURE

Publié en exécution de l'arrêté royal du 16 juillet 1885.

1900. — TOME XVI.



BRUXELLES
IMPRIMERIE XAVIER HAVERMANS
GALERIE DU COMMERCE, 24-48

1900