

ANNALES DE GEMBLOUX

JOURNAL DE L'ASSOCIATION

DES INGÉNIEURS SORTIS DE L'INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ÉTAT

36^{me} année

Juin 1930

6^{me} Livraison

Les articles sont publiés sous la responsabilité exclusive des auteurs

Les Maladies à Virus filtrants en Pathologie végétale⁽¹⁾

par E. MARCHAL,

Directeur de la Station de Phytopathologie de l'Etat, à Gembloux.

On connaît aujourd'hui, tant chez les animaux que chez les plantes, de nombreux états pathologiques, dans lesquels la présence d'un parasite n'a pu être révélée même par les méthodes les plus fines d'observation, alors qu'ils présentent cependant les caractères essentiels des maladies infectieuses.

Une autre particularité non moins remarquable de ces affections est que la matière contagieuse, humeurs chez les animaux, sucs d'expression des tissus chez les plantes, reste parfaitement active après passage à travers les filtres poreux reconnus comme retenant les agents organisés des maladies microbiennes et, *a fortiori*, les éléments de transmission des champignons parasites.

D'où cette appellation de « maladies à virus filtrants » qui leur a été donnée, appellation que l'on simplifie souvent par l'emploi du terme « virose ».

La première notion des maladies à virus filtrants est sortie de la Pathologie végétale.

L'honneur de cette découverte revient au pathologiste russe Iwanowski (12), qui, en 1892, étudiant la Mosaïque du Tabac,

(1) Résumé d'une conférence faite le 5 mars 1930 à l'Institut des Hautes Etudes de Belgique.

observa que les tissus malades de cette solanacée n'hébergent aucun agent responsable visible et que le jus obtenu par écrasement et expression, filtré sur bougie de Chamberland, peut, transporté même à très faible dose sur des plantes saines, reproduire la Mosaïque avec tous ses caractères.

La signification de la découverte d'Iwanowski ne semble pas avoir été, à cette époque, appréciée à sa réelle valeur, et il a fallu que, sept années plus tard, le biologiste hollandais Beyerinck, de Delft (4), en apporte la confirmation et émette son hypothèse du « *Contagium vivum fluidum* » pour que le monde scientifique commence à s'intéresser au problème.

C'est, d'autre part, à ce moment que Loëffler et Frosch, en Allemagne, recherchant la présence d'une toxine dans le cas de la stomatite aphthuse, remarquèrent que le contagé filtré restait virulent, découvrant ainsi le premier cas bien établi de virose chez les animaux.

Depuis ces découvertes fondamentales, le nombre des maladies attribuables à des agents filtrants ou ultra-microscopiques, est devenu très considérable, tant dans le domaine de la Pathologie animale qu'en Phytopathologie.

Ce nombre s'augmente tous les jours de nouvelles unités, tandis qu'il advient de temps à autre que, grâce à des perfectionnements de technique, on décèle l'agent étiologique de l'une ou l'autre d'entre elles qui perd ainsi ses droits de cité dans le monde des maladies à virus filtrants pour prendre place dans celui des maladies microbiennes.

Peut-être a-t-on parfois abusé d'ailleurs, du concept « maladie à virus filtrants » pour masquer l'ignorance où l'on se trouvait des causes réelles de tel ou tel état pathologique.

La haute gravité de certaines maladies à virus filtrants qui, telles la rage, la variole, la polyémyélite, ont constitué ou constituent encore de véritables fléaux pour l'humanité, a suscité un courant de recherches très actif dans le domaine de l'étude des viroses animales, à laquelle se rattache le problème si troublant du bactériophage.

Stimulée de son côté par l'importance des pertes qu'occasionnent à l'agriculture certaines d'entre-elles, l'étude des viroses végétales a fait l'objet d'un bel effort d'observation et d'expérimentation,

notamment en Hollande, en Angleterre, en Allemagne, et surtout aux Etats-Unis où, dans de nombreux laboratoires spéciaux, des « staffs » entiers de chercheurs s'y appliquent activement.

C'est de cet aspect « végétal » du problème, qu'il sera question dans cet exposé.

Si l'on envisage l'ensemble des cas de virose chez les plantes on constate, tout d'abord, que ces affections sont propres aux Métaphytes et épargnent les représentants des embranchements inférieurs du règne végétal. Même les Phanérogames Gymnospermes semblent réfractaires, et, parmi les Angiospermes, les cas sont beaucoup plus rares chez les Monocotylédones que chez les Dicotylédones parmi lesquelles les représentants de certaines familles, telle celle des Solanacées, sont tout particulièrement affectés.

Remarquons d'autre part la rareté des viroses chez les arbres et les plantes ligneuses en général.

Quelles sont les réponses les plus fréquentes des tissus végétaux à l'égard des virus ?

Les troubles pathologiques les plus caractéristiques et les plus constants sont sans aucun doute les manifestations de chlorose.

On a donné le nom générique de « Mosaïque » aux altérations des tissus verts qui résultent de l'action des virus et qui affectent des aspects très différents, suivant l'importance et la disposition des aires chlorotiques par rapport aux portions restées vertes des organes.

Dans une étude d'ensemble sur les viroses des Légumineuses, parue en septembre dernier, le phytopathologiste allemand, Ludwig Merckel (16), propose la schématisation suivante des divers types possibles de Mosaïque : Il distingue, au point de vue de la répartition des aires vertes et des aires décolorées, quatre types : la Mosaïque mouchetée, la Mosaïque des nervures, la Mosaïque marbrée que j'appellerais plus volontiers internervienne, et la Mosaïque maculée.

Dans chaque type il reconnaît trois degrés d'intensité, suivant que les parties décolorées ont une surface inférieure, égale ou supérieure à celle des parties restées vertes.

Cela est évidemment très artificiel, très conventionnel, mais cette classification emprisonne cependant dans ses mailles à

peu près tous les aspects possibles des chloroses locales qui accompagnent les maladies à virus filtrants chez les plantes.

Une seconde manifestation très fréquente aussi de l'action des virus chez les plantes est le gaufrement des organes ordinairement plans, tel le limbe des feuilles; c'est le facies pathologique : « Frisolée » (« Mottling » des Anglais et Américains).

Le gaufrement de la plupart des feuilles mosaïquées est dû au fait que, durant la croissance, des inégalités se produisent entre les aires vertes et les aires chlorotiques juxtaposées.

L'action des virus sur les tissus en croissance conduit souvent à des altérations beaucoup plus profondes encore de l'architecture normale de la plante : par suite du raccourcissement des entrenœuds, un nanisme plus ou moins accentué apparaît. Des manifestations de polycladie (balais de sorcière) se produisent parfois qui ont la même origine.

Dans le cas de la Filosité de la Pomme de terre il y a, au contraire, une tendance manifeste à l'élongation des axes.

Poussons maintenant notre analyse de l'action pathologique des virus dans le domaine histologique et cytologique.

Constatons tout d'abord que ce sont uniquement les tissus vivants jeunes et spécialement les tissus embryonnaires, en particulier les méristèmes des points végétatifs et des ébauches d'organes, qui sont affectés.

Les tissus définitifs sont réfractaires à l'action des virus et c'est là sans aucun doute la raison pour laquelle les végétaux ligneux, dans la constitution desquels entrent, en prépondérance considérable, des tissus morts, se montrent en général résistants aux viroses.

Les éléments embryonnaires atteints par les virus montrent une tendance à une différenciation moins complète que les méristèmes normaux et donnent naissance à des tissus qui conservent un caractère juvénile plus ou moins accentué.

Signalons ensuite ce fait que les troubles pathologiques qui résultent de l'action des virus filtrants peuvent intéresser tous les organes végétatifs de la plante. Les viroses se distinguent en cela de l'immense majorité des maladies produites chez les végétaux par des parasites cryptogamiques et qui localisent plus ou moins étroitement leur action.

La présence de virus dans les différentes parties de la plante est prouvée par le fait que le jus d'expression des organes est infectieux; elle l'est aussi par l'expérience suivante due à Allard (8), le monographie de la Mosaïque du Tabac.

Une plante de Tabac qui ne montre des symptômes de Mosaïque que sur quelques feuilles de la partie supérieure de la tige est coupée un peu au-dessus du sol. Elle émet, quelque temps après, des rejets qui se couvrent de feuilles nettement mosaïquées.

Si les organes végétatifs sont tous susceptibles d'être envahis par les virus, de même d'ailleurs que les parties des fleurs et des fruits ayant une origine foliaire directe, les organes reproducteurs proprement dits : grains de pollen, ovules et graines, ne paraissent généralement pas atteints.

L'immunité de ces organes, celle de la graine en particulier, tient sans doute à ce fait que les voies libériennes qu'empruntent plus spécialement les virus dans leur cheminement à travers le végétal, ne sont pas en relation directe avec les tissus séminaux, lesquels échappent de ce fait à la contamination.

Dans les quelques exemples où la semence peut servir de véhicule pour les virus, il est vraisemblables qu'elle s'infecte pendant ou après sa formation, au contact des tissus du péricarpe.

Cherchons à préciser maintenant les modifications histologiques amenées par l'action des virus.

De tous les éléments cellulaires, ce sont à coup sûr les plastides, et spécialement les chloroplastes, qui sont le plus influencés. Parfois altérés dans leur forme, dans leurs dimensions, souvent progressivement vacuolisés et perdant leur individualité, ils se montrent, d'autre part, beaucoup moins riches en pigments assimilateurs.

Dunlop (9) a montré, en 1928, que dans le cas de la Mosaïque du Tabac les aires décolorées ne renferment que 62 % de la teneur normale en chlorophylle. D'autre part, la solution de chlorophylle obtenue de ces mêmes tissus est de coloration jaune vert au lieu d'être bleu vert, ce qui indique la prédominance, dans le mélange, de la chlorophylle β .

Les autres éléments de la cellule sont beaucoup moins manifestement altérés. Les noyaux apparaissent parfois tuméfiés.

Pour Dufrenoy (8), le chondriome prendrait un aspect particulier dans le protoplasme. Enfin, il se produit souvent, dans les cellules, des inclusions particulières sur la signification desquelles nous reviendrons dans la suite.

Non seulement les tissus sont altérés qualitativement, mais ils le sont aussi quantitativement.

Il y a hypoplasie manifeste au niveau des plages décolorées et parfois hyperplasie dans les parties vertes.

Un tissu qui souffre particulièrement de l'action des virus est le tissu libérien qui montre, dans beaucoup de cas, une nécrose plus ou moins complète.

Le liber semble être d'ailleurs le tissu d'élection des virus.

Les modifications apportées dans le métabolisme cellulaire par l'action des virus filtrants ont été très peu étudiées jusqu'ici.

Bien que les tissus malades, du fait de l'altération des éléments chlorophylliens, témoignent d'une activité assimilatrice amoindrie, l'amidon est généralement surabondant dans les organes mosaïqués par suite de l'altération du liber, de la leptonécrose qui fait obstacle à la migration des produits des synthèses foliaires.

Les variations dans la production de l'oxalate calcique, ce résidu si fréquent de l'activité respiratoire des feuilles, ont été étudiées par Schmidt (19) dans la Betterave atteinte de Mosaïque. Cet observateur a montré que le nombre et le volume des cristaux d'oxalate de chaux augmente, comme il fallait s'y attendre, des plages chlorotiques aux parties restées vertes.

Des mesures de la concentration des ions H n'ont guère été faites jusqu'ici.

Chez le Santal, Yvengar (27) a déterminé comparativement le ρ_H des jus de tissus malades et de tissus sains et a trouvé respectivement 4.69-4.99 et 5.15-5.71. L'action du virus correspondrait à un état d'acidose des tissus.

Tel est, rapidement esquissé, l'état de nos connaissances sur les manifestations anatomiques et physiologiques qui accompagnent l'action des virus filtrants chez les plantes.

Etudions maintenant leur évolution dans les tissus vivants et, tout d'abord, les conditions de leur inoculation.

Il semble que dans la plupart des cas de viroses chez les plantes,

Le contagé soit transmis par des vecteurs animaux, et spécialement par des insectes.

C'est notamment le cas de la plupart des virus de la Pomme de terre, dont les vecteurs attitrés sont des pucerons, ainsi que Quanjer (17), de Wageningen, fut un des premiers à le démontrer. De même les viroses de la Canne à sucre sont transmises par des pucerons, et spécialement par *Aphis maidis*. La Frisolée californienne de la Betterave a comme agent propagateur une cicadelle : *Eutettix tenella*.

En théorie générale, chaque virus possède un vecteur qui le transmet spécialement sinon exclusivement.

Ailleurs, on observe l'intervention, pour un même virus, de vecteurs différents, tantôt en même temps, en un endroit déterminé, tantôt variant d'une région ou d'un pays à l'autre.

On connaît, d'autre part, des cas où un même insecte peut transporter plusieurs virus associés.

Lorsqu'un insecte se trouve ainsi en présence d'un complexe de virus, il arrive qu'il exerce parmi eux une véritable sélection et ne transmet effectivement que l'un d'eux.

Hoggan (11) a montré l'an dernier que le puceron du Pêcher prélevé sur du Tabac affecté d'une « combination disease », obtenue en inoculant cette plante à la fois à l'aide du virus de la Mosaïque du Concombre et du virus de la Mosaïque du Tabac, ne transmettait que la première de ces affections.

Cette sélectivité amène l'auteur à considérer les relations du puceron et du virus comme n'étant pas seulement de nature mécanique.

Il semble en fait que parfois le virus subit dans le corps de l'insecte une véritable incubation.

C'est ainsi que des insectes, nourris de plantes de Reine-Marguerite atteintes de la maladie connue en Amérique sous le nom de « Aster Yellows » ne deviennent pathogènes qu'après une période de quatorze jours; ils conservent leur virulence (sans nouveau contact avec une plante infectée) pendant quinze jours à deux mois.

Toutefois, j'estime que l'action « sélective » des pucerons vis-à-vis d'un complexe de virus peut s'expliquer tout simplement par des localisations différentes des virus, amenant le prélèvement de l'un à l'exclusion de l'autre.

Disons toutefois, à ce sujet, que dans les cas les mieux étudiés les virus apparaissent plus spécialement localisés dans les éléments libériens, dans le phloème des vaisseaux.

Les pucerons, qui constituent, ainsi que nous l'avons vu, les agents vecteurs les plus fréquents des viroses, donnent de véritables coups de sonde dans les tissus, jusqu'au moment où ils rencontrent les tubes criblés, dans lesquels ils prélèvent la sève élaborée qui constitue leur aliment.

Ils s'infectent ainsi éventuellement des virus qu'ils transporteront ultérieurement sur des plantes saines.

On réalise très facilement cette infection à l'aide d'un petit dispositif, sorte de cage en toile métallique montée en pince avec face libre s'appliquant sur les tissus infectés.

Lorsque les pucerons se sont repus du suc virulent, on peut ultérieurement les transférer sur des sujets sains.

Dans l'étude expérimentale des maladies à virus on peut éluder l'intervention des insectes vecteurs et assurer l'infection par des moyens variés.

Le simple badigeonnage au pinceau d'organes sains avec du jus d'expression de tissus malades suffit parfois (Mosaïque de la Tomate et du Tabac) pour assurer l'inoculation.

Il est toutefois souvent nécessaire, pour créer des voies de pénétration au virus, de frapper normalement les feuilles à l'aide d'une brosse dure avant d'opérer l'infection.

L'introduction du virus à l'aide d'une aiguille dont on pique la nervure principale de la feuille jeune constitue un autre procédé de choix.

L'inoculation du virus par contact se trouve, d'autre part, réalisée inconsciemment dans certaines pratiques culturales.

Cela se produit notamment dans la culture du Tabac.

Cette plante est, comme on sait, généralement semée en pépinière et repiquée en place. On a constaté que la Mosaïque était particulièrement fréquente lorsque les ouvriers affectés au travail de repiquage faisaient grand usage de tabac et surtout de tabac à chiquer, parce qu'ils manipulent alors les plantes à repiquer avec des mains infectées de virus.

Dans certaines plantations américaines on a vu le taux de Mosaïque, qui était de près de 10 % lorsque les ouvriers usaient

de tabac à mâcher provenant de la plantation, tomber à 2.2 % par l'emploi de tabac commercial, et à 0.5 % par l'usage de tabac préalablement stérilisé. (Valleau) (24).

Une autre pratique de la culture du Tabac est susceptible d'amener l'infection par contact : c'est le pincement et l'écimage, auxquels on soumet les plants pendant leur croissance. Toutefois l'état plus avancé de la végétation diminue ici les dangers de contamination.

La greffe constitue, d'autre part, un procédé de transmission des virus qui a été fréquemment employé avec succès, notamment par Quanjer dans l'étude des manifestations des virus filtrants chez la Pomme de terre.

Certaines affections, telles la Peach Yellow et la Peach rosette, ne se transmettent même que par la greffe.

Quoi qu'il en soit, dans les conditions naturelles, c'est par l'intermédiaire des insectes et sur les parties aériennes des plantes que s'effectue avant tout la propagation du virus.

L'inoculation par le sol n'a été considérée comme possible que dans un nombre très limité de cas. (« Rosette » du Froment.)

Envisageons maintenant la façon dont les virus se conservent d'une génération à l'autre.

Ce n'est qu'exceptionnellement que cette conservation est assurée par la graine, laquelle échappe, en général, comme nous l'avons dit, à l'infection.

Chez quelques plantes annuelles : le Haricot, la Salade, les Cucurbitacées, les affections à virus sont cependant considérées comme « seed borne ».

Chez les plantes à souches vivaces, le virus se conserve dans les parties pérennes et envahit, lors de la reprise de la végétation, les nouvelles pousses ; c'est le cas notamment du Houblon, qui souffre assez fréquemment chez nous d'une sorte de Frisolée.

Chez la Canne à sucre les virus se conservent dans la souche, en sorte que les boutures prises sur une plante malade produisent des plantes qui souffrent de la maladie.

Dans le cas de la Pomme de terre, ce sont les tubercules qui constituent les organes d'hivernage des nombreux virus dont cette plante ressent les effets désastreux.

Dans beaucoup de cas, notamment chez les plantes annuelles, les virus se conservent à l'état latent sur les cadavres ou les résidus de plantes malades.

On sait par exemple que le virus de la Mosaïque du Tabac est susceptible de se conserver de dix-huit à trente ans sur du tabac sec.

Nous sommes ainsi amenés à parler de la spécificité des virus.

La pratique des inoculations a permis de révéler, dans ces dernières années, un ensemble de faits très intéressants relatifs à la spécificité des virus et aux rapports qui s'établissent entre le contagé et les supports.

De très nombreuses expériences d'inoculations croisées faites par divers expérimentateurs montrent que la plupart des virus sont aptes à infecter des espèces végétales variées, appartenant fréquemment à des groupes systématiques très éloignés.

Le cas le mieux étudié semble être celui du virus de la Mosaïque du Tabac qui, dans sa forme « Ring spot », Mosaïque maculée est, d'après Wingard (25), susceptible d'infecter des espèces appartenant à dix-neuf genres botaniques répartis dans onze familles végétales, notamment, en plus des Solanacées, des Compositacées, Légumineuses, Phytolaccacées, Violacées, Amarantacées, Convolvulacées, Plantaginacées, Aizoacées, etc.

D'après Severin (20), *Eutetrix tenella*, le vecteur attitré de la Mosaïque californienne de la Betterave, pourrait infecter, outre les espèces du genre *Beta*, l'Épinard et diverses Chénopodiacées, le Haricot et d'autres Légumineuses et diverses Cucurbitacées.

La Mosaïque de la Canne à sucre peut affecter une quinzaine de graminées, tandis qu'elle n'a pu être inoculée à une vingtaine d'autres espèces de cette famille (E. W. Brandes et P. J. Klap-haak) (5).

Le passage d'un hôte sur un autre s'accompagne souvent d'une altération dans la symptomatologie de la maladie dont l'interprétation est à l'heure actuelle sujet à grande discussion.

Les uns admettent que les virus sont susceptibles de présenter, par passage sur des hôtes nouveaux, des variations quantitatives de virulence qui se traduisent par des modifications qualitatives de leurs effets pathologiques.

Pour d'autres, ce seraient plutôt les réactions de l'hôte qui

amèneraient les transformations observées; les divers hôtes possibles d'un virus déterminé possédant à l'égard de celui-ci une sensibilité très variable et réagissant ainsi différemment sous son action.

Enfin, un élément important à considérer dans l'interprétation des manifestations qui nous occupent est le fait qui paraît bien établi que beaucoup de viroses sont le résultat de l'action cumulative d'un complexe de virus ayant chacun leur action propre sur les tissus et qui peuvent être différemment tolérés par des hôtes différents. Par leur passage sur des hôtes variés, ces virus apparaissent comme dissociés, alors qu'en réalité la situation est celle-ci : certaines unités virulentes, pour lesquelles l'hôte nouveau est très tolérant, ne se montrent pas, elles sont simplement masquées, tandis que celles pour lesquelles ce même hôte est peu tolérant s'extériorisent.

Il en résulte une transformation complète des caractères de la maladie sans pour cela que le complexe de virus soit modifié dans son essence même ce que prouve le fait que, réinoculé sur son support d'origine, il reproduit le plus souvent l'état pathologique primitif.

Les différents concepts dont nous venons de parler : variations quantitatives et qualitatives des virus, variations de sensibilité des hôtes allant même jusqu'à un état apparemment réfractaire, nature complexe des contagions et possibilité d'une apparente sélection interviennent, et peut-être parfois même simultanément, pour expliquer les faits extrêmement curieux observés dans les expériences d'inoculation de virus sur des espèces différentes et dont voici quelques exemples tirés de la littérature la plus récente.

Voici un cas relativement simple étudié par J. H. Smith (21). Le jus filtré de feuilles de Pomme de terre atteintes de Mosaïque (mild mosaïc), inoculé à la Tomate, produit sur les feuilles deux sortes de manifestations qui peuvent, d'ailleurs, se superposer : 1^o taches nécrotiques; 2^o frisolée. On n'observe pas sur la tige les stries nécrosées qui caractérisent le « streak » typique.

L'inoculation de ce même virus de la Pomme de terre combinée avec celle de l'Aucuba mosaic de la Tomate, produit chez cette dernière une forme très sévère du « streak ».

En repassant, même après plusieurs années, sur Pomme de

terre, le virus reproduit les caractères de la « Mild mosaïc » primitive.

L'observateur anglais Kenneth M. Smith (22) a observé d'autre part :

La Mosaïque internervienne très caractérisée d'une variété de Pommes de terre, l'Arran Victory, transférée à la variété Shulmaster, donne une décoloration marginale des limbes (marginal mosaïc).

Cette même mosaïque est produite chez Catriona par le virus de la Mosaïque ordinaire et chez Great Scott par un mélange des virus de l'Enroulement et de la Mosaïque ordinaire.

Un autre fait curieux relevé par le même auteur :

Le virus de la Mosaïque de la Pomme de terre, inoculé à l'aiguille, au Tabac, produit un facies pathologique connu sous le nom de Ring spot.

Réinoculé à la Pomme de terre, ce Ring spot reproduit la Mosaïque originelle.

Si, au contraire, le virus de la Pomme de terre est inoculé au Tabac non plus à l'aide d'une aiguille, mais par l'intermédiaire d'un puceron, au lieu des macules marginées de brun du Ring spot, on obtient une accentuation de la coloration verte du parenchyme le long des nervures et une frisolée des limbes.

D'autre part, l'expérience a montré que plusieurs passages à l'aiguille du Ring spot sur le Tabac augmentent très remarquablement la virulence de la maladie, au point d'amener la mort rapide de la plante.

La preuve qu'il y a bien augmentation de la virulence et non intervention d'un facteur léthal d'affaiblissement du Tabac est donnée par la grande activité du virus exacerbé sur son support originel, la Pomme de terre.

Salaman (18), le spécialiste anglais de la génétique de la Pomme de terre, a surtout étudié la tolérance des diverses variétés aux virus et considère cette sensibilité comme pouvant présenter des variations d'une amplitude extrême.

Une variété anglaise de Pomme de terre, Kerr's Pink, ne manifeste qu'exceptionnellement et toujours faiblement les caractères de la Mosaïque ordinaire. Si l'on prend des yeux d'un tubercule de Kerr's Pink, en puissance de virus et qu'on les greffe sur un

tubercule indemne de virus d'une variété sensible on obtient les manifestations caractéristiques de la Mosaïque.

Deux variétés américaines de Pommes de terre, Irish Cobbler et Green Mountain, n'extériorisent guère la présence du virus du Streak, affection à laquelle succombent rapidement Up to Date et King Edouard.

Cette notion de la tolérance conduit à celle, très importante, des « Virus carriers », sujets d'apparence sains, mais porteurs de contagie et capables de provoquer chez des types plus sensibles une maladie caractérisée.

Ce concept explique les résultats troublants obtenus par différents expérimentateurs qui, par l'infection croisée de plantes saines, déclenchent un état pathologique, ce qui les conduit à admettre que l'introduction, dans un végétal, d'un protoplasme étranger, peut susciter les manifestations propres aux maladies à virus.

C'est ainsi que Johnson, J. (13) a annoncé que lorsque l'on inocule du jus de Pomme de terre saine au Tabac, on obtient des manifestations de viroses. Le même auteur obtient, par le greffage de deux Pommes de terre saines, une plante malade.

Dans les deux cas, il est vraisemblablement intervenu un sujet dans lequel la présence du virus était masquée du fait d'une tolérance maximum à l'égard de ce dernier.

Nous ne possédons certes pas encore les fils directeurs qui doivent permettre de se reconnaître dans le dédale des résultats obtenus dans l'étude expérimentale des maladies à virus.

Nous en sommes encore à la période des tâtonnements, d'incompréhension et d'incohérence apparente qui caractérise la genèse des grandes découvertes, surtout dans un domaine où l'on ne voit rien, où l'observation est impuissante et où le mystère apparaît ainsi encore plus troublant.

Le problème se trouve encore compliqué par l'intervention très manifeste, dans certains cas, des facteurs du milieu.

L'influence du climat sur le développement des maladies à virus est remarquable.

C'est ainsi que les viroses qui amènent une dégénérescence très rapide de la Pomme de terre dans la Basse et dans la Moyenne Belgique règnent avec beaucoup moins d'intensité dans la Haute

Ardenne. Cela est si vrai que la Haute Ardenne devient actuellement le fournisseur en plants de Pomme de terre des autres parties du pays, se substituant ainsi aux pays auxquels on s'adressait jusqu'ici, notamment à la Hollande, dont les régions côtières présentent aussi une immunité relative à l'égard de ces mêmes maladies.

Les régions à altitude élevée sont favorables au maintien d'un état sanitaire satisfaisant de la Pomme de terre. C'est pourquoi les Allemands de la Province rhénane importent leurs plants de l'Eiffel, et que les cultivateurs des comtés du sud de l'Angleterre s'approvisionnent dans les régions montagneuses de l'Ecosse.

Les maladies à virus filtrants de la Canne à sucre, et spécialement le « Sereh », n'existent guère à des altitudes quelque peu élevées, ce qui a conduit à établir, dans ces régions privilégiées, des pépinières destinées à alimenter en boutures les cultures de cannes des régions basses.

L'explication la plus simple que l'on puisse donner de l'influence favorable des hautes altitudes sur l'état sanitaire des plantes sensibles au virus, explication que l'observation appuie d'ailleurs, c'est que les agents vecteurs y sont généralement moins abondants que dans les plaines.

Certains auteurs considèrent les effets de ce qu'ils appellent la *cure d'altitude* comme dus à la réintroduction de la plante dans un milieu écologique plus proche de celui de son pays d'origine.

C'est ainsi que Costantin (6) est d'opinion que la Canne à sucre, dont les variétés cultivées actuellement ont dans leurs descendants l'Indian Chunner Cane, *Saccharum Barberi* des montagnes de l'Inde, se « retrempe » en quelque sorte par la vie à des altitudes relativement élevées.

Il en serait de même pour la Pomme de terre qui est aussi une plante d'origine plutôt montagnarde.

Indépendamment des conditions physiques du milieu, les conditions chimiques de nutrition agissent sur les manifestations du virus.

C'est ainsi, par exemple, que sous l'influence d'une nutrition azotée très riche, la tolérance de la Pomme de terre pour le virus de la Mosaïque est augmentée en sorte que les symptômes en sont plus ou moins masqués.

Il nous reste à envisager, et je le ferai brièvement, la question si controversée de la nature des virus, question que j'ai réservée pour la fin de cet exposé, estimant qu'il était préférable de l'envisager à la lumière des données acquises sur l'ensemble du problème.

Les caractéristiques essentielles des virus sont, comme je l'ai dit au début de cet exposé, d'une part l'invisibilité, d'autre part la filtrabilité de l'agent infectieux.

Ces deux caractères excluent-ils la possibilité de la nature vivante de ce dernier ? Tel est le problème que l'on s'est posé avec instance, dans ces dernières années.

Disons tout de suite que le criterium de la filtrabilité est beaucoup plus compliqué qu'il ne l'est apparu à Iwanowski dans ses recherches classiques et fondamentales sur la Mosaïque du Tabac.

On utilise, en effet, aujourd'hui, indépendamment des filtres à microbes ordinaires de Chamberland et de Berkenfeld, d'autres matières poreuses : verre pilé, sable, talc, collodion.

D'autre part, l'étude même des conditions de la filtration a montré que l'action des filtres dépendait non seulement du diamètre, de la forme et de la trajectoire des pores, mais encore de la pression du liquide, de sa dilution, de la présence ou de l'absence de colloïdes adsorbants, de la température, etc.

Quoi qu'il en soit, on est généralement d'accord pour admettre que les filtres les plus rétentifs exercent leur action jusqu'à l'égard des particules de 0.2μ , lesquelles se trouvent précisément être à la limite de l'observation microscopique dans la lumière blanche et avec les systèmes optiques actuels les plus perfectionnés.

Ajoutons à ce sujet que le fait qu'un élément n'est pas décelable dans les conditions ordinaires de la technique micrographique, n'implique pas nécessairement qu'il soit de dimensions extrêmement faibles. Le manque de visibilité peut être dû à une absence complète de refrangibilité dans la lumière blanche.

Les observations de Barnard (3) montrent qu'en se servant, comme source de lumière, de rayons violets et à l'aide de la photographie on peut déceler des particules de 0.1μ , et il apparaît possible d'aller encore plus loin dans cette voie.

Quoi qu'il en soit, les virus filtrants, s'ils constituent des éléments organisés, comme tout porte à le croire, doivent être

très petits et, dans le sens actuel du mot, véritablement ultra-microscopiques.

On peut même se demander si les dimensions qu'on est amené à leur assigner du fait de leur filtrabilité à travers le collodium sont de beaucoup supérieures à celles des grosses molécules albuminoïdes qui devraient les composer.

On a beaucoup discuté sur ce point.

Le professeur Ch. Martin (15) exprimait, en mai dernier, devant la Royal Society de Londres, son avis autorisé sur ce sujet.

Ch. Martin attribue aux éléments des virus des dimensions égales ou même supérieures à celles des particules de la préparation d'argent colloïdal « Collargol », soit $20 \mu\mu$.

Dans ces conditions, ils équivaudraient en volume à un conglomérat de 500 à 1000 molécules d'albumine, ce qui rendrait admissible l'existence d'une organisation vitale tout au moins rudimentaire.

Le concept de la nature vivante des virus filtrants semble s'imposer d'ailleurs à l'esprit par cette considération que ces virus jouissent de l'aptitude à se multiplier, ainsi que le prouve le fait que de nombreux passages sur des sujets frais ne leur font pas perdre leurs propriétés.

C'est aussi par une véritable multiplication des éléments des virus que l'on peut expliquer le fait que le jus exprimé de tissus malades voit sa capacité d'infection augmenter dans une certaine mesure par la conservation.

Non seulement les virus se reproduisent, mais ils semblent posséder cette autre propriété essentielle des êtres vivants : l'aptitude à évoluer, comme tendent à le prouver les modifications de virulence observées dans certains cas.

Enfin, ils partagent avec les autres microorganismes une réelle sensibilité à l'égard des facteurs du milieu.

C'est ainsi que tous les virus sont manifestement inactivés par la chaleur, la température critique étant comprise généralement entre 60 et 80°. Le virus de la Mosaïque du Tabac est, sous ce rapport, particulièrement résistant; d'après Mc Kinley (14), à l'état dilué il résiste pendant dix minutes à une température de 82° à 84° et, à l'état concentré, pendant le même temps à une température de 88° à 90°.

Les virus se montrent en général assez résistants à la dessiccation, à la putréfaction et à l'action de certains antiseptiques; ils possèdent, notamment pour la glycérine, une tolérance marquée.

A ces derniers points de vue, ils se rapprochent davantage des enzymes auxquels on a voulu les assimiler.

La théorie enzymatique des virus fut proposée à peu près simultanément en Allemagne, par Heinzel (10) et, aux Etats-Unis, par Woods (26), à propos de la Mosaïque du Tabac.

Elle connut quelques années de faveur, mais dut être abandonnée lorsque, en 1914, le phytopathologiste américain Allard (1), auquel on doit une étude très approfondie de la Mosaïque du Tabac, annonça qu'il avait réussi à dissocier l'action du virus de celle des oxydases, qui interviennent secondairement dans les manifestations de la maladie.

Les virus sont donc vraisemblablement des microbes très petits que notre technique et nos moyens optiques actuels ne permettent pas de déceler dans les tissus affectés.

Que penser alors des éléments cytologiques anormaux que l'on observe fréquemment, si pas d'une façon constante, dans les tissus affectés de maladies à virus filtrants et que certains auteurs considèrent comme étant les virus eux-mêmes.

Ils ont été observés et décrits par de très nombreux chercheurs. Je ne citerai ici que les aspects signalés par Mc Kinley, Eckerson et Webb (14), dans les tissus jeunes du Froment atteint de la virose connue aux Etats-Unis sous le nom de « Rosette disease ».

Dans mon laboratoire, M. G. Verplancke a retrouvé, notamment chez le Navet, des aspects assez analogues.

Je ne crois pas devoir m'arrêter à l'idée que ce soient là les agents pathologiques eux-mêmes; il faudrait, pour concilier cette hypothèse avec la filtrabilité des contages, admettre que ces organismes, doués d'un polymorphisme très accentué, possèdent des formes ultramicroscopiques.

Sont-ce des produits de désorganisation des éléments cellulaires, et notamment des plastides comme maints aspects tendraient à le prouver, c'est vraisemblable.

Ces corps, comme les corpuscules de Golgi, dans le cas bien connu de la rage, acquiéreraient ainsi une réelle importance comme élément du diagnostic.

Je reste cependant encore assez sceptique à ce sujet.

L'absence de corpuscules dans certains cas de maladies possédant pour le reste tous les caractères des maladies à virus, leur présence constatée en revanche dans les tissus d'individus sains (Doolittle) (7), le fait que Strasburger (23) décrivait, il y a longtemps déjà, dans les éléments libériens du *Robinia Pseudo-Acacia*, des corpuscules ressemblant étonnamment aux X bodies des mosaïques, semble ébranler la confiance que l'on peut mettre en eux.

C'est là, d'ailleurs, une question qui, comme tant d'autres, dans ce domaine si nouveau de l'étude des maladies à virus filtrants, mérite d'attirer toute l'attention des biologistes.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE ⁽¹⁾

1. ALLARD, H. A. — *Mosaic disease of tobacco*. (U. S. Dep. of Agric., pp. 18 et 19, 1914.)
2. ALLARD, H. A. — *Further studies on the mosaic disease of tobacco*, (Journal of Agricultural Research, décembre 1917.)
3. BARNARD. — *Discussion on ultramicroscopical viruses infecting animals and plants*. (Proc. Royal Soc., № B 733, pp. 537 à 560, 1929.)
4. BEYERINCK, M. W. — *Ueber ein Kontagium vivum fluidum als Ursache der Fleckenkrankheit der Tabaksblätter*. (Centralb. f. Bakter. Abt. II, V, 27, 1899.)
5. BRANDES E. W. et KLAFFHAAK P. J. — *Cultivated and wilt hosts of sugar cane or grass mosaic*. (Journal of Agricultural Research, XXIV, pp. 247 à 261, 1923.)
6. COSTANTIN, J. — *La Cure d'altitude, son emploi et son efficacité en Pathologie végétale*. (Ann. Sciences naturelles Botanique, série X, 9, pp. 281 à 284, 1927.)
7. DOOLITTLE, S. P. — *The mosaic disease of cucurbits*. (U. S. Dep. Agric. Bullet., № 879, 1920.)

(1) Cette liste bibliographique ne comporte l'indication que de quelques travaux auxquels il est spécialement référé dans l'exposé qui précède.

Pour une documentation plus complète sur la question des maladies à virus filtrants chez les végétaux, on consultera avantageusement :

Mc KINLEY, E. B. — *Filterable virus diseases*. (Philippine Journal of Science, t. XXXIX, pp. 1 à 469, 1929.)

RIVERS, THOMAS, M. — *Filterable viruses*. (Un vol., Baltimore, 1928.)

VERPLANCKE, G. — *A propos des Maladies de dégénérescence de la Pomme de terre*. (Annales de Gembloux, décembre 1927.)

VERPLANCKE, G. — *Quelques données nouvelles sur les Maladies à virus filtrants*. (Annales de Gembloux, avril 1928.)

8. DUFRENOY. — *Etude cytologique de la mosaïque du Tabac.* (Rev. de Pathol. vég. et d'Entom. agric., XVI, pp. 106 et 107, 1929.)
9. DUNLOP, A. A. — *Effects of mosaic upon chlorophyll content of Tobacco.* (Phytopathology, XVIII, pp. 697 à 700, 1928.)
10. HEINZEL. — *Kontagiöse Pflanzenkrankheiten ohne Mikroben unter besonder Berücksichtigung der Mosaikkrankheit der Tabaksblätter.* (Dissert. Erlangen, 1900.)
11. HOGGAN, I. A. — *The peach aphid (« Myzus persicae » Sulz.), as an agent in virus transmission.* (Phytopath., XIX, pp. 109 à 123, 1929.)
12. IWANOWSKI, D. — *Bull. Acad. Sciences.* (Saint-Pétersbourg, 1892.)
13. JOHNSON, J. — *A virus from potato transmissible to tobacco.* (Abstr. in Phytopathology, XV, pp. 46 et 47, 1925.)
14. MC KINNEY, H. H. ECKERSON, S. H. and WEBB, R. W. — *The intracellular bodies associated with the rosette disease and a mosaiclike leaf mottling of wheat.* (Journ. Agric. Research, XXVI, p. 605, 1923.)
15. MARTIN, CH. — *Discussion on ultramicroscopic viruses infecting animals and plants.* (Proc. Royal Soc., № B 733, pp. 537 à 570, 1929.)
16. MERCKEL, L. — *Beiträge zur Kenntnis der Mosaikkrankheit der Papilionaceen.* (Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, XXXIV, pp. 289 à 347, 1929.)
17. QUANJER, H. M. — *New work on leaf curl and allied diseases in Holland.* (Royal Hortic. Soc. London. Rep. Intern. potato conference, pp. 127 à 145, 1921.)
18. SALAMAN, R. N. — *Discussion on ultramicroscopic viruses infecting animals and plants.* (Proc. of Royal Society, № B 733, pp. 537 à 560, 1929.)
19. SCHIMDT, E. W. — *Zur Mosaikkrankheit der Zuckerrübe.* (Ber. deuts. Botan. Ges., XLV, 9, pp. 598 à 601, 1927.)
20. SEVERIN, H. H. P. — *Transmission of Tomato yellows or curly top of the sugar beets by « Eutettix tenella ».* (Hilgardia, III, 10, pp. 251 à 271, 1928.)
21. SMITH, J. H. — *The transmission on Potato mosaic to Tomato.* (Ann. of applied Biology, XV, 4, pp. 517 à 528, 1928.)
22. SMITH, K. M. — *Discussion on ultramicroscopic viruses infecting animals and plants.* (Proc. Royal Soc., № B 733, pp. 537 à 560, 1929.)
23. STRASSBURGER, E. — *Histological Beiträge.* (III, pp. 173 à 194, 1891.)
24. W. D. VALLEAU. — *Commercial tobacco and curled leaf as sources of tobacco mosaïc.* (Eighteen annual meeting of the Amer. Phytopathol. Soc., décembre 1926-janvier 1927.)
25. WINGARD, S. A. — *Hosts and symptoms of ring spot, a virus disease of plants.* (Journ. Agricult. Research, XXXVII, 3, pp. 127 à 153, 1928.)
26. WOODS. — *The destruction of chlorophyll by oxydizing enzymes.* (Centr. f. Bakter. Abt. II, t. V, 22, pp. 746 à 754, 1899.)
27. YVENGAR, A. V. V. — *Contributions to the study of spike disease of Santal* (« *Santalum album* » L.).