

CHAPITRE I : I. LES MALADIES ET LES ACCIDENTS CHEZ LES PLANTES (LES MALADIES DES PLANTES CONCEPTS GENERAUX).

1. Introduction

1.1. Importance de la pathologie végétale

Depuis que l'homme s'est découvert l'agriculture, il a commencé une étroite cohabitation avec le végétale (pour sa survie car les plantes sont les seuls organismes supérieures à pouvoir convertir et stocker l'énergie lumineuse sous forme de matière organique) mais aussi avec le pathogène de ses cultures qu'il aura s'en débarrasser.

Dans la biosphère, les plantes supérieures, parmi lesquelles les cultures, sont le siège de la photosynthèse. C'est à dire qu'elles sont capables de capter la lumière solaire incidente et de la convertir en biomasse. Ces plantes transforment l'énergie biologique grâce à la présence, dans leurs cellules, de chloroplastes contenant la chlorophylle. Elles sont dites productrices primaires.

Les animaux qui n'ont pas de chlorophylle sont incapables de convertir l'énergie solaire. Ils sont donc obligés de pendre de l'énergie biologique provenant de la photosynthèse par les plantes. Ils prélèvent ainsi, pour se nourrir, une partie de cette énergie stockée dans les divers organes de la plante.

L'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires estimait en 1993 que l'évolution démographique de la planète entraînera une augmentation de la demande de la production ; en céréales l'accroissement des besoins entre 1993 et 2020 était évalué à près 41% tandis que la demande pour les plantes tubéreuses et racines devrait s'accroître de 40% durant la même période. Actuellement, la population mondiale augmente par 1 milliard chaque 11 an. Paradoxalement, les pays en voie de développement dans qui de 50 à 80% de la population prend part à agriculture, ayez la plus basse production agricole, leurs gens, vit sur une alimentation médiocre, et ils ont les plus hauts taux de croissance de la population (2.64%) [2].

« Nous allons à la famine » c'est aussi, dans une certaine mesure, la conclusion du rapport de la F.A.O. sur la Situation de l'Alimentation mondiale au cours de la dernière décennie. C'est un lieu commun de souligner l'extraordinaire accroissement de la population depuis la Deuxième Guerre mondiale [10]. L'évolution de l'effectif de la population mondiale sur la période 1950-2050, telle qu'estimée et projetée par les Nations Unies figure au tableau suivant (en milliards). Ce tableau demanderait à être détaillé, car le concept de "population mondiale" est bien abstrait, et n'est guère opérationnel pour l'action [10]. Quel rôle la protection des cultures jouera-t-elle dans le contexte de l'évolution des besoins alimentaires ?

Quelle soit cultivée ou spontanée, une plante grandit et produit aussi longtemps que le sol lui fourni suffisamment d'humidité et de nutriment, que suffisamment de lumière soit captée par ses

feuilles et que la température reste dans ces limites de tolérance. Malheureusement, lorsqu'une plante est atteinte d'une maladie, sa croissance, sa fertilité et sa productivité sont affectées [5]. Les maladies des plantes diminuent la valeur sélective des plantes.

La phytopathologie est l'étude des organismes et les facteurs de l'environnement qui causent les maladies des plantes; les mécanismes par que ces facteurs induisent les maladies et les méthodes de prévention ou de contrôle de ces maladies [2]. Les agents qui causent les maladies des plantes sont les mêmes ou très semblables à ceux causés les maladies des êtres humains et des animaux. Ils incluent des micro-organismes pathogènes, tel que les virus, bactéries, champignons, protozoaires, nématodes et conditions de l'environnement défavorables. Les plantes souffrent aussi de compétition avec les autres plantes non désirées (mauvaises herbes) et bien sûr, elles sont souvent endommagées par les attaques des insectes [2].

L'absence de contrôle sur une maladie de plante peut avoir des conséquences dramatiques sur la production et la qualité des produits. Il en résulte souvent une augmentation des prix, la possible apparition de toxicité, le bouleversement d'un écosystème qui se répercutent des prix obligatoirement sur l'économie [5]. Le contrôle des maladies induit donc une qualité accrue des produits souvent accompagnée d'un prix élevé dû aux coûts de recherche et de développement. Depuis un siècle, le contrôle des maladies. Les plantes s'est principalement effectué par l'utilisation massive des pesticides qui s'avèrent toxiques non seulement pou les pathogènes, les plantes aussi les consommateurs. Les implications à court et long terme de ces utilisations abusives restent encore difficiles à évaluer [5].

A coté de microorganismes qui provoquent des dégâts aux tissus végétaux sur pied ou en cours de stockage, il en est d'autres qui, sans altérer significativement les matières végétales, leur confèrent des propriétés toxiques pour l'homme ou les animaux.

En effet, La phytopathologie est aux plantes ce que la médecine est à l'homme et la médecine vétérinaire aux animaux. Chacune de ces disciplines étudiées les causes, les mécanismes et le contrôle des maladies affectant les organismes auxquelles elles se rapportent [5,2].

La pathologie de la plante est une science et une profession qui utilise et combine la connaissance de base de botanique, mycologie, bactériologie, virologie, nématologie, anatomie et physiologie végétale, génétique, biologie moléculaire, génie génétique, biochimie, horticulture, agronomie, culture des tissus, science du sol, écologie, chimie, physique, météorologie, et beaucoup autres branches de science [2].

Le concept « **protection des végétaux** » se rapporte à la gestion des différentes productions végétales en vue de les protéger contre les facteurs qui peuvent, directement ou indirectement altérer la quantité et la qualité de produit agricole [3].

En Algérie, Le domaine de la protection des végétaux doit impérativement répondre à 3 types de problématique : d'une part, réduction des pertes de production occasionnées par les agents phytopathogènes, d'assurer une garantie des produits sains, et contribuer, au travers de systèmes de production durables, aux équilibres des écosystèmes. La formation associée à cette mention concerne donc ces 3 grands domaines d'intervention, qui correspondent à des secteurs économiques distincts :

- ✓ À l'échelle de l'agriculture et des services d'appui à l'agriculture, en réponse à un besoin évident du monde agricole (stratégies de protection, agriculture raisonnée).
- ✓ À l'échelle des consommateurs, en appui à des normes renforcées de sécurité, de qualité des produits, au long de filières de production diverses.
- ✓ À l'échelle de la société dans son ensemble, vis-à-vis d'une demande concernant la protection de la santé publique et de l'environnement.

2. Historique:

Depuis que l'homme s'est découvert l'agriculture, il a commencé une étroite cohabitation avec le végétale (pour sa survie) mais aussi avec le parasite de ses culture et qu'il aura s'en débarrasser. Ainsi commence l'histoire de l'homme et de parasite.

La phytopathologie à commencé dès les origines de l'agriculture, où la protection des cultures contre les mauvaises herbes, ravageurs et maladies était essentielle pour la survie des individus [5]. En effet, l'agriculture à créa des conditions favorables aux maladies des plantes cultivées en concentrant des populations de végétaux sur certaines surfaces et en effectuant des cultures successives de la même plante sur une même sole [2]. Les anciens (grecs, hindous, chinois ou aztèques) Avaient une connaissance très nette de l'existence de maladies chez les végétaux cultivées [3]. Autour 2000 avant Jésus-Christ, une maladie appelée **samana (maladies des orges)** a été mentionnée [7]. En outre, les livres des anciens Testament, datés de cinquièmes au huitième siècle avant Jésus-Christ contient des références sur les moisissures de récoltes qui ont créé un grand malheur pour l'humanité [7]. Dans le troisième siècle avant Jésus-Christ, plusieurs écrits grecs apportent des références sur les maladies des plantes [7]. Un Grec nommé **Cleidemus** est connu comme le premier pathologiste des plantes et le grand-père de la pathologie végétale d'après McNew (1963). Il a fait des observations sur les maladies des raisins, figuiers, et olives [7].

Dans de nombreuses références anciennes, les maladies des plantes ont été considérées comme une malédiction et une punition du peuple par Dieu pour les torts et les violations qu'ils avaient commis [2]. Ils attribuent ces phénomènes à des causes divines et envisagent essentiellement comme moyens de lutte des incantations magiques ou des cérémonies destinées à apaiser les dieux [3]. Dans le quatrième siècle, les Romains ont souffert tant de la faim provoquée

par les destructions répétées de cultures céréalières par les rouilles et les autres maladies [2]. Dans son livre *Rerum Rusticarum* Marcus Terentius Varro (116-27 avant Jésus-Christ) a mentionné dieu Robigus parmi les dieux d'être rapproché. Selon Varro, Robigus est le "dieu de la rouille," qui a dû protéger les céréales contre la rouille [2]. Le Robigalia est exécuté en avril ou mai chaque année quand la rouille devient notable. Autres dieux tel que Flore, Ceres (Les grains), Bacchus (Les raisins), et Minerva (les olives) aussi qui ont été rapproché par les romains. Dans son écriture *Historia Naturalis*, Pliny (23-79 Apr. J.C.) a décrit beaucoup de mesures du contrôle contre les maladies des plantes. Il a mentionné le traitement des graines des céréales avec le vin ou une fabrication d'extrait des feuilles du cyprès. Palladius (autour quatrième à cinquièmes siècles) a écrit sur le sujet de maladies des plantes dans son *Re De Rustica*. Il a mentionnée la susceptibilité de différents cultivars aux maladies et a suggéré le système sanitaire à travers le déménagement des plantes malades.

Théophraste tenta d'établir une relation entre les maladies des plantes, la marche des corps célestes et les facteurs du climat. Il présentait également les différences de sensibilité des variétés des plantes cultivées vis-à-vis des maladies [1]. Les contributions de Théophraste et les connaissances sur les maladies des plantes ont été assez limité et influencé par les croyances de son époque. Il a observé que les maladies des plantes étaient beaucoup plus courantes et sévères dans les plaines que sur les altitudes et que certaines maladies, par exemple, la rouille, ont été beaucoup plus fréquentes et graves sur les céréales que sur les légumineuses [2].

Les maladies des plantes ont joué un rôle déterminant dans plusieurs événements historiques. Au début de 17^e siècle, les armées de Tsar des Russies sur le point d'écraser les Ottomans, furent décimées en consommant de la farine de seigle empoisonnée par des alcaloïdes provenant du champignon de l'ergot [1].

En 1846, les pertes provoquées par l'introduction en Irlande du champignon *Phytophthora infestans* l'agent du mildiou de la pomme de terre, décimèrent la population et provoquèrent une émigration massive vers les nouveau Monde. C'est encore le mildiou qui ravagea des cultures de pomme de terre en Allemagne en 1916, provoquant en 1917, parmi la population civile, des famines qui sapèrent l'effort de guerre de la Prusse [1].

En 1600 un groupe de chercheurs français ont remarqué la sévérité de la rouille de blé près de l'épine vignette que loin d'eux. Ils ont créé des Réglementations qui obligent les agriculteurs de détruire cette culture pour protéger les récoltes de blé [1].

C'est la phytopathologie aussi qui des Anglais les buveurs de thé que nous connaissons, alors qu'ils étaient buveurs de café jusqu'aux alentours de 1880, époque à laquelle les caféiers de Ceylan furent détruits par le champignon responsable de la rouille (*Hemileia vastatrix*) et remplacés par des théiers [1].

En 1665, Hook décrit la première observation microscopique d'un champignon phytopathogène avec une précision proche de celle des techniques contemporaines [1].

En 1670, un médecin français a observé que la maladie de l'ergotisme semble être associée à la consommation des grains de l'ergot contaminé [1].

En 1729, Micheli montra que les champignons saprophytes (*Mucor*, *Aspergillus*) qui apparaissent sur des tranches de melon stériles, se développent à partir des spores transportées par l'air [1, 2].

C'est en 1807, que Prévost a démontré d'une façon claire, que la carie des céréales était causée par un champignon parasite exogène, créant ainsi les bases de la phytopathologie [1].

2. Signification d'une maladie chez une plante :

2.1. Définition d'une maladie de plante :

Une maladie de plante peut être **par** une succession de réponses invisibles et visibles des cellules et des tissus d'une plante, suit à l'attaque d'un microorganisme ou la modification d'un facteur environnemental qui provoque des bouleversements de forme, de fonction ou d'intégrité de la plante. Ces réponses peuvent induire une altération partielle voire la mort de la plantes ou de certains de ces parties [2]. Les maladies des plantes sont parfois regroupées par types des symptômes (maladies des flétrissements, maladies des pourritures, les taches foliaires, les rouilles). Par type d'organes qu'elles affectent (maladies racinaires, maladies des tiges, maladies racinaires). Par type des plantes affectées (herbacées, maraichères), mais le critère le plus utile reste la classification par le pathogène responsable [2].

2.1.1. Maladies infectieuses causées par :

- ✓ Des champignons
- ✓ Des procaryotes
- ✓ Des virus
- ✓ Des plantes supérieures parasites.
- ✓ Par des protozoaires
- ✓ Par des nématodes

2.1.2. Maladies non infectieuses (abiotiques) causées par :

- ✓ Températures trop basses ou très hautes
- ✓ Manque ou excès d'humidité
- ✓ Manque ou excès de lumière
- ✓ Manque d'oxygène
- ✓ Déficiences nutritionnelles
- ✓ Pollution atmosphérique

- ✓ Toxicité minérale
- ✓ Toxicité des pesticides

3. Conséquences des maladies des plantes

3.1. Dégâts et pertes :

Quelle est l'importance des dégâts dus aux maladies mais également aux ravageurs animaux et aux plantes adventices qui concurrencent les cultures ? Question simple en apparence mais de telles données font souvent défaut. Ces évaluations doivent prendre en compte les pertes directes au champ et ainsi que les pertes indirectes de rendement qui se manifestent tout au long des filières de commercialisation et des chaînes de transformation des productions végétales [11].

3.2. Effet sur la production

Malgré les importants moyens de lutte actuellement utilisés, les maladies de plantes entraînent toujours des pertes considérables de production qui varient selon le type de culture. L'intensité et le type de lutte utilisés. On estime que 10% de la production potentielle mondiale est perdue suite aux maladies de plantes. A cela s'ajoute les pertes dues aux ravageurs, aux plantes concurrentes, et les pertes après récolte. Dans certains pays d'Afrique les conséquences de telle pertes de traduisent souvent par des famines lors de conditions climatiques défavorables. Ainsi, les maladies de plantes peuvent être à l'origine de graves problèmes économiques et sociaux. L'histoire de la phytopathologie est marquée par de nombreuses épidémies dévastatrices dont celle de 1942 où la récolte indienne de riz fut détruite à 90% par *Heminthosporium orizae*. Cette épidémie causa une famine responsable de la mort de milliers de personnes.

3.3. Effets sur la valeur ajoutée

Les maladies des plantes peuvent affecter les produits après leurs récolte ou encoure diminuer leur qualité et donc leur valeur ajoutée. On estime que dans certains cas les pertes après récolte s'élèvent jusqu'à 40% de la production potentielle. Transports, traitements, stockages, distribution, consommateurs autant d'étapes où la maladie peut survenir. De nombreux pathogènes, comme les champignons et moisissures, sont présent dans les champs ou dans les lieux de stockages. Ils peuvent se développer sur les fruits comme les nombreuses espèces de Botrytis qui provoquent des pourritures sur les fraises, les raisins, les pommes ect. La qualité phytosanitaire peut également être affectée. En effet, certaines mycotoxines secrétées par les parasites peuvent rendre les produits impropres à la consommation ou à leur utilisation pour transformation. Les maladies peuvent porter préjudice à l'aspect des produits et à leur commercialisation. Des affections

abortives de *Botrytis cineria* lors de conditions climatiques défavorables provoquent des taches sur l'épiderme des fruits sans toutefois affecter les qualités organoleptiques des fruits.

4. Maladies des plantes et accroissement de la production agricole (Les ravageurs et la notion de risque en agriculture)

Une mesure du risque que représentent les ravageurs des cultures est constituée par les pertes de rendement qu'ils occasionnent. La notion de perte de récoltes est liée à celle de rendement potentiel, accessible, et réel. Le rendement potentiel est déterminé par un ensemble de facteurs physiques (température et rayonnement, en particulier) et physiologiques (paramètres de la photosynthèse et de la respiration), qui sont génétiquement fixés pour une plante donnée. Le rendement accessible prend en compte un certain nombre de facteurs qui limitent l'expression d'un génotype dans une situation de production donnée : l'alimentation hydrique et minérale, en particulier.

Le rendement réel incorpore les réductions associées aux ravageurs, ou aux calamités climatiques. La définition utilisée par la FAO pour une perte de récoltes est *l'écart qui sépare le rendement accessible du rendement réel*. D'autres indices pourraient être envisagés : les ravageurs des cultures ont des impacts économiques, sociaux, et parfois politiques.

CHAPITRE II. LES PRINCIPES DE LA PHYTOPATHOLOGIE GENERALE

1. Principe propre a une maladie

1.1. Le « triangle de la maladie »

Il est important de se rappeler qu'une «maladie» n'est pas exactement la même chose qu'un «agent pathogène» ! Une façon d'envisager cela, est de penser à la maladie comme une interaction avec trois pièces nécessaires :

1) Tout d'abord, il doit y avoir un hôte qui est susceptible (prédisposé) à devenir malade. Par exemple, certains champignons pathogènes des plantes principalement attaquent les jeunes racines et plants, donc nous pouvons dire que les plantes plus âgées ne sont pas susceptibles à la maladie.

2) Deuxièmement, il doit y avoir un agent pathogène, que nous appelons parfois «l'agent causal», qui est capable d'attaquer la plante.

3) Troisièmement, l'interaction entre l'agent causal et la plante doit se produire dans un environnement qui est favorable (propice). Par exemple, certains agents pathogènes des plantes dans le sol ne peut attaquer quand il ya beaucoup d'eau dans le sol, tandis que d'autres sont plus actifs dans le sol sec. De nombreux champignons que les feuilles des plantes d'attaque nécessitant une pellicule d'eau sur la surface des feuilles en vue de pénétrer dans la plante.

Nous pouvons illustrer l'importance de ces trois facteurs avec un modèle appelé la «triangle de la maladie» (Figure 1). Le triangle de la maladie fournit également un moyen de penser à lutter contre les maladies des plantes, car si nous pouvons éliminer ou de réduire l'importance de l'une quelconque des trois côtés du triangle, nous pouvons éliminer ou de réduire la maladie. Sauf les trois côtés du triangle sont présents, la maladie ne se produira pas.

Par exemple, pour un champignon pathogène, l'application d'un fongicide peut tuer l'agent pathogène et éliminer le côté du triangle "pathogène virulent". Or, si nous planter des cultures avec une résistance génétique à un agent pathogène («résistance» est le contraire de «susceptibilité»), nous pouvons éliminer ou réduire le côté du triangle de la maladie étiqueté «hôte sensible". Comme autre exemple, parce que certains agents pathogènes des plantes ont besoin d'eau pour attaquer les racines des plantes, nous pouvons éliminer l'«environnement favorable» en drainant l'eau du sol, ou par planter lorsque le sol est sec.

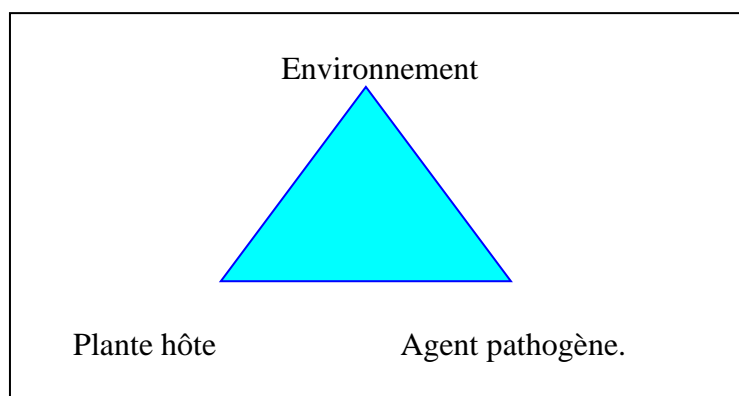
Pour toutes les maladies des plantes, nous pouvons penser à des façons d'utiliser le triangle de la maladie pour découvrir des mesures de lutte contre la maladie.

1.2. Développement de la maladie dans les plantes

Une plante devient malade dans la plupart des cas, quand elle est attaquée par un agent pathogène ou quand elle est touchée par un agent abiotique. Par conséquent, dans le premier cas, pour que la maladie produite, au moins deux éléments sont nécessaires, la plante et l'agent pathogène doivent venir en contact et doivent interagir. Si, au moment du contact, les conditions

sont trop froides, trop chaudes, trop secs, l'agent pathogène peut être incapable d'attaquer la plante. Apparemment, une troisième composante, à savoir un ensemble des conditions environnementales. Chacune des trois composantes présentes une variabilité considérable, peut affecter le degré de la sévérité de la maladie au sein d'une plante individuelle et au sein d'une population végétale. Par exemple, la plante peut être d'une espèce ou variété qui peut être plus ou moins résistantes à l'agent pathogène ou il peut être trop jeune ou trop vieux pour ce pathogène préfère. De même, l'agent pathogène peut être d'une race plus ou moins virulente, il peut être présent en petit nombre, il peut être dans un état de dormance, ou elle peut exiger d'un film d'eau ou d'un vecteur spécifique. Enfin, l'environnement peut affecter à la fois la croissance et la résistance de la plante hôte et également le taux de croissance ou la multiplication et le degré de virulence du pathogène, ainsi que sa dispersion par le vent, l'eau, vecteur, et ainsi de suite.

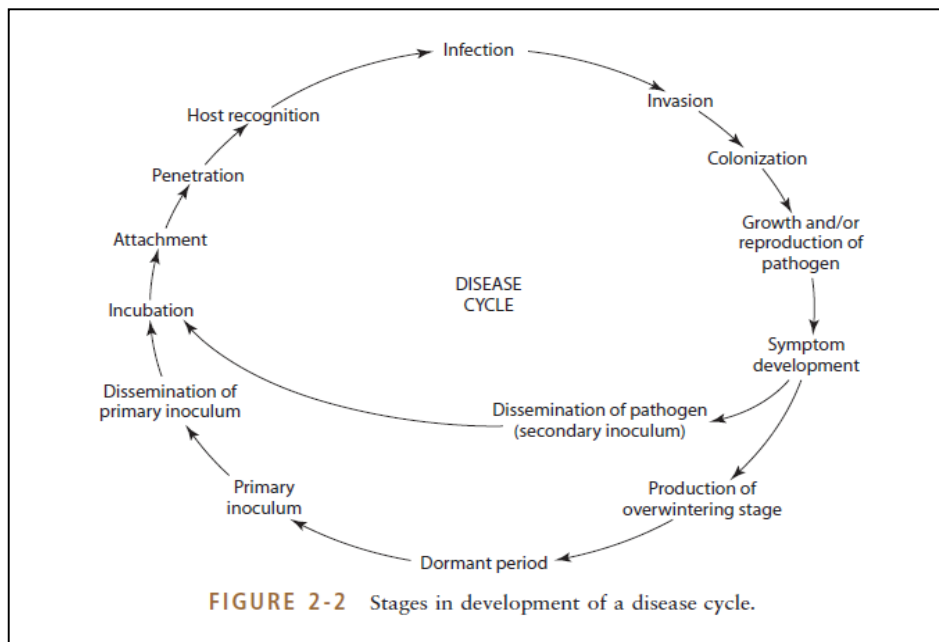
Les interactions des trois composantes de la maladie ont souvent été distingué comme un triangle, généralement appelé le "triangle de la maladie." Chaque côté du triangle représente l'une des trois composantes. La longueur de chaque côté est proportionnelle à la somme des caractéristiques de chaque composant qui favorisent la maladie.



Triangle de la maladie

1.3. Étapes dans le développement de la maladie: le cycle de la maladie

Dans chaque maladie infectieuse une série d'événements plus ou moins distincts se produisent et entraînent le développement et la perpétuation de la maladie et de l'agent pathogène. Cette chaîne d'événements est appelée **un cycle de la maladie**. Un cycle de la maladie correspond parfois au cycle de vie du pathogène, mais il se réfère principalement à l'apparition, le développement et la perpétuation de la maladie. Le cycle de la maladie implique des changements dans la plante et de ses symptômes ainsi que ceux de l'agent pathogène. Les événements primaires dans un cycle de la maladie sont l'inoculation, la pénétration, l'établissement de l'infection, la colonisation (l'invasion), la croissance et la reproduction de l'agent pathogène, la diffusion de l'agent pathogène, et la survie de l'agent pathogène en l'absence de l'hôte.



3. principe de diagnostic

3.1. Le diagnostic en phytopathologie :

Le diagnostic en pathologie végétale, ou *phytodiagnostic* constitue l'une des activités fondamentales liées au triangle de la maladie de la pathologie végétale. Il consiste en la détection, l'identification et la caractérisation des agents phytopathogènes des plantes (champignons, bactéries, virus) et constitue un enjeu important pour la maîtrise et le contrôle des maladies des plantes.

Le phytodiagnostic recouvre en effet deux aspects distincts :

L'identification : dans ce cas sur la base d'un individu ou d'une population d'individus présentant une symptomatologie précise, l'objectif sera de mettre en évidence et d'identifier l'agent pathogène responsable des symptômes observés.

La détection : il s'agit alors de rechercher, par l'intermédiaire d'une méthode d'une méthode éprouvée.

Les techniques mises en œuvre pour le diagnostic sont variées

- a. **Observation et classification des symptômes**
- b. **Observation et caractérisation des agents pathogènes par examen visuel**
- c. **Isolement et culture des agents phytopathogènes sur milieux artificiels.**

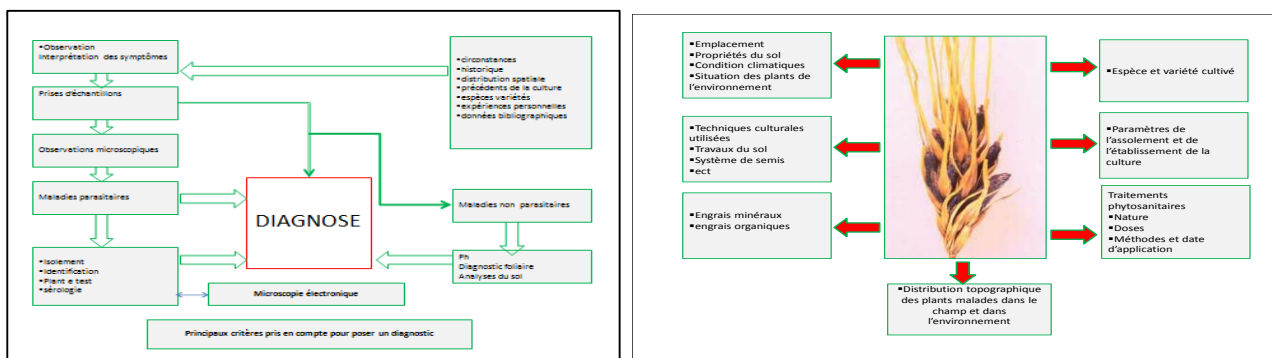
3.2. Observation des symptômes et interprétation des circonstances de leur développement

Une observation précise des symptômes et leur évolution chez la plante hôte constitue la première étape de diagnostic. Les symptômes sont parfois suffisamment définis et spécifique pour permettre d'identifier correctement la cause d'une maladie sans nécessiter d'autre analyse.

Le plus souvent cependant, les situations rencontrées sont complexes, différents agents peut induire des symptômes similaires tandis qu'inversement, un même agent peut produire des symptômes variables selon les circonstances. De plus, les symptômes les plus visibles ne s'expriment pas nécessairement au site d'action primaire de l'agent causal ; ainsi, certains agents pathogène responsables de la nécrose du système racinaire provoquant d'abord des flétrissements ou des échaudages des parties aériennes de la plante.

3.4. Evaluation de la maladie :

L'estimation des maladies (*disease assessment*), ou la phytopathométrie, constitue une étape fondamentale qui implique la mesure et la quantification de la maladie, et par conséquent l'étude et l'analyse des épidémies des maladies des plantes COOKE, (2006). Leur importance réside en effet, pour prévoir le développement des épidémies et développer par la suite un système de support et de décision pour contrôler les maladies des plantes (Vidhyasekaran, 2003).



La quantification de la maladie doit satisfaire à un certain nombre d'exigences spécifiques. Il est indispensable, notamment, de standardiser des méthodes objectives d'appréciation de l'intensité des symptômes, de transposer ces intensités en niveaux de dégâts sur la base d'une expérimentation au champ et de traduire ultérieurement ces dégâts en termes de pertes économiques (Semal, 1993). Selon INFANTINO *et al*, (2006) la majorité des principes d'évaluation des maladies est partagée entre les pathogènes telluriques et aériennes. La maladie peut être mesurée en utilisant des méthodes directes (évaluation de la maladie sur le matériel végétal) ou des méthodes indirectes (par exemple la surveillance de la population de spores). Les méthodes directes sont susceptibles d'être plus fortement corrélée avec les pertes de rendement dans la culture et doivent donc être privilégié. Cependant, les méthodes récentes impliquant la télédétection et la détection de stress des cultures en raison de la maladie sont susceptibles d'augmenter la précision des mesures indirectes de la maladie. Les méthodes directes sont concernés à la fois les estimations quantitatives et qualitatives de la maladie.

2.5. Evaluation quantitative direct

L'appréciation directe des maladies est typiquement faite par l'évaluation de deux paramètres : l'incidence ou la fréquence et la sévérité.

La fréquence ou l'incidence de la maladie peut être définie comme le nombre d'unités des plantes qui sont visiblement malade, relatif au nombre total estimé. On peut, par exemple, déterminer la proportion de plantes malades par champ ou la proportion des tissus malades par plante comme représentations de fréquence (MADDEN *et al* , 1999). L'incidence aussi défini par SEMAL, (1993) comme le moyen le plus rapide pour la mesure de la maladie ; il nécessite seulement le comptage du nombre d'unités malades qui peut être exprimé par un pourcentage du nombre total d'unités.

$$\text{incidence } I = \frac{\text{nombre des plantes malades}}{\text{nombre totale des plantes}} \times 100$$

L'incidence de la maladie est une variable binaire, c'est à dire une unité d'installation est soit (visiblement) malades ou non (Madden et Hughes, 1999).

La sévérité de la maladie peut être définie comme la région ou le volume de tissu de la plante qui est (visiblement) malade, habituellement relatif au tissu de la plante total (3). C'est une variable continue, typiquement limité par 0 et 1, et une mesure de la qualité de plante le tissu, pas le nombre d'unités de la plante a affecté (MADDEN *et al* , 1999).

Le degré de sévérité peut être exprimé par la proportion d'organes présentant des symptômes; ce système convient pour les systémiques généralisées ou pour celles où l'attaque déprécie complètement le produit de la récolte SEMAL, 1993.

La sévérité de la maladie peut être définie comme la région ou le volume de tissu de la plante qui est (visiblement) malade, habituellement relatif au tissu de la plante total (3). C'est une variable continue, typiquement limité par 0 et 1, et une mesure de la qualité de plante le tissu, pas le nombre d'unités de la plante a affecté (MADDEN *et al* , 1999)

$$\text{Sévérité } S = \frac{\text{Surface des tissus malades}}{\text{surface totale des tissus}} \times 100$$

Contrairement à l'incidence, la sévérité de la maladie est une variable continue généralement lié par 0 et 1, et une mesure de la qualité des tissus végétaux plutôt que le nombre d'unités des plantes touchés (Madden et Hughes, 1999). En général, l'incidence est plus facile et plus rapide pour évaluer la sévérité.

Cependant, la sévérité peut être une mesure plus importante et utile pour de nombreuses maladies et est parfois mesurée par le nombre de colonies (ou lésions) par unité d'installation (la densité la maladie) (Xu et Madden, 2000). Les relations entre l'incidence et la sévérité (I, S relations) sont des exemples de données comprenant une hiérarchie spatiale et sont un concept épidémiologique important ; toute relation quantifiable entre les deux paramètres peut permettre plus précis (c.-à-bêta-distribution binomiale), des difficultés peuvent surgir dans la détermination des mesures statistiques de sévérité.

La sévérité de la maladie est évaluée par l'attribution d'une valeur de qualité (la valeur d'échelle) en fonction de la zone d'infection. La sévérité de la maladie est généralement évaluée en utilisant soit les touches descriptives ou picturales. Le diagramme standard illustre les étapes du développement d'une maladie sur des unités simples (par exemple, feuilles, fruits) ou sur de grandes unités tels que des branches ou des plantes entières. Ces schémas standards sont dérivés d'une série de photos des symptômes de la maladie, qui peut être sous la forme de dessins au trait, photographies, ou de spécimens conservés (Cooke, 1998).

La sévérité de la maladie est évaluée en utilisant des catégories arbitraires. Horsfall et Barratt (1945) ont proposé une échelle logarithmique pour la mesure de la sévérité des maladies des plantes, dans lequel 12 classes ont été attribués en fonction de la surface foliaire malade, en gardant 50 pour cent comme un point central. Des systèmes de classification composée de cinq degrés (1, 2, 3, 4, et 5 ou 0, 1, 2, 3, et 4) ou neuf degrés (1, 3, 5, 7, et 9 ou 0 à 9) sont couramment utilisés.

Tache des agrumes causée par *Mycosphaerella citri* a été évaluée en utilisant une échelle de 0 à 5 (Timmer et al., 2000). Symptômes grasseuses sur les dix premiers feuilles de chaque plante ont été noté sur une échelle de la surface foliaire touchée par la maladie (Timmer et al., 2000). La maladie *Monosporascus* dans le concombre a été évaluée en utilisant une échelle de 1 à 5 (Bruton et al, 2000.) Comme suit: 1 = bonne santé avec aucune lésion ou la décoloration, 2 = légère décoloration, 3 = décoloration modérée et / ou avec des lésions, 4 macération = modérée, et 5 = macération grave.

0 = aucun ; 1 = 1 à 5 pour cent ; 2 = 6 à 10 pour cent ; 3 = 11 à 15 pour cent ; 4 = 16 à 20 pour cent ; 5 = plus de 20 pour cent

La tache bactérienne (*Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatoria*) de poivron a été évaluée en utilisant une échelle de 0 à 9 :

0 = pas de feuilles malades ; 1 = surface foliaire <1 pour cent malades ; 2 = 2 à 10 pour cent de la surface foliaire malade ou défolié ; 3 = 11 à 20 pour cent de la surface foliaire malade ou défolié ; 4 de la surface foliaire = 21 à 35 pour cent malades ou défolié ; 5 de la surface foliaire = 36 à 50 pour cent malades ou défolié ; 6 = 51 à 65 pour cent de la surface foliaire malade ou défolié ; 7 = 66 à 80 pour cent de la surface foliaire malade ou défolié ; 8 = 81 à 99 pour cent de surface foliaire feuilles

malades et très peu (une à trois) en restant sur la plante ; 9 défoliation complète = (plantes expirant ou mort)

La sévérité de la maladie est également calculée en mesurant la hauteur à laquelle l'infection se propage dans une plante infectée (progression de la maladie verticale).

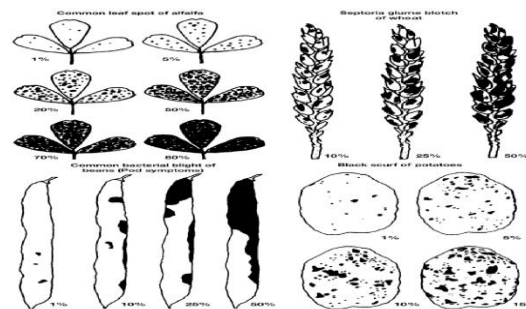


Figure 2.3. Examples of pictorial assessment keys for estimating disease severity (after James, 1971).

3. Prélèvement des échantillons :

Lorsque le diagnostic ne peut être établi dans le champ, il y aura lieu de prélever des échantillons en vue d'analyses subséquentes. Ce prélèvement doit être effectué avec le plus grand soin, car de sa qualité dépendra la réussite des étapes ultérieures (observation microscopiques, isolement). Il est toujours préalable de prélever des plantes entières, plutôt que de se limiter aux organes qui semblent altérés. En effet, si pour des raisons de commodité, les clés de détermination de la maladie sont généralement conçues en fonction des organes atteints, un examen complet de la plante et souvent nécessaire, les symptômes apparent pouvant n'être que la manifestation indirecte d'une cause s'expriment sur une autre partie de l'hôte.

Il est également judicieux de prélever des échantillons à plusieurs stades d'évolution de la maladie, notamment des plantes présentant au début des symptômes (en vue d'isoler l'agent pathogène et d'observer ses fructifications) ou montrant un stade avancé de l'affection (présence des organes de conservation du parasite).

II. Techniques d'identification de laboratoire :

1. Le postulat de Koch

Robert Koch décrivit en 1881 des méthodes d'isolement des bactéries et champignons pathogènes, en énonçant un postulat qui précise les étapes successives auxquelles il doit être satisfait pour pouvoir établir une relation causale entre une maladie et un microorganisme. Bien que ce postulat ait été formulé pour des maladies infectieuses de l'homme, il peut être transposé aux principales affections parasitaires des végétaux.

Les étapes du postulat de Koch appliquée à la phytopathologie s'énoncent comme suit :

1. L'agent doit être présent chez les plantes malades, et absent chez les plantes saines
2. L'agent doit pouvoir isoler de plantes malades et multiplié sur en culture axénique
3. Lorsque l'agent en culture pure est inoculé à une plante saine, il doit induire les symptômes caractéristiques de la maladie
4. A partir des plantes ainsi infectées expérimentalement, on doit pouvoir isoler l'agent pathogène.

La réalisation complète ou partielle de postulat de Koch fait appel à un ensemble de techniques d'observation (microscopique), nécessaire pour la détection et l'identification du parasite in situ, de techniques d'isolement de l'agent pathogène à partir des tissus de l'hôte, de méthodes de production de l'inoculum en culture pure et d'inoculation des plantes hôte en laboratoire.

2. Diagnostic des maladies dues aux champignons :

2.1. Examen des échantillons :

Un simple examen attentif de la surface des échantillons de plantes malades à l'aide d'une loupe binoculaire, suffit parfois à mettre en évidence des fructifications de champignons.

L'incubation, dans une enceinte humide, d'échantillons portant de jeunes lésions, peut induire le développement des fructifications de l'agent pathogène. On lave préalablement l'échantillon à l'eau courante et on découpe des fragments qui seront placés en boîte de Petri sur un papier filtre humidifié avec l'eau distillée stérile. En vue de la réalisation d'observations microscopiques, on fera généralement des montages extemporanés dans l'eau. Les fragments de matériel frais peuvent être placés entre lame et lamelle, de préférence dans le lactophénol d'Amann afin de réaliser une fixation rapide évitant l'altération de matériel. On peut colorer spécifiquement les parois des hyphes mycéliens avec le bleu coton à 0,5% ou avec le bleu Trypan 0,1% dans l'acide lactique ou le lactophénol.

2.2. Isolement de l'agent pathogène :

2.2.1. Les milieux de culture

En dehors de quelques parasites dénommés obligatoires, on peut cultiver actuellement, in vitro un grand nombre de champignons sur des substrats nutritifs ; ceux-ci de composition extrêmement variée, peuvent être liquides ou solides. Dans ce cas dernier le support le plus usuel est un gel de gélose. Classiquement on distingue les milieux de culture synthétiques ou minéraux et les milieux naturels ou organiques.

2.2.2. Verrerie Utilisée

La verrerie la plus fréquemment utilisée en mycologie comprend :

- ✓ Des tubes droits de différents diamètres pour les milieux liquides ou gélosés
- ✓ Des tubes étranglés de Roux pour fragments de végétaux.
- ✓ Des boîtes de pétri de différents diamètres qui sont d'un emploi journalier au laboratoire.
- ✓ Des fioles d'Erlenmyer de diverses contenances utilisées aussi bien pour les milieux liquides que gélosés
- ✓ Des boîtes de Roux employées généralement des milieux liquides

2.2.3. Préparation, stérilisation et conservation des milieux de culture

Les substances qui entrent dans la composition de milieu de culture doivent être dissoutes dans l'ordre indiqué par les formules. Pour l'obtention de milieux solides, la gélose en paillettes (ajoutée en quantité variable selon les besoins), est dissoute au bain marie ; cette dissolution doit être complète avant de répartir les milieux dans la verrerie. Le pH en générale légèrement acide, est ajusté à l'aide de soude, d'acide chlorhydrique ou phosphorique.

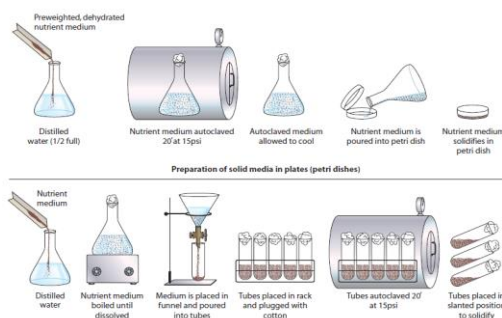
Stérilisation

En règle générale, les milieux renfermant les sucres ou des substances organiques sont stérilisés par autoclavage de 30 minutes à 104°C, les milieux entièrement minéraux sont stérilisés à 120°C pendant 20 minutes.

L'identification précise des champignons peut nécessiter leur isolement à partir des tissus de l'hôte et leur culture sur milieu approprié. Cependant, comme les zones altérées contiennent non seulement l'agent parasite, mais également des saprophytes qui peuvent compliquer l'isolement du parasite en cause et donc le diagnostic, divers techniques visent à favoriser le pathogène ou détriment la microflore banale. Les différentes étapes de l'isolement d'un agent pathogène comprennent le choix de l'échantillon végétal et sa désinfection éventuelle, le dépôt du fragment désinfecté sur un milieu nutritif et l'obtention du parasite en culture pure.

Le choix judicieux du fragment végétal à disposer sur le milieu de culture contribue grandement à l'élimination de la microflore banale. On préfère le tissu situé au niveau du front d'avancement des symptômes plutôt que les tissus colonisés de longue date par le parasite. En l'absence de saprophytes, il est possible, il est possible d'isoler directement le parasite à partir de fructifications que l'on obtient en plaçant le tissu porteur de lésion en chambre humide. Après quelques jours d'incubation, on prélève les spores sous la loupe binoculaire et on les inocule sur un milieu nutritif en boîte de pétri. Dès la formation des jeunes colonies, on effectue des repiquages en tubes inclinés.

Le plus souvent, il faudra procéder à la désinfection préalable des tissus malades. Dans le cas de parasite superficiels sur tissu végétaux, une telle désinfection doit éliminer les saprophytes de la surface végétale tout en respectant l'agent pathogène, de sorte le choix de désinfectant, sa concentration et la durée de son action doivent être définis pour chaque cas particulier. Pour un parasite colonisant les tissus conducteurs, on peut procéder à une désinfection superficielle poussée et découper ultérieurement l'échantillon afin de mettre les vaisseaux colonisés au contact de milieu de culture.



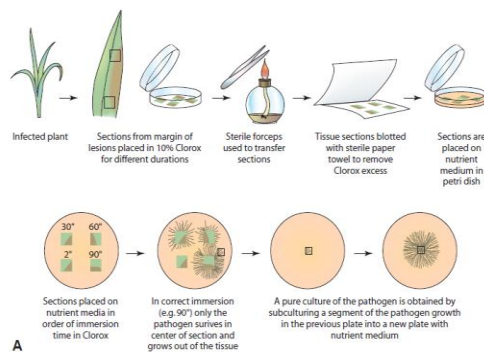
4. La mise en culture des échantillons

Après désinfection éventuelle, le fragment de plante malade est disposé sur un milieu nutritif liquide, ou solidifier par addition d'agar. Le fragment désinfecté peut être aussi écrasé dans l'eau distillé stérile et le milieu nutritifensemencé par épuisement à l'aide d'un fil de platine trempé dans l'inoculum. Les parasites de système conducteur se développeront à partir des vaisseaux. Les colonies isolées sont repiquées sur différents milieu de culture.

Aucun milieu ne permet une croissance optimale de l'ensemble des champignons et de bactéries. La plupart des champignons croissent parfaitement sur des milieux riches en glucides et dont le pH est compris entre 5 et 6. On peut renforcer la sélectivité du milieu en ajoutant des inhibiteurs qui exercent une action différentielle sur les microorganismes (antibiotiques, détergents).

Les oïdiums et certain agents de rouille ou de mildiou, sont incapables de se développer sur les substrats artificiels ou exigent des milieux très élaborés. Il est néanmoins possible d'obtenir des

cultures pures de ces parasites obligatoires par inoculation de tissus ou d'organes détachés, maintenu en survie sur des solutions de cytokinine à la concentration de 1 à 3ppm.



5. Conservation et protection des cultures

Les champignons ne semblent pas capables de poursuivre indéfiniment leur développement leur croissance, après un certain temps les souches deviennent sénescentes puis meurent. Pour les conserver, il est donc nécessaire d'augmenter la longévité des cultures. Certains traitements peuvent accroître cette longévité et permettent de rajeunir les souches sénescentes ; l'augmentation de la durée de vie est fonction de temps de traitement.

- a. **Conservation à basses températures :** Les basses températures augmentent considérablement la longévité des cultures. Les souches sont conservées à 4°C sur milieu gélosé pauvre. Le milieu de Sabouraud non sucré est couramment utilisé, ainsi que l'eau de pomme de terre et le Malt. Les repiquages ne sont font qu'au rythme d'un tous les six mois.
- b. **Conservation sur milieu inhibiteur de croissance :** Certains milieux, en particulier ceux sans ions de manganèse, diminuent considérablement la vitesse de croissance.
- c. **Lyophilisation :** Cette technique est de plus en plus utilisée ; elle consiste à dessécher sous vide et à basse température du mycélium ou des spores. Après de nombreuses années (20 ans), plus de la moitié des souches est encore viable.

6. Inoculation des plantes hôte :

L'inoculation consiste à mettre en contact une plante hôte sensible et un agent pathogène, dans des conditions d'environnement (t°, HR) favorable à l'infection. Pour la plupart des champignons, les spores sont appliquées sur la partie aérienne ou sur les racines des plantes maintenue en atmosphère humides pendant 24 à 48 heures (période nécessaire à la germination et à la pénétration des tubes germinatifs dans les tissus de l'hôte).

7. Etude de pouvoir pathogène des champignons.

7.1. Les capacités intrinsèques de l'agent pathogène

Le terme « capacités intrinsèques » de l'inoculum recouvre plusieurs propriétés : La capacité à se développer et à survivre dans le sol, ce sont les capacités saprophytes de l'inoculum, la capacité à infecter une ou plusieurs espèces végétales, c'est le pouvoir pathogène de l'inoculum. L'ensemble des espèces végétales concernées constitue le spectre d'hôtes de l'agent pathogène.

7.2. La capacité saprophyte

Dans le sol, les champignons pathogènes survivent de différentes manières, de façon active sur des débris organiques ou de façon inerte sous forme par exemple de spores de conservation ou de sclérotés. Quoi qu'il en soit, pour réaliser l'infection de l'hôte, l'agent pathogène doit se développer de manière saprophyte pour arriver au contact de l'organe à infecter. Cette capacité à la croissance saprophyte peut varier d'une souche à l'autre.

La possibilité pour un champignon phytopathogène de se développer de façon saprophyte dans le sol est importante à connaître :

- Pour comprendre comment il se multiplie et se conserve en absence de l'hôte sensible,
 - Pour expliquer les fluctuations rapides ou lentes de la densité d'inoculum. Garrett (1956) définit la « capacité saprophyte en compétition » ou CSA (Competitive Saprophytic Ability) comme la somme des caractéristiques physiologiques qui vont permettre le développement saprophyte de l'inoculum en compétition avec la microflore indigène.

Pour mesurer la CSA, on place des morceaux de plantes stérilisés pour piéger le champignon dans un sol inoculé artificiellement à différentes concentrations. Après un temps d'incubation donné, les fragments sont déposés sur gélose et les fragments qui donnent naissance à une colonie de *Rhizoctonia* sont dénombrés. La CSA correspond à la concentration de sol avec laquelle on obtient 50% de fragments colonisés.

Le terme capacité saprophyte englobe à la fois la capacité d'un inoculum à croître dans un sol et sa capacité à survivre dans le sol. La capacité à survivre est obtenue en suivant l'évolution de la CSA au cours du temps.

R. solani est un champignon qui a une grande capacité saprophyte dans les sols, il se développe à partir d'une base nutritive et cette croissance une fois initiée continue même si la source nutritive est retirée. *R. solani* persiste dans le sol sous forme d'hyphes ou de sclérotés associés à des débris de matières organiques.

7.3. Evaluation de l'agressivité

L'évaluation de l'agressivité est réalisée au bout de 40 jours et le nombre de feuilles montrant des symptômes de jaunissement est noté pour chaque plante. La gravité de la maladie exprimée en indice de maladie (IM) est également évaluée.

Les degrés d'agressivité des isolats ont été ordonnés en classes selon les critères de Jiménez-Díaz et al, (1989) :

- 0-20% (isolats très peu agressifs),
- 21-40% (isolats peu agressifs),
- 41-60% (isolats moyennement agressifs),
- 61-80% (isolats agressifs), 81-100% (isolats très agressifs).

La confirmation de l'infection du FOC a été vérifiée par le postulat de KOCH.

3. principe d'épidémiologie

3.1. Notion d'épidémie :

La définition médicale du terme épidémie peut s'appliquer en pathologie végétale mais la notion de vastes étendues est à préciser. En effet l'échelle de surface est très variable dans le domaine de l'agriculture en fonction de la valeur nominale de la culture et des surfaces exploitées ; cette notion de vastes étendues peut donc être limitée à une serre (cultures à haute valeur ajoutée), à un verger de quelques hectares, à une région de quelques milliers d'hectares. Elle atteint parfois la dimension d'un pays voire celle d'un continent. La notion du grand nombre d'individus n'est pas non plus une constante. Elle est très dépendante de la perception économique ou culturelle que les agriculteurs et la société portent sur ces individus. L'effectif impliqué varie beaucoup entre une culture où la plante individuelle a peu de valeur car celle-ci est liée à la population (cas des plantes dites de grandes cultures) et la culture où l'individu, parfois même une fraction de l'individu, est à haute valeur ajoutée (cas des plantes ornementales). Ainsi sur la notion scientifique d'épidémie se greffe une notion économique dont la perception évolue avec le comportement de la société. Les épidémies de la graphiose de l'orme en site urbain n'ont pas été perçues de la même manière qu'en site rural alors que les règles de progression de l'épidémie sont identiques dans les deux sites.

La notion épidémie est souvent employée pour présenter un développement soudain et rapide ou répandu de la maladie. Elle est utilisée aussi pour désigner la dynamique de la maladie, c.-à-d., le changement de la quantité de la maladie dans le temps. Par cette définition il peut y avoir des épidémies rapides ou des épidémies lentes.

La majorité des maladies épidémiques chez les plantes correspond à des maladies transmissibles ce qui explique, en partie, leur relative soudaineté. La transmission se réalise par voie passive dans le sol, dans l'atmosphère ou par voie active (pluie, insectes et l'homme). La catégorie des épidémies ni contagieuses ni transmissibles est appelée en pathologie végétale : accident cultural et ne révèlent pas des études épidémiologiques.

L'endémie : à l'opposé des épidémies on observe des maladies endémiques ; celles-ci correspondent à des maladies réparties de façon homogène ou hétérogène mais qui ne touchent

qu'un faible nombre d'individus. La fréquence des plantes malades reste basse et relativement constante au cours du temps ; ce qui ne veut pas dire que l'impact agronomique d'une endémie est faible. Une autre caractéristique de l'endémie est que la présence du parasite est permanente. Cet état endémique peut être parfois le précurseur de l'état épidémique. Enfin, il ne faut pas confondre une épidémie avec la généralisation de foyers primaires.

Les fausses épidémies : celles-ci s'observent dans deux cas. Le premier correspond à une seule période de contamination mais la variabilité de l'expression de la maladie entre les plantes donne, lors de la lecture au niveau du peuplement, l'impression visuelle de la progression d'une épidémie. Il n'y a pas production d'inoculum secondaire ; c'est le cas des attaques de *Sclerotinia sclerotiorum* sur capitule de tournesol. Le deuxième cas correspond à plusieurs contaminations primaires qui se suivent sur un laps de temps relativement court et dont l'expression plus ou moins différée dans le temps, de quelques jours à plusieurs dizaines de jours, donne l'impression de la progression visuelle d'une épidémie, l'inoculum secondaire est produit à une époque où la réceptivité de la plante est de plus en plus faible et cet inoculum, même abondant, a épidémiologiquement peu d'importance. C'est par rapport à cette catégorie de maladies que certaines pourritures à *Botrytis cinerea* doivent être considérées. Ces fausses épidémies correspondent à ce que Van der Plank a dénommé épidémies monocycliques.

1.3.1. Caractéristiques d'une épidémie

Les principales conditions pour qu'une infection donne naissance à une épidémie sont les suivantes :

Du côté de l'hôte : forte concentration des plantes génétiquement identiques, grande sensibilité de l'hôte, présence de l'hôte intermédiaire pour certaines rouilles.

Du côté de parasite : pouvoir de reproduction élevé, pouvoir pathogène élevé, dispersion aisée.

Du côté climat : conditions favorisant l'infection, soit dans la plupart des cas forte humidité, température environ 20°C.

3.2. Différents types d'épidémie :

Epidémies annuelles : les épidémies annuelles, plus ou moins fortes, se déroulent sur un espace constant; elles sont fréquentes dans les cultures céréalières, la pomme de terre et les vergers.

Epidémies pluriannuelles: Les épidémies pluriannuelles progressent sur un ou plusieurs continents et s'étendent sur plusieurs années.

Lorsque une épidémie se déclenche dans une contrée nouvelle, elle est très forte les premières années, gagne rapidement de nouvelles régions puis diminue pour se stabiliser.

III. 1. Les catégories de moyens de protection contre les bioagresseurs

3. Règles générales de la lutte contre les maladies des plantes

La lutte contre les parasites des plantes cultivées est basée sur le respect de quelques règles. La mise en œuvre de ces règles repose sur des mesures d'ordre légal, sur des actions de contrôle et de surveillance, sur une prophylaxie fondée sur l'élimination des sources de vecteurs, et sur l'utilisation de méthodes de lutte physiques, chimiques, culturales et biologiques.

1. Etablir la culture à partir d'organes de propagation sains
2. Placer les organes de propagation ou les graines dans un substrat stérile
3. Empêcher la conservation des agents pathogènes dans l'environnement
4. empêcher le transport des germes infectieux
5. cultiver des variétés résistantes ou tolérantes.
6. placer la culture dans des conditions écologiques et culturales défavorables aux agents des maladies et favorables à l'expression de la résistance des plantes.
7. protéger les cultures par des moyens chimiques ou biologiques, préventifs ou curatifs.

Différentes méthodes de lutte :

Réduire les pertes économiques g dues aux bioagresseurs peut se faire par différents moyens. Ceux-ci sont classés en cinq grandes catégories.

Dans ce schéma, et dans la suite du texte, on utilise le terme « **contrôle** » pour tout moyen de maîtrise des bioagresseurs agissant en amont du dégât (moyens préventifs), relevant ainsi de la prophylaxie g, et par « **lutte** » les moyens permettant d'agir sur les bioagresseurs lorsqu'ils sont déjà présents dans la parcelle (limitation des dégâts – moyens curatifs).

La **lutte chimique** g consiste à utiliser des produits phytosanitaires. C'est le moyen de lutte le plus utilisé aujourd'hui, avec le **contrôle génétique**, qui consiste à utiliser des plantes sélectionnées pour leur résistance g, leur tolérance g ou leurs caractéristiques physiologiques.

Une stratégie de protection des cultures économe en pesticides est cependant la résultante de combinaisons de ces méthodes et d'autres. Parmi ces dernières, on retrouve la **lutte biologique** g, qui utilise des organismes vivants pour prévenir ou réduire les dommages de récolte g causés par des bioagresseurs (exemple du trichogramme sur le maïs) et le **contrôle cultural**. Ce dernier consiste à adapter le système de culture g pour limiter les dommages causés par les bioagresseurs. Il fait appel à des adaptations des rotations, du travail du sol, de la date et de la densité de semis de ces cultures et à une gestion adaptée du travail du sol et de la fertilisation. Ce type de protection relève de la **prophylaxie** g dans la mesure où il évite les conditions propices à la contamination des

cultures par les bioagresseurs et à leur développement, plutôt que de lutter contre ces bioagresseurs une fois qu'ils sont présents dans la parcelle.

L'agriculture utilise également des techniques qui relèvent de la **lutte physique**. La définition de ce terme inclut l'utilisation de moyens thermiques, électromagnétiques ou pneumatiques, mais il s'agit surtout en grandes cultures de la mise en oeuvre de moyens mécaniques pour le contrôle des bioagresseurs. C'est le cas du désherbage mécanique (exemple du binage du tournesol).

CHAPITRE III.

MALADIES ET FONCTIONS VITALES DE LA PLANTE

1. Les perturbations des fonctions vitales des plantes par les parasites.

1.1. Influence de l'infection sur le métabolisme de l'hôte

Les troubles des fonctions physiologiques de l'hôte ne sont pas spécifiques de l'hôte. Ils ne sont qu'un aspect de la maladie et ils sont étroitement liés aux troubles morphologiques et cytologiques. Ainsi la même maladie peut se manifester par une corrosion ou une décoloration des chloroplastes, et par un abaissement de l'assimilation.

Comme dans le cas des troubles morpho-anatomiques, l'hôte tend à restaurer ses fonctions physiologiques. Aussi toute infection possède-t-elle, initialement, un effet stimulant. Mais généralement, elle se traduit, finalement, par un déclin, en qualité et en quantité, de la production, déclin dû à trois composantes : spoliation directe de substances nourricières par le parasite ; accélération du métabolisme basal ; interférence avec le métabolisme de l'hôte.

1.2. Effet sur la respiration

L'activité respiratoire se modifie sous l'action des parasites. En générale la respiration augmente plus au moins rapidement peu après l'infection de l'hôte compatible. Si elle se maintient longtemps, il en résulte d'abord une affaiblissement, puis l'accumulation des produits secondaires pas toujours désirables. Sur l'hôte incompatible, la respiration est parfois accrue brusquement mais retombe vite. L'augmentation de la respiration est une réaction générale de réparation pas forcément dommageable mais signe d'une activité synthétique accrue. L'augmentation de la respiration peut atteindre 100% sur les plantes portant des taches sporulantes de rouille ou de mildiou.

Chez les cotylédons de chou infectés par le mildiou *Peronospora brassicae*, le maximum est atteint au moment où commence la sporulation ; il correspond environ à deux fois celui des témoins sains.

La respiration accrue est en corrélation avec la synthèse des substances qui jouent un rôle dans la résistance : phytoalexines, substances phénoliques. Cette synthèse exige du carbone et de l'énergie.

1.3. Photosynthèse :

La chute de la photosynthèse caractérise d'ailleurs les infections d'oïdium et de rouille, parfois la photosynthèse augmente au début, pour retomber par la suite. Cette fonction vitale est en forte diminution dès le deuxième jour chez les feuilles de *Quercus rubor* infectées d'oïdium. Chez les nécrotrophes les tissus sont endommagés rapidement, expliquant la baisse de la photosynthèse.

Cette réduction peut être due à différents facteurs : destruction des chloroplastes, stomates fermés plus longtemps, passage réduit de CO_2 dans le mésophyle, la lumière n'atteint plus la surface de la feuille couverte de mycélium, la feuille déformée capte mal la source d'énergie.

1.4. Altération de régime de l'eau

Dans les plantes malades, le régime de l'eau peut être perturbé soit au niveau de l'absorption ; les racines sont attaquées et ne fonctionnent plus d'une manière optimale, soit au niveau du transport.

L'occlusion de xylème est due au gel résultant de la dégradation enzymatique des parois cellulaires, soit à la production de polysaccharides extracellulaires ou de glycopeptide par les parasites eux-mêmes.

Le flétrissement peut être aussi provoqué par une modification de la perméabilité des membranes dans le mésophyle et les cellules de garde des stomates sous l'action des toxines.

L'accroissement de la transpiration est attribué à divers facteurs, cuticule percée, dérèglement des stomates, modification de la perméabilité des cellules. Il faut souligner que plusieurs processus physiologiques vitaux pour la plante sont très sensibles au stress du manque d'eau, soit la croissance des cellules, la synthèse des protéines.

1.5. Modification du transport des assimilés :

Comme pour la dégradation des parois cellulaires on retrouve ici une stratégie différente, selon qu'on a affaire à des champignons biotrophes ou nécrotrophes.

Dans les infections de rouille et de mildiou, il y a une rapide conversion des sucres de l'hôte en sucre fongique, comme pour maintenir un gradient entre l'hôte et le parasite. Les concentrations de fructose, glucose et saccharose sont élevées près des pustules de rouille.

La modification dans le transport des photoassimilés est peut être due à un gradient entre le pathogène et les tissus voisins pour les courtes distances.

1.5. Régulateurs de croissance

Les modifications de teneur en auxine ont été trouvées dans les tumeurs, galles, hypercroissance au nanisme. Les galles charbonneuses du Maïs présentent une haute teneur en auxine. Or l'*Ustilago zae* produit de l'acide indole-acétique. Le *Gibberella Fujikuroi* provoque l'hypertrophie des cellules du Riz, non pas en excréant une substance de croissance, mais probablement par suite d'une interférence entre des corps issus du métabolisme du Champignon avec la production ou l'inhibition de l'acide indole-acétique dans la plante.

1.6. Influence sur le développement général de la plante :

Les plantes de blé atteintes de piétine échaudage ont une surface foliaire diminuée, beaucoup moins de thalles et de tiges beaucoup plus courtes : tous ces éléments réunis conduisent à une perte de graines importantes.

Un parasite de feuillage, l'oïdium *Erysiphe graminis* abaisse également le rendement en grain ; la perte est en relation avec la précocité de l'attaque.

La corrélation entre la surface verte des feuilles et le poids des grains n'est bonne que pour l'oïdium. Pour la rouille brune, la relation est plus faible.

Une forte contamination réduit le taux de croissance à 47% de celui d'un arbre sain ; les pertes dépassent celle dues aux feux de forêt, aux insectes et autres parasites toutes réunies.

Tableau : modification dans une feuille de blé infectée par l'oïdium en mol. de C/unité poids /jour.

Jours après l'infection	0	2	4	6	7	8	9	10	11	12
Photosynthèse	45	43	30	20	15	6,7	6,9	4,4	3,8	3
Respiration	2,1	3	3,4	8,2	8,0	5,4	5,2	5,3	4	2

Tableau : influence de la durée d'une infection d'oïdium sur le rendement en grain de l'orge

		1	2	3	4	5
En serre	Poids sec des grains par épi (g)	0,957	0,726	0,951	0,468	0,175
	Poids sec d'un grain	0,043	0,039	0,047	0,031	0,009
	Nbre de grains par épi	22,25	18,63	20,25	16,72	1,43
plain	Poids sec des grains par épi (g)	0,930	0,770	0,928	0,661	0,112
	Poids sec d'un grain	0,042	0,037	0,04	0,033	0,004
	Nbre de grains par épi	22,40	21,00	22,40	19,80	2,30

1 : pas d'oïdium ; 2 : oïdium précoce ; 3 : oïdium tardif ; 4 : oïdium retardé par traitement des semences ; 5 : oïdium continu.

2.

