**CHAPITRE II : MODE D’ACTION DES CHAMPIGNONS PHYTOPATHOGENES**

Pour pénétrer directement dans les plantes hôtes saines, les pathogènes fongiques doivent traverser la cuticule couvrant les parties aériennes herbacées des plantes, sur laquelle une couche supplémentaire de cires est déposée à l’extérieur. Pour les cellules épidermiques et parenchymateuses, les pathogènes doivent traverser les parois pecto-cellulosiques pour envahir intérieurement les plantes hôtes. Après la pénétration et pendant l’invasion, les pathogènes doivent obtenir leur nourriture à partir des plantes et neutraliser les réactions de défense de ces plantes. Toutes ces activités sont accomplies par l’intermédiaire de forces mécaniques et/ou de secrétions chimiques.

**II.1 - Forces mécaniques**

 Après son adhérence à la surface de la plante, certains champignons sont capables d’exercer une pression mécanique pour pénétrer dans la plante. L’adhésion à la plante semble être due à des forces intermoléculaires qui se développent en contact étroit entre les surfaces de la plante et le pathogène ou à des substances mucilagineuses qui d’habitude entourent les hyphes fongiques. Les spores peuvent aussi véhiculer des substances qui deviennent adhésives aux surfaces planes après humidification. La formation de l’appressorie, chez beaucoup de champignons, accroît la surface d’adhérence entre le pathogène et la plante hôte. A partir de l’appressorie, se développe la pointe de pénétration qui traverse la cuticule et les parois cellulaires par l’intermédiaire de forces mécaniques généralement assistées de secrétions enzymatiques au niveau du site de pénétration, aboutissant au ramollissement et à la dégradation de ces barrières. Cette force pousse vers l’extérieur et fait que la cuticule et les parois cellulaires s’étendent, se soulèvent, se déforment et finalement se déchirent. C’est le cas des urédies des agents des rouilles et des acervules de certains Champignons Anamorphiques.

**II.2 - Sécrétions chimiques**

 La plupart des activités des pathogènes sont chimiques bien que certaines forces mécaniques peuvent être utilisées par ces pathogènes pour pénétrer dans les plantes hôtes ou pour libérer les spores à partir des plantes hôtes. Les effets des pathogènes sur les plantes sont alors en majorité dus aux réactions biochimiques des substances secrétées par le pathogène et celles produites par la plante. La plupart de ces substances secrétées par les pathogènes et impliquées dans le développement de la maladie appartiennent à l’un des quatre groupes suivants : enzymes, toxines, phytohormones ou polysaccharides. Certains pathogènes produisent aussi des composés qui agissent comme des suppresseurs des réponses de défense chez les plantes hôtes. Les substances secrétées peuvent être constitutives produites normalement par les pathogènes ou inductibles produites seulement quand les pathogènes attaquent leurs plantes hôtes. Beaucoup de ces substances produites par les pathogènes sont aussi produites par les plantes hôtes saines.

**II.2.1. Enzymes**

Pour pénétrer dans les plantes hôtes, les pathogènes fongiques doivent traverser la cuticule (couverte d’une couche de cire) puis les parois cellulaires des organes herbacés ou traverser seulement les parois cellulaires pour les racines. Pour cela, les pathogènes doivent dégrader la cire, la cutine, les pectines, la cellulose, les hemicelluloses, la lignine et les protéines structurales (respectivement par les enzymes : cutinase, pectinase, cellulase, hemicellulase, la ligninase et protéase). Pour prélever leurs éléments nutritifs à partir des cellules parenchymateuses, les pathogènes doivent dégrader les protéines, les lipides et l’amidon (respectivement par les enzymes : Protéase, lipase et amylase).

**II.2.2. Toxines**

La toxine est tout produit de pathogène fongique qui est nuisible à l’hôte et causent partiellement ou totalement les symptômes des maladies. Pratiquement, elle est généralement restreinte aux composés de faible poids moléculaire (d’habitude jusqu’à 1000 Daltons) qui affectent le métabolisme des plantes. Elles agissent directement sur les protoplastes de l’hôte vivant, endommageant sérieusement ou tuant les cellules de la plante. Elles sont produites par les pathogènes in vivo dans les plantes infectées ainsi que dans des milieux de culture in vitro. Certaines toxines sont non seulement vénéneuses aux plantes mais aussi à l’homme et aux animaux domestiques quand ils les consomment dans des produits végétaux infectés. Ces toxines sont appelées en médecines humaine et vétérinaire les mycotoxines. La majorité des toxines sont formées de toxines non-spécifiques (ou non sélectives) à l’hôte affectant une large gamme de plantes autres que les plantes hôtes. Par contre, peu de toxines sont des toxines spécifiques (ou sélectives) à l’hôte affectant seulement des plantes qui sont sensibles à leurs pathogènes. Toxines non-spécifiques à l’hôte Les toxines non-spécifiques à l’hôte sont capables de reproduire partiellement ou complètement les symptômes de la maladie sur les plantes hôtes et aussi sur d’autres plantes qui ne sont normalement pas hôtes pour leurs pathogènes.

 -L’une des toxines non-spécifiques à l’hôte, appelée tentoxine, est produite par *Alternaria* *alternata*, l’agent causal de la chlorose des plantules de nombreuses espèces végétales. Cette toxine est un tetrapeptide cyclique qui se lie avec et inactive une protéine impliquée dans le transfert d’énergie dans les chloroplastes et inhibe la phosphorylation dépendante de la lumière, de l’ADP à l’ATP.

-La cercosporine est une toxine non-spécifique à l’hôte produite par certaines espèces de Cercospora qui provoquent des maladies de taches foliaires et de brûlures sur diverses plantes. Cette toxine qui est activée par la lumière, génère l’élément oxygène réactif qui détruit la membrane plasmique de la plante hôte.

Beaucoup d’autres toxines spécifiques à l’hôte sont maintenant connues : CCtoxine produite par Corynespora cassiicola, PC-toxine produite par Periconia circinata, PM-toxine produite par Phyllosticta maydis, Ptr-toxine produite par Pyrenophora tritici-repentis, etc…

**II.2.3. Phytohormones**

Les phytohormones sont des composés naturels qui régulent la croissance des plantes. Les phytohormones les plus connus sont les auxines, les gibbérellines, les cytokinines et l’éthylène 3-4). Ils agissent d’habitude quand leurs concentrations augmentent rapidement jusqu’à un pic puis chutent rapidement sous l’action des inhibiteurs d’hormones. Les phytohormones et leurs inhibiteurs (les mêmes que dans la plante ou d’autres différents) peuvent être produits ou leur production stimulée par les pathogènes fongiques. Cette situation provoque un déséquilibre dans le fonctionnement du système hormonal de la plante aboutissant à des réponses de croissance anormales chez la plante telles que la formation de rosette, le rabougrissement, la déformation, l’excroissance, la ramification excessive des racines, l’épinastie foliaire, la malformation de la tige et la suppression de la croissance des bourgeons.

**II.2.3.1. Auxines :**

 Les auxines jouent de multiples rôles dans les plantes. Elles induisent l’élongation cellulaire des tiges et des coléoptiles, accroissent l’extensibilité des parois cellulaires, stimulent la formation des racines latérales, retardent l’abscission foliaire, régulent le développement des fruits,... La principale auxine naturelle des plantes supérieures est l’acide indole-acétique (AIA) qui est dégradé dans la plante par l’enzyme acide indole-acétique oxydase. L’accroissement de la concentration de l’AIA dans les plantes, sont observées avec différentes maladies telles que la hernie du chou causée par *Plasmodiophora* *brassicae*, le mildiou de la pomme de terre causée par *Phytophthora* *infestans*, le flétrissement du bananier causé par *Fusarium* *oxysporum* f. sp. *cubense*, le charbon du maïs causé par *Ustilago* *maydis* et d’autres…

**II.2.3.2. Gibbérellines**

Les gibbérellines des plantes forment une grande famille de diterpénoïdes tetracycliques. Elles sont impliquées dans plusieurs effets dont le premier qui a attiré l’attention est la stimulation de l’élongation de la tige qui implique une élongation cellulaire et un accroissement de la division cellulaire. Elles accélèrent aussi chez les plantes l’entrée dans la phase reproductive ou au contraire la retardent, induisent la masculinité des fleurs, contrôlent le développement des fruits,… Les pathogènes fongiques produisent des gibbérellines et perturbent ainsi la croissance et le développement des plantes hôtes. C’est le cas des plantes de riz infectées par *Gibberella* *fujikuroi* qui croissent et deviennent plus hautes que les plantes saines, ce qui semble être dû à une forte production de gibbérelline par le pathogène.

**II.2.3.3. Cytokinines**

Les cytokinines des plantes sont bien connues par leur inhibition de la sénescence en retardant la dégradation des protéines et des acides nucléiques. Elles participent aussi au contrôle de la division et la différenciation cellulaires. Elles sont produites dans les racines et acheminées vers le haut de la plante par l’intermédiaire du xylème. L’activité des cytokinines s’accroît dans certaines plantes infectées par des pathogènes fongiques, par exemple, avec certaines maladies de galles, de charbons et de rouilles.

**II.2.3.4. Ethylène**

 Les plantes produisent l’éthylène, un composé volatil, qui agit à de très faibles concentrations et a une grande variété d’effets physiologiques, tels que la maturation des fruits, l’abscission foliaire, florale et fruitière, la chlorose, l’épinastie, l’induction des racines adventices, la levée de la dormance des semences et des bourgeons, l’inhibition florale,… La production de l’éthylène par une plante semble s’accroître quand la plante est sous stress biotique ou abiotique. L’éthylène est aussi produit par plusieurs champignons. Il a été rapporté être impliqué dans l’épinastie foliaire et la défoliation prématurée dans nombreuses maladies vasculaires de flétrissement.

**II.2.4. Polysaccharides**

Les polysaccharides peuvent jouer un rôle important, en particulier dans le cas des maladies vasculaires de flétrissement. Ils sont libérés par le pathogène en grandes quantités, de façon à ce qu’ils causent un blocage mécanique dans les faisceaux vasculaires du xylème entraînant le flétrissement. Suppresseurs de défense Certains champignons pathogènes sont capables de produire des substances qui suppriment l’expression des réponses de défense chez la plante hôte. Ces substances sont alors appelées des suppresseurs. L’un des suppresseurs de défense a été trouvé dans le cas de la rouille noire (ou des tiges) du blé causée par *Puccinia* *graminis*. Il supprime ou réduit l’attachement de l’éliciteur du pathogène avec la membrane plasmique de l’hôte et ainsi bloque le développement de réponses de défense par la plante hôte. Deux suppresseurs ont été signalés chez *Mycosphaerella* *pinodes*, pathogène du pois. Ces suppresseurs sont des glycopeptides capables d’interférer entre l’éliciteur du pathogène et la biosynthèse de la phytoalexine, supprimant ainsi temporairement les réactions de défense de la plante hôte.