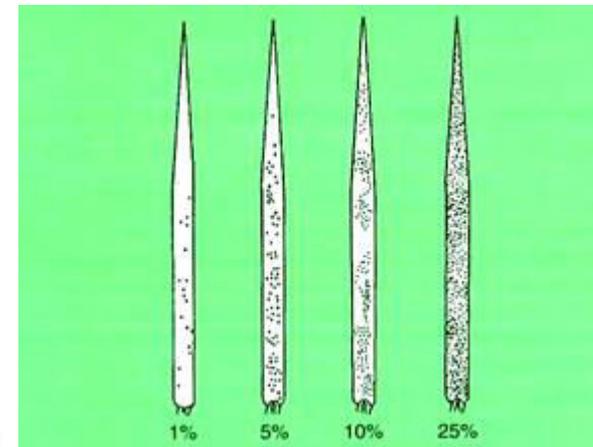
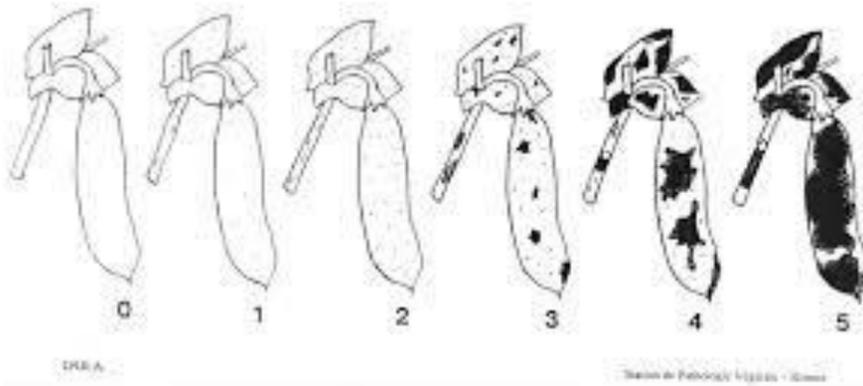


Cours

Epidémiologie des maladies parasitaires des végétaux
Master Protection des Végétaux

Dr. BENZOHRA Ibrahim Elkhalil



Contenu du Module

INTRODUCTION

CHAPITRE I : LES PARAMETRES RELATIFS A L'HOTE

CHAPITRE II : LES PARAMETRES RELATIFS AUX AGENTS PATHOGENES

CHAPITRE III : LES PARAMETRES LIES AUX FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE IV : LA MODELISATION DES EPIDEMIES

CHAPITRE V : LES AVERTISSEMENTS PHYTOSANITAIRES

CHAPITRE VI : LA REDUCTION DES EPIDEMIES

INTRODUCTION GENERALE

Epidémiologie Végétale

La science qui concerne les épidémies des plantes est l'**épidémiologie Végétale**.

Elle cherche à comprendre le processus sous-jacent aux changements temporel et spatial de l'incidence des maladies dans le but d'identifier les causes et fournir une base rationnelle pour la lutte contre les maladies.

Plusieurs épidémies se développent dans des cultures à travers le monde, la majorité d'entre elles est stoppée par des facteurs climatiques ou des traitements chimiques, mais certaines peuvent échapper au contrôle et causer des dégâts importants avec des effets graves sur l'homme et ses activités.

L'épidémie la plus historiquement connue est celle relative à la famine irlandaise de pomme de terre de 1845-1846 due à l'épidémie du mildiou de la pomme de terre causée par *Phytophthora infestans*.



Epidémie

Une épidémie englobe une série des événements qui se succèdent dans une population végétale envahie par un agent pathogène:

L'apport d'inoculum, le contact entre l'agent pathogène et la plante hôte, La pénétration, l'infection, la constitution d'un nouvel inoculum et sa dispersion.

Le développement épidémique implique que cette séquence se répète plusieurs fois pendant une saison de culture, en générant des cycles successifs = Epidémie (Figure 01).

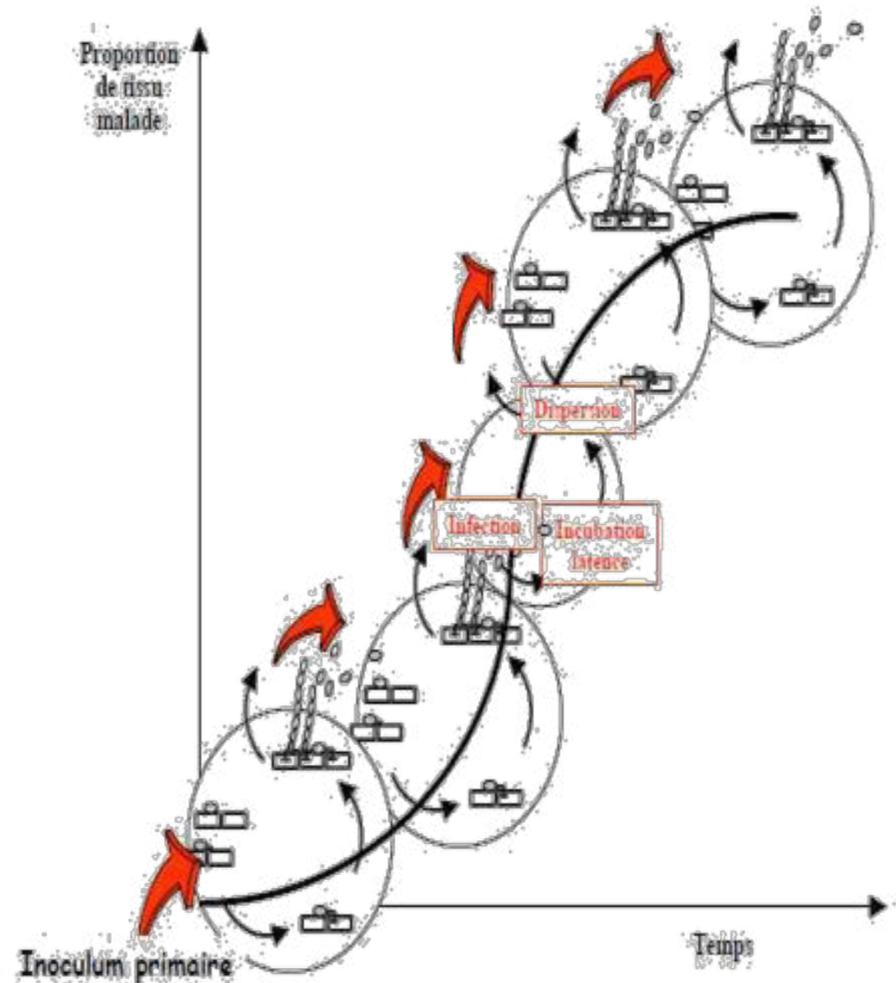


Figure 01: Développement d'une maladie épidémique.

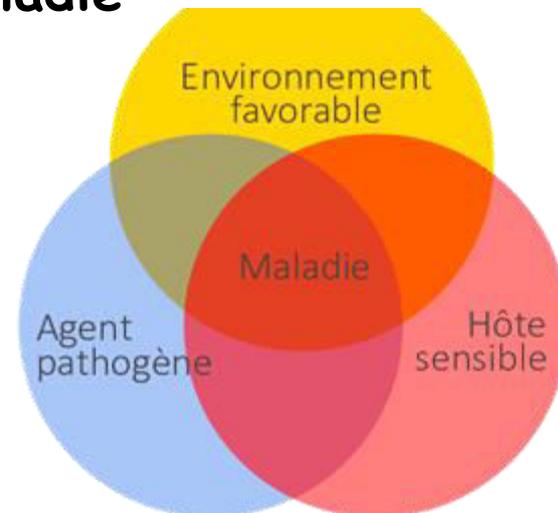
Conditions d'une Epidémie

Pour avoir lieu, une épidémie nécessite la satisfaction des trois exigences de base suivantes :

- une source d'inoculum du pathogène **virulent**,
- un grand nombre d'individus **sensibles** de plante hôte disponible à un stade souhaitable de développement,
- des conditions d'**environnement favorables** à la croissance et propagation du pathogène durant une longue période de temps.

= Triangle de Maladie

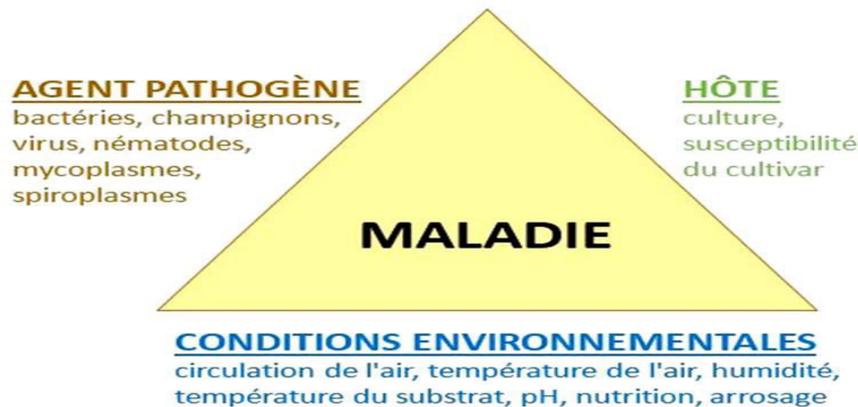
Pour se développer, une maladie nécessite d'être causée par un pathogène qui se multiplie et se propage à de nouveaux hôtes. Ainsi, l'épidémiologie est concernée par la dynamique des populations du pathogène.



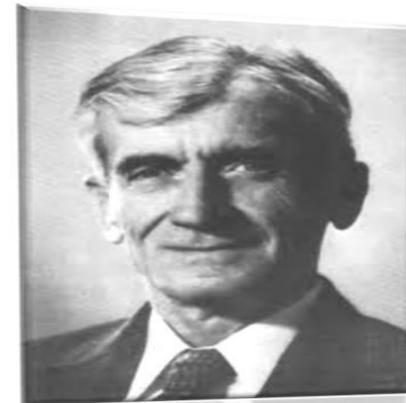
Représentation des épidémies

Comme discuté antérieurement, les interactions qui mènent à une maladie d'une plante incluent trois facteurs symbolisés par un triangle appelé alors triangle de la maladie. Les trois côtés du triangle représentent le pathogène, la plante hôte et l'environnement. Le niveau de la maladie est représenté par la surface du triangle.

Ce triangle a été décrit la première fois en **1963** par le scientifique néerlandais James Edward VAN DER PLANK (Figure 02).



A. Triangle de Maladie ;



B : James Edward VAN DER PLANK

Figure 02 : Triangle de maladie. A. Triangle ; B : JE. VAN DER PLANK (1907 - 1997)

1

Résistance des plantes (paramètres liés à l'Hôte)

CHAPITRE I : LES PARAMETRES RELATIFS A L'HOTE

Résistance des plantes

Résistance (d'une plante)

Elle est définie comme la capacité de n'être que peu ou pas malade lorsque celle-ci est en présence d'un agent pathogène et en conditions favorables à l'infection.

Tolérance (d'une plante)

Capacité d'une plante de supporter la présence d'un agent pathogène sans effet sur sa croissance et son développement.

Pas de perte de rendement

Résistance des plantes

Résistance absolue (totale)

Aptitude d'un génotype de l'hôte à empêcher le développement du parasite qui est cantonné à quelques cellules (voir quelques tissus)

Résistance partielle

Aptitude d'un génotype de l'hôte à limiter l'incidence physiologique de la présence d'un agent pathogène

- en limitant son développement
- en limitant les effets sur son métabolisme

Résistance des plantes

Résistance absolue (totale)

Aptitude d'un génotype de l'hôte à empêcher le développement du parasite qui est cantonné à quelques cellules.

(Résistance passive ou active)

Résistance partielle

Aptitude d'un génotype de l'hôte à limiter l'incidence physiologique de la présence d'un agent pathogène

- en limitant son développement
- en limitant les effets sur son métabolisme

Résistance des plantes

Résistance monogénique (oligogénique)

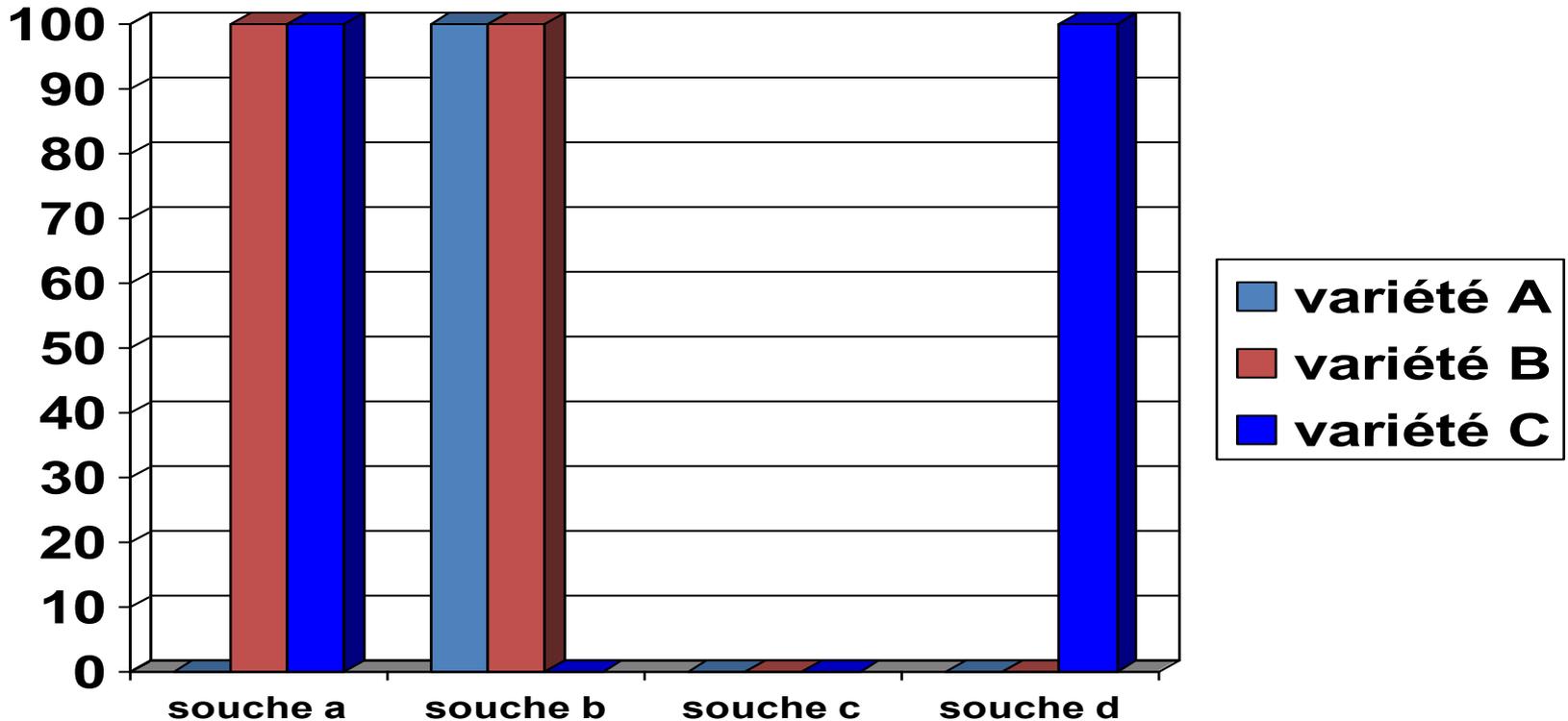
Résistance gouvernée par un (mono) ou quelques (oligo) gènes, les gènes sont dit « **gènes majeurs** »

Résistance polygénique

Résistance gouvernée par de nombreux gènes, les gènes sont dit « **gènes mineurs** »

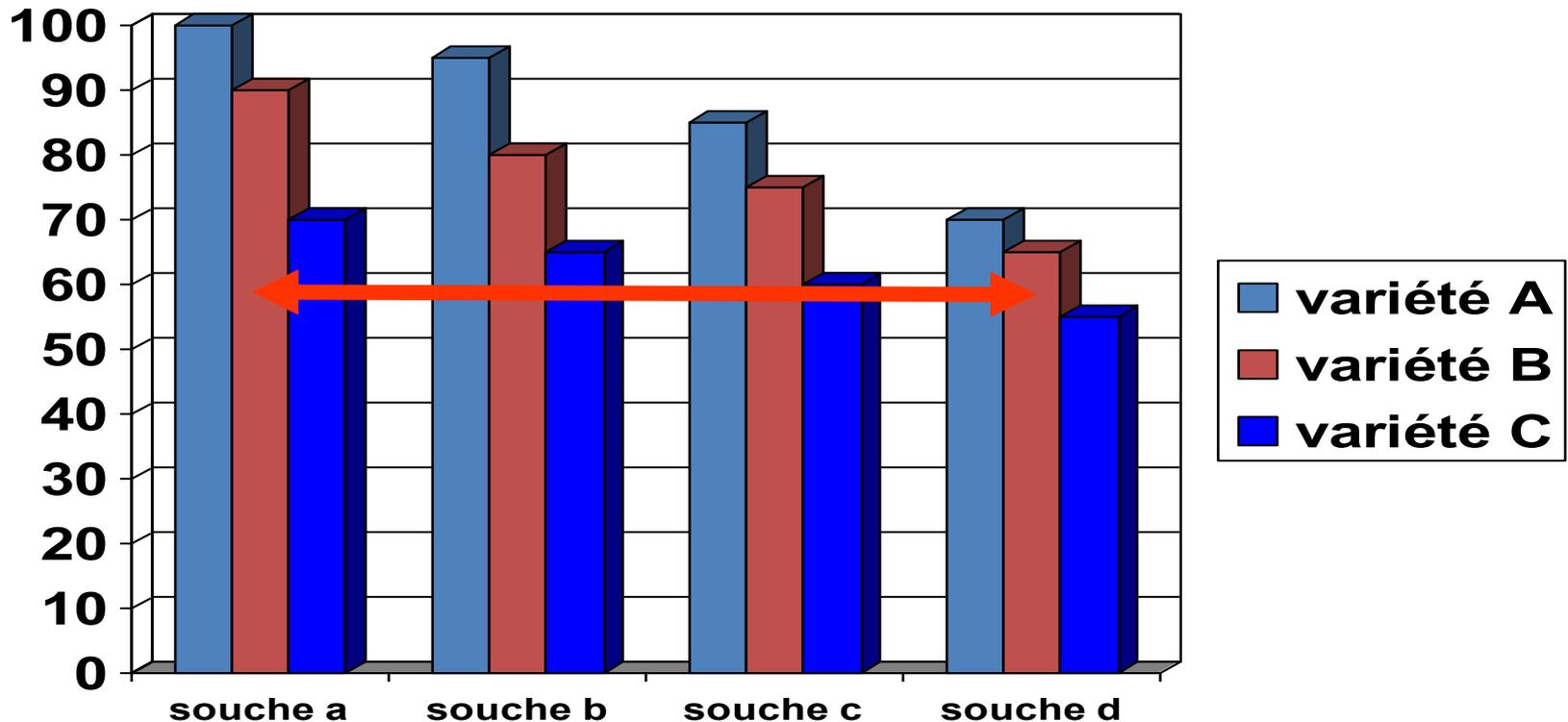
Résistance des plantes

1) - RESISTANCE VERTICALE : lorsque le niveau de résistance d'une variété donnée dépend de la souche du parasite avec laquelle on l'inocule (Van Der Plank, 1968).



Résistance des plantes

2) RESISTANCE HORIZONTALE: lorsque les niveaux relatifs de résistance de plusieurs variétés ne dépendent pas de la souche du parasite avec laquelle on l'inocule, les classements variétaux sont identiques (Van Der Plank, 1968).



Résistance des plantes

Comparaison des Résistances verticale et horizontale :

R. verticale	R. horizontale
<u>Caractéristiques de l'agent pathogène :</u>	
Spécialisé (spécifique) Obligatoire (biotrophe)	Peu spécialisé (polyphage) Facultatif (nécrophage)
<u>Niveau de résistance :</u>	
R. absolue (totale)	R. partielle (incomplète)
<u>Génétique de la résistance :</u>	
Monogénique (oligo) Gène majeur	Polygénique (gènes à effet mineur) Gènes mineurs
<u>Réactions de la plante :</u>	
Active	Passive
Induites -Phytoalexine -Hypersensibilité	Constitutives – anatomique - biochimique

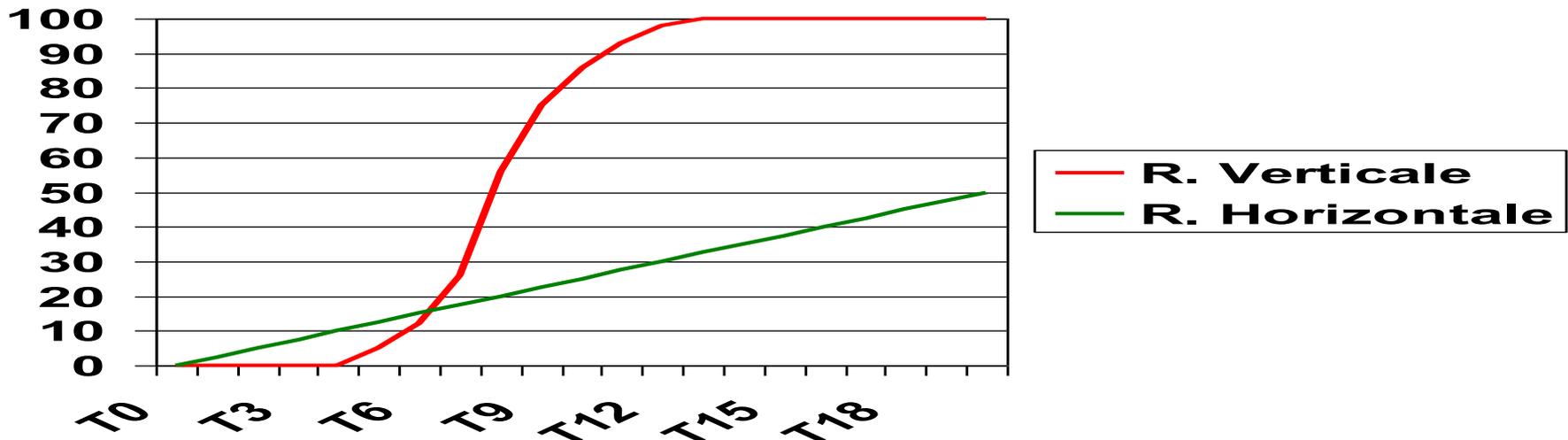
Résistance des plantes

Comparaison des Résistances verticale et horizontale :

L'aspect épidémiologique :

La R. VERTICALE est **temporaire**, la pression de sélection exercée sur l'agent pathogène sélectionne des souches plus virulentes

La R. HORIZONTALE est **durable** car l'absence d'interaction entre génotype de l'hôte et génotype du parasite fait qu'elle exerce qu'une faible pression de sélection sur le parasite.



Résistance des plantes

Résistance verticale et théorie de la relation « **gène pour gène** » : **Flor (1956)**

Le pouvoir pathogène d'une race est déterminé par des gènes de « pathogénicité » qui sont spécifiques de chacun des gènes de résistance possédés par l'hôte. Par rapport à un locus de l'hôte qui peut être occupé par un gène de résistance **R** ou son allèle sensible **r**, il existera chez le parasite un locus occupé par **Av** (avirulence) ou **v** (virulence).

		Génotypes de l'hôte	
		R	r
Génotypes du parasite	Av	I	C
	v	C	C



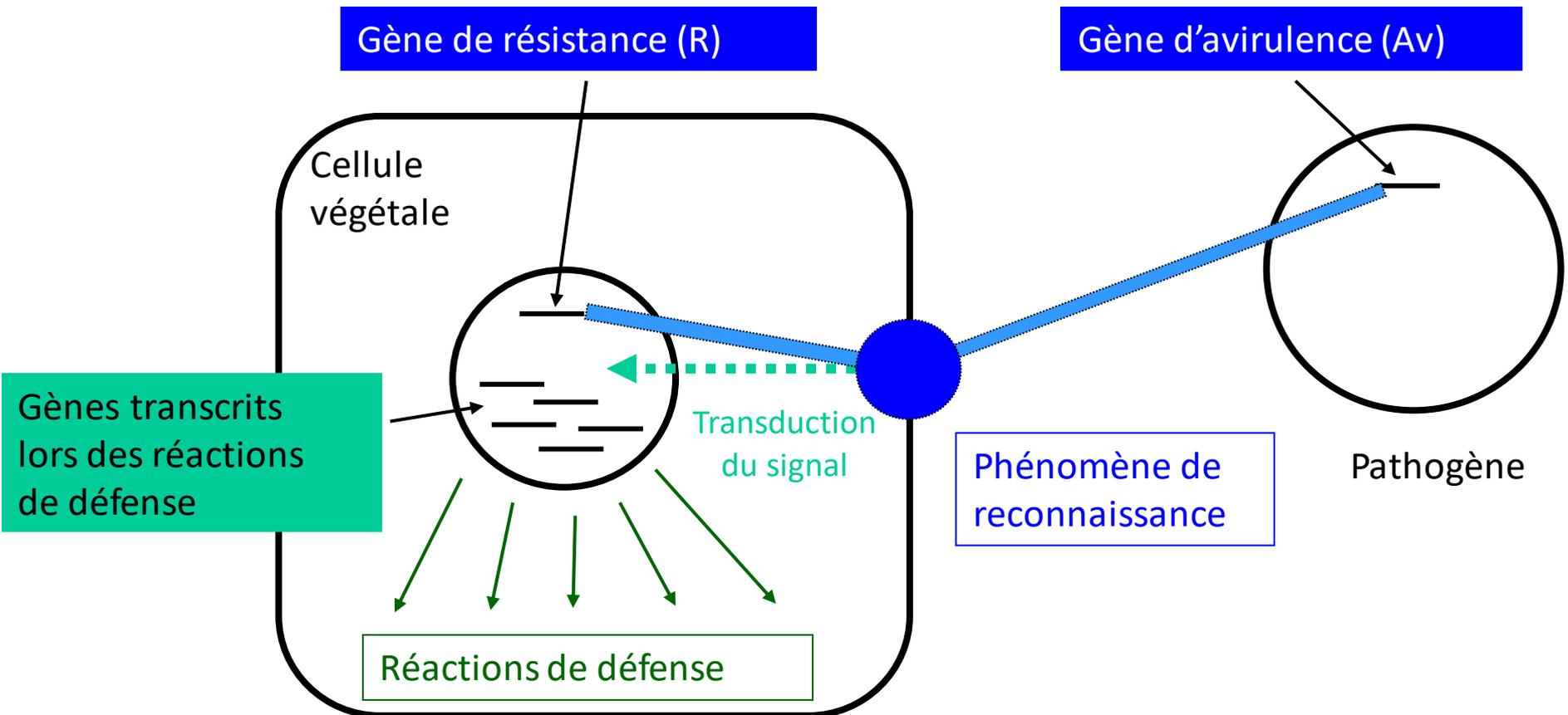
H.H. Flor

I = relation incompatible C = relation compatible

Résistance des plantes

Résistance verticale et
théorie de la relation « gène pour gène » :

Phénomène de reconnaissance basé sur un système éliciteur/récepteur



Résistance des plantes

Classification des résistances :

Les résistances mises en évidence chez les plantes hôtes sont d'une grande diversité et différents classements sont possibles en fonction :

- du niveau de résistance
- de la stabilité dans le temps
- l'héritabilité du caractère
- ...

Nelson (1973) divise les résistances en deux types:

Type 1 : l'hôte résiste à l'établissement de l'agent pathogène;

Type 2 : l'hôte résiste à la colonisation, à la croissance de l'agent pathogène et aux conséquences sur son métabolisme.

Résistance des plantes

Classification des résistances :

Les termes utilisés dans la littérature :

Type 1

Hypersensibilité
Résistance spécifique
Résistance verticale
Résistance non uniforme
Résistance qualitative
Résistance à gène majeur
Résistance absolue
Immunité
Résistance instable
Résistance oligogénique ...

Type 2

Résistance au champ
Résistance générale
Résistance non spécifique
Résistance partielle
Résistance uniforme
Résistance horizontale
Résistance quantitative
Résistance polygénique
Résistance à gènes mineurs
Résistance durable ...

Dans chaque type, les termes proposés ne sont pas synonymes et expriment des caractéristiques différentes.

2

Paramètres liées aux Agents pathogènes

CHAPITRE II : LES PARAMETRES RELATIFS AUX AGENTS PATHOGENES

Parasite obligatoire

Parasite qui se nourrit aux dépens de cellules vivantes = **parasite biotrophe.**

Ex. Mildiou, rouilles, oïdium.

Parasite facultatif

Parasite qui se nourrit de cellules mortes = **parasite nécrotrophe.**

Ex. anthracnose, alternaria, fusariose.

Notions liées aux Agents pathogènes

Agressivité

Est une entité quantitative. Aptitude d'une souche à manifester un pouvoir pathogène plus ou moins élevé.

Virulence

Capacité d'une souche à attaquer un nombre de génotypes de la plante hôte plus ou moins élevé. (Capacité à infecter).

Notions liées aux Agents pathogènes

Pathotype (Race)

Ensemble des individus d'une espèce parasite présentant la même virulence.

La définition d'un pathotype (d'une race) se fait en fonction de la réaction d'une gamme de génotypes de l'espèce hôte, ceux-ci sont dénommés:

« hôtes différentiels »

L'ensemble des individus d'une espèce hôte possédant les mêmes gènes de résistance constitue un **Pathodème**.

3

Paramètres liés au facteurs de l'environnement)

CHAPITRE III : LES PARAMETRES LIES AUX FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT

3. Paramètres liés au facteurs de l'environnement

1- Température

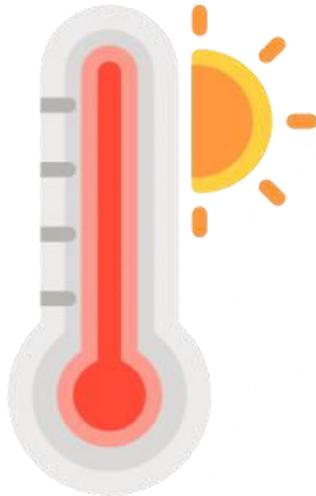
2- Humidité

3- Vent

4- Sol

5- Anthropique

1- Température



Température

La température et l'humidité, qui sont étroitement liées, sont ensemble les principaux facteurs faisant une maladie tourner en épidémie. La plupart des pathogènes fongiques se développe bien entre 15 et 25 °C si l'humidité est élevée.

Ces températures sont enregistrées pendant relativement longtemps durant l'automne et le printemps et la majorité des maladies fongiques a lieu ainsi pendant ces saisons et peut se développer en épidémies.

Durant l'hiver et l'été, la température est d'habitude trop basse ou trop élevée, respectivement, pour permettre un développement important des maladies.

1- Température

Quand la température est optimale pour le développement de la plante hôte et loin de l'optimum de son pathogène, la plante exprime tout son potentiel de défense et répond par le maximum de sa résistance, particulièrement la résistance horizontale ; la maladie va s'arrêter ou se développer lentement. Par contre, quand la température est optimale pour le pathogène, peu importe si cette température est optimale ou non pour la plante hôte, la maladie va se développer rapidement et tourner en épidémie si l'humidité est élevée et la plante hôte est sensible.

En fonction des températures optimales pour le développement des pathogènes, soit autour de 15, 20 ou 25 °C, plusieurs épidémies de maladies se développent plus en régions, saisons ou années avec des températures faibles, alors que d'autres se développent plus quand et où des températures modérées ou élevées prévalent.

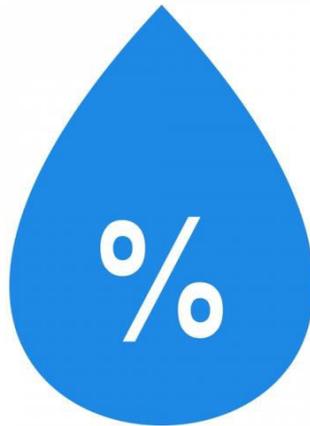
Par exemple chez le blé, la rouille jaune est plus précoce (pendant les faibles températures) que la rouille brune et la rouille des tiges (ou noire) (pendant les fortes températures). Plusieurs maladies, telles que l'anthraxose causée par *Colletotrichum*, sont connues être favorisées par les fortes températures.

1- Température

Les températures excessivement basses ou élevées réduisent les activités biologiques des pathogènes et leurs vecteurs biologiques. Par contre, aux alentours des températures optimales pour les pathogènes, les épidémies se développent rapidement car les étapes des cycles de maladies sont accélérées chez le pathogène par l'intermédiaire d'une sporulation rapide, germination des spores, pénétration dans l'hôte, croissance, reproduction, invasion de l'hôte, etc... Ainsi, pour la rouille des tiges (ou noire) du blé causée par *Puccinia graminis f. sp. tritici*, par exemple, le cycle d'infection (du contact jusqu'à l'apparition des symptômes) est accompli en seulement 5-6 jours à 23 °C alors que ceci nécessite 15 jours à 10 °C et 22 jours à 5 °C. De cette façon, quand la température pour les pathogènes est autour de l'optimum, les pathogènes qui sont polycycliques peuvent compléter leurs cycles d'infection pendant une très courte période (d'habitude quelques jours). Ainsi, durant une saison, les pathogènes polycycliques peuvent répéter leurs cycles d'infection plusieurs fois.

Dans chaque cycle, l'inoculum est multiplié plusieurs fois, conduisant ainsi à la propagation rapide des maladies et le développement d'épidémies sévères.

2- Humidité



2- Humidité

Comme la température est étroitement liée à l'humidité, celle-ci est aussi déterminante dans l'installation du pathogène et le développement des maladies en épidémies. L'humidité peut exister sous forme d'humidité relative dans l'air, de rosée et d'eau de pluie ou d'irrigation. Pour aboutir à des épidémies, l'humidité doit être élevée, abondante et prolongée ou répétée.

Cette humidité, non seulement augmente la succulence des organes herbacés des plantes hôtes et ainsi leur sensibilité aux maladies, mais aussi elle favorise et accroît les activités biologiques des pathogènes comme la germination des spores, la pénétration dans la plante hôte, la sporulation, la libération des spores, etc...

Durant le temps où l'humidité est de niveaux élevés, ces événements prennent place constamment et répétitivement et conduisent au développement des épidémies. Quand l'humidité existe sous forme d'éclaboussures de pluie ou d'eau courante, elle joue aussi un important rôle dans la propagation des propagules du pathogène sur la même plante hôte et d'une plante infectée à une autre saine.

2- Humidité

L'évolution de l'humidité dans la nature est étroitement corrélée avec la quantité et la distribution de la pluviométrie pendant l'année. Ainsi, plusieurs épidémies, telles que le mildiou de la pomme de terre, le mildiou de la vigne, la septoriose foliaire du blé et la tavelure du pommier, se développent et deviennent graves seulement dans les régions avec une forte pluviométrie durant la saison de végétation. Le nombre de cycles d'infection des pathogènes polycycliques est d'habitude étroitement lié au nombre de précipitations par saison, quand ces précipitations durent suffisamment pour permettre à de nouvelles infections d'avoir lieu. La durée minimale d'humidité nécessaire pour l'installation des pathogènes est généralement fortement influencée par la température. Ainsi, avec la tavelure du pommier par exemple, seulement 9 heures d'humidité continue sont nécessaires à l'infection pour avoir lieu quand la température est optimale (autour de 20 °C), mais à 10 et 6 °C, les périodes d'humidité nécessaires sont de 14 et 28 heures, respectivement.

Une fois le pathogène est à l'intérieur de la plante hôte et peut obtenir les éléments nutritifs et l'eau, il devient beaucoup moins dépendant de l'humidité. Cependant, dans certains cas rares, tels que pour l'oïdium, les maladies nécessitent une faible humidité relative (50 à 70 %) pour mieux se développer et le climat humide limite au lieu d'augmenter le niveau de ces maladies.

3- Vent



3- Vent

Le vent est capable de jouer un double rôle. Il peut réduire le développement des maladies, et ainsi des épidémies, en accélérant le dessèchement des surfaces des plantes humides sur lesquelles les spores atterrissent.

Quand les surfaces des plantes sont sèches, les spores d'habitude se dessèchent et meurent avant de pénétrer dans la plante hôte. D'autre part, le vent peut favoriser certaines épidémies en augmentant la propagation des maladies. Ce rôle est même déterminant pour certaines maladies telles que les rouilles et l'oïdium. Dans ces cas, les spores sont véhiculées sur de grandes distances.

Pour la septoriose du blé, la dissémination des conidies est fortement augmentée quand la pluie est accompagnée par le vent. Le vent peut aussi favoriser indirectement les maladies en disséminant des vecteurs comme les insectes.



4- Sol



4- Sol

Les caractéristiques des sols sont importantes pour beaucoup de maladies qui affectent les parties souterraines des plantes. Quand le sol est humide ou proche du point de saturation, la plupart des maladies est favorisée, par exemple celles causées par *Pythium* sur les plantules, *Phytophthora* sur les solanacées, *Urophlyctis leproides* sur la betterave à sucre, etc... Certaines de ces maladies peuvent tourner en épidémies lentes et localisées si les conditions hydromorphiques des sols argileux durent pendant un certain temps.

Par contre, d'autres maladies peuvent se développer mieux dans les sols secs, par exemple *Fusarium roseum* sur plantules, *F. solani* sur haricot et *Macrophomina phaseoli* sur coton et sorgho.

Le pH du sol est aussi important dans l'occurrence et la sévérité des maladies causées par certains pathogènes transmis par le sol. Par exemple, la pourriture racinaire du coton causée par *Phymatotrichum omnivorum* se développe mieux au pH 7,2-8,0 tandis que la hernie du chou causée par *Plasmodiophora brassicae* est plus sévère à un pH voisin de 5,7.

5- Facteurs anthropique



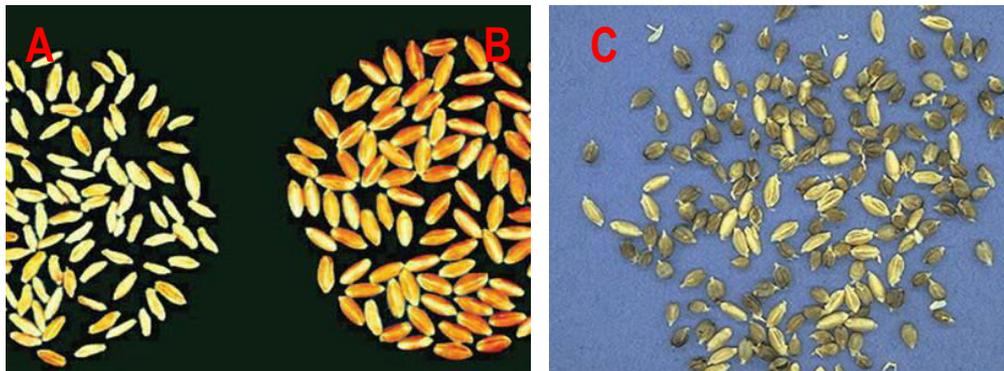
5- Facteurs anthropiques

Les activités humaines telles que les opérations culturales et les mesures de contrôle peuvent accroître ou décroître la propagation des maladies et donc le développement des épidémies.

A-Semences:

Le premier point est l'utilisation par l'homme des semences et autres organes de multiplication. Si ces organes et semences sont indemnes de pathogènes ou traités, les chances que des épidémies ont lieu sont fortement réduites.

Dans la situation inverse, les organes et les semences fortement contaminés accroissent beaucoup le risque de développement des épidémies.



Semences saines (A), contaminées par rouille (B) et carie (C).

5- Facteurs anthropiques

B-Fertilisation:

La fertilisation chimique par l'homme est aussi un facteur important qui augmente la sévérité des épidémies si certains ou tous les éléments pour les cultures ne sont pas apportés à des quantités appropriées. L'élément le plus important est l'azote dont l'abondance conduit au développement d'un feuillage excessif, la production d'organes herbacés succulents, l'extension de la période végétative et le retard de maturité des plantes.

Par contre, le manque d'azote rend les plantes plus faibles, se développant plus lentement et vieillissant plus rapidement. Dans les deux cas, abondance ou manque d'azote, les plantes deviennent plus sensibles aux maladies pour des périodes plus longues ce qui accroît fortement le risque d'occurrence des épidémies.

Il est connu, par exemple, que de grandes quantités d'azote accroissent la sensibilité des céréales aux rouilles et à l'oïdium tandis que la disponibilité réduite d'azote augmente la sensibilité des plantules à *Pythium* et les solanacées à *Alternaria solani*.

5- Facteurs anthropiques

B-Fertilisation: (Suite)

*Dans certains cas, cependant, la sévérité des maladies est influencée non seulement par la quantité d'azote, mais aussi par sa forme (nitrate ou ammonium). Par exemple, le piétin-échaudage du blé dû à *Gaeumannomyces graminis var. tritici* et la pourriture racinaire du coton due à *Phymatotrichum omnivorum* sont plus favorisés par l'azote nitrate tandis que la hernie du chou due à *Plasmodiophora brassicae* et les flétrissements dus à *Fusarium spp.* augmentent en sévérité avec l'azote ammonium.*

L'effet de chaque forme d'azote semble être étroitement lié aux influences du pH du sol.



Fusarium oxysporum f. sp. albedinis



Plasmodiophora brassicae

5- Facteurs anthropiques

B-Fertilisation: (Suite)

En plus de l'azote, plusieurs autres éléments chimiques influencent la propagation des maladies et le développement des épidémies. Il est connu que le phosphore, qui améliore l'équilibre en éléments nutritifs dans les plantes et accélère la maturité des cultures, réduit la sévérité du piétin échaudage de l'orge causé par *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*.

Gaeumannomyces graminis
var. *graminis*
(Piétin échaudage)



5- Facteurs anthropiques

B-Fertilisation: (Suite)

Mais d'autre part, des maladies telles que les septorioses du blé causées par *Septoria*, sont accentuées par le phosphore. Le potassium retarde la maturité et la sénescence de certaines cultures et étend ainsi la durée de la période d'infection.

De cette façon, il accroît la sévérité des maladies telles que le cas de la pyriculariose du riz causée par *Pyricularia oryzae*. Par contre, le potassium a été montré réduire la sévérité de plusieurs maladies comme les rouilles du blé et l'alternariose de la tomate. Le calcium est impliqué dans la composition des parois cellulaires et leur résistance à la pénétration des pathogènes. Pour cela, le calcium est connu réduire la sévérité de nombreuses maladies telles que celles causées par *Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* et *Sclerotium*. Mais, le calcium favorise des maladies comme la jambe noire du tabac causée par *Phytophthora nicotianae*.

Pyriculariose du riz
causée par *Pyricularia
oryzae*



5- Facteurs anthropiques

B-Fertilisation: (Suite)

Les microéléments peuvent aussi influencer la propagation des maladies. Leur augmentation peut réduire la sévérité des maladies comme dans les cas du fer avec le flétrissement au *Verticillium de l'arachide*, du cuivre avec le piétin-échaudage et l'ergot des céréales, du manganèse avec le mildiou de la pomme de terre et du molybdène avec l'anthracnose à *Ascochyta* du haricot et du pois. Pour d'autres maladies, comme le flétrissement au *Fusarium de la tomate*, la sévérité s'accroît avec des niveaux plus élevés de certains microéléments tels que le fer et le manganèse.

L'addition du silicium s'est montrée défavorable à la propagation de différentes maladies, par exemple, la pyriculariose du riz causée par *Pyricularia oryzae* et l'oïdium du concombre causé par *Sphaerotheca fuliginea*.

L'oïdium du
concombre causé
par *Sphaerotheca
fuliginea*

