



Architecture et croissance de la plante : dynamique de développement et sensibilité des tissus

Agnès Calonnec

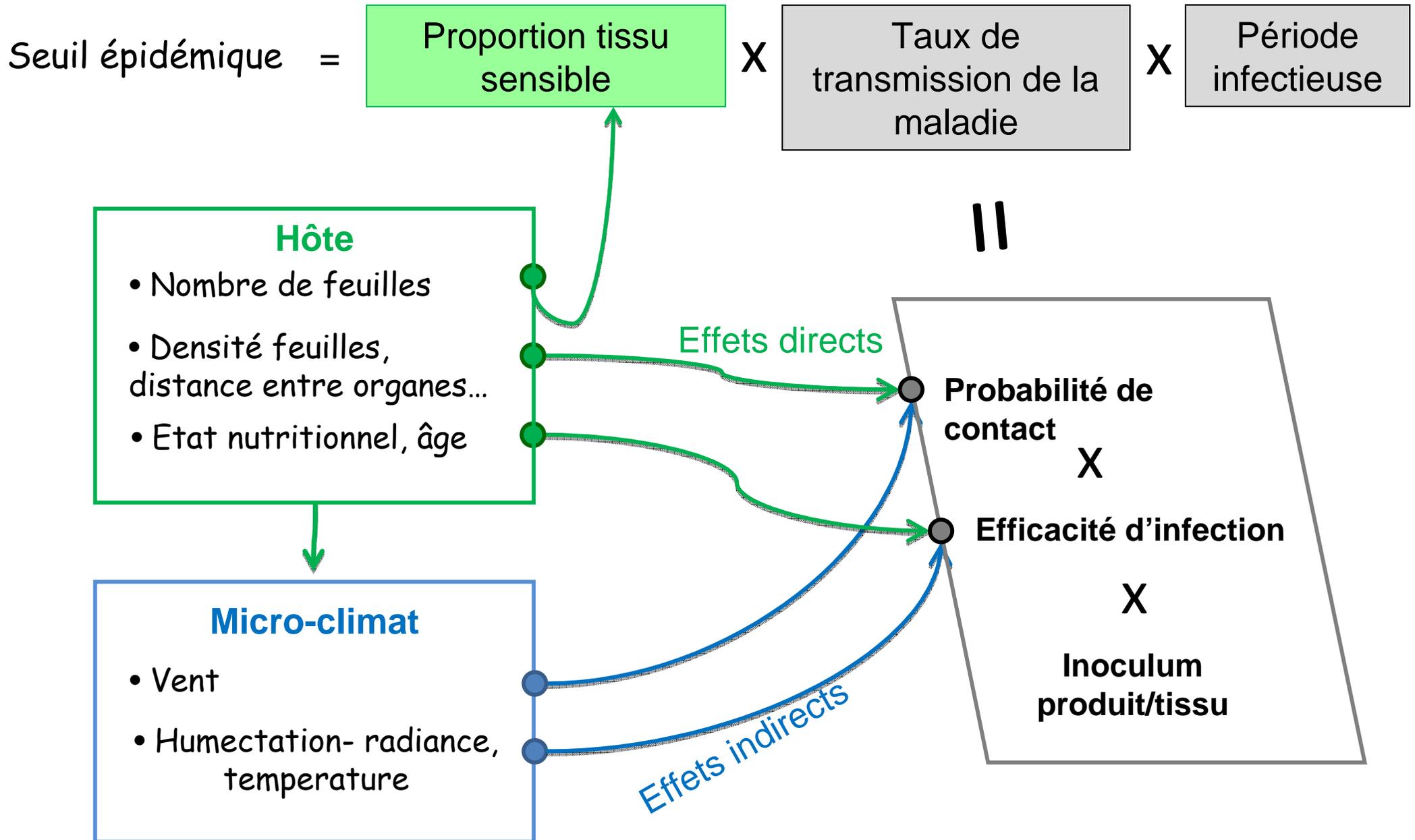
UMR Santé et Agroécologie du vignoble

INRA - Bordeaux

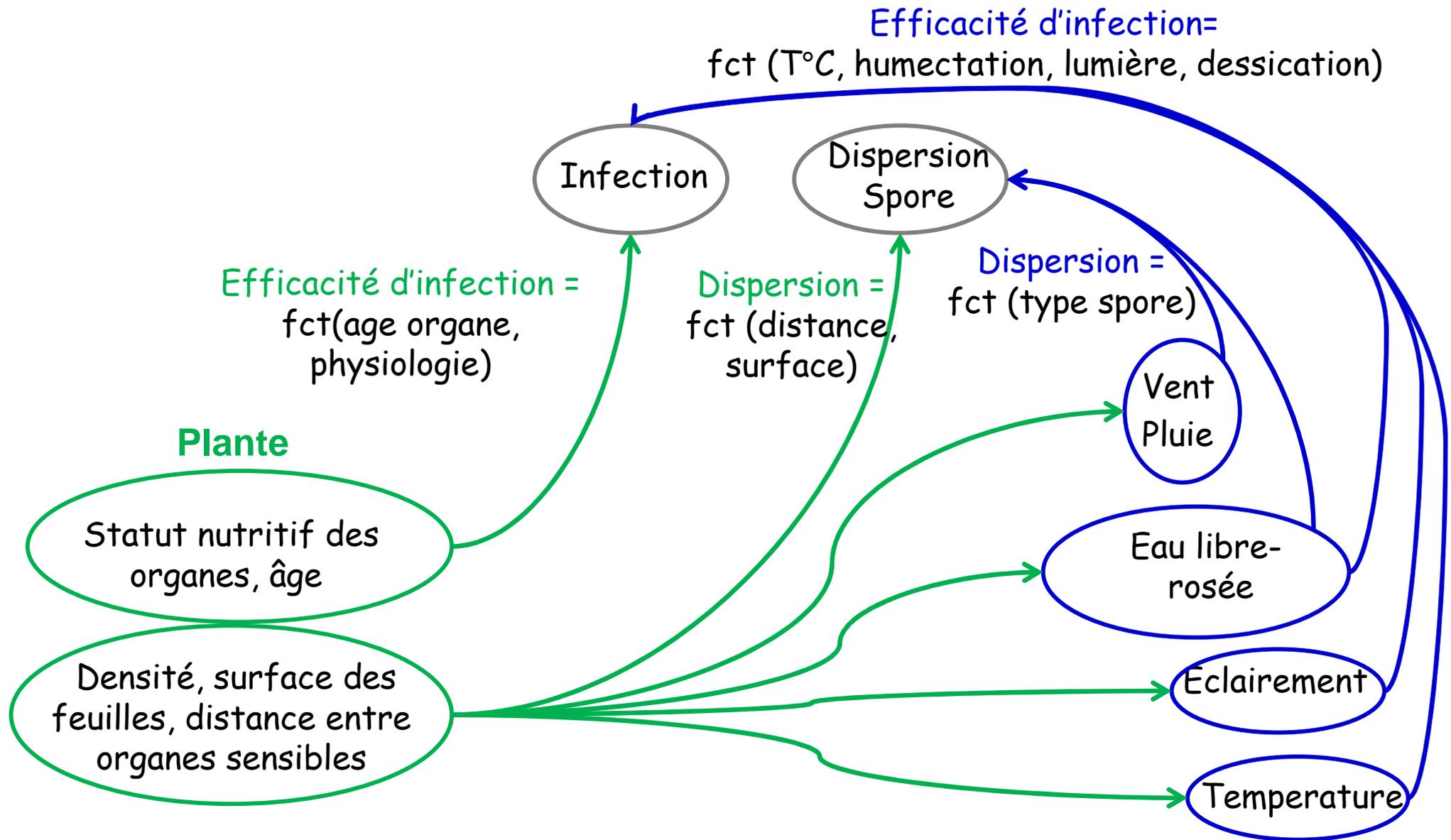


- Quels sont les facteurs qui pilotent une épidémie ?
- A quels changements de la plante peut-on s'attendre ?
- Quels sont les processus impliqués dans l'interaction hôte-pathogène ?
- Comment identifier, hiérarchiser et modéliser ces processus ?
- Comment les utiliser pour contrôler les épidémies de manière plus durable ?

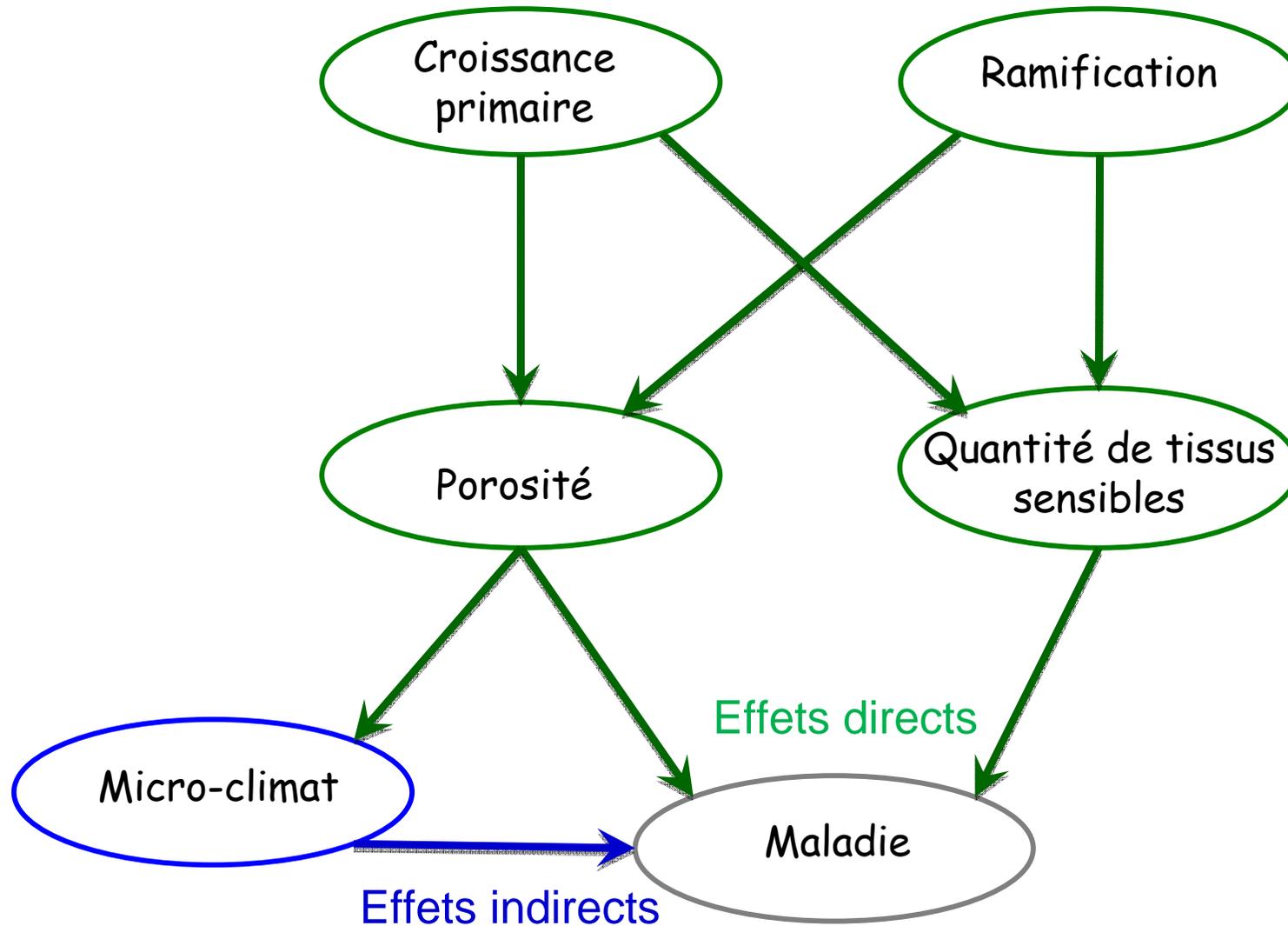
Quels sont les variables - facteurs qui pilotent une épidémie ?



Processus pathogènes impactés par le développement de la plante ?

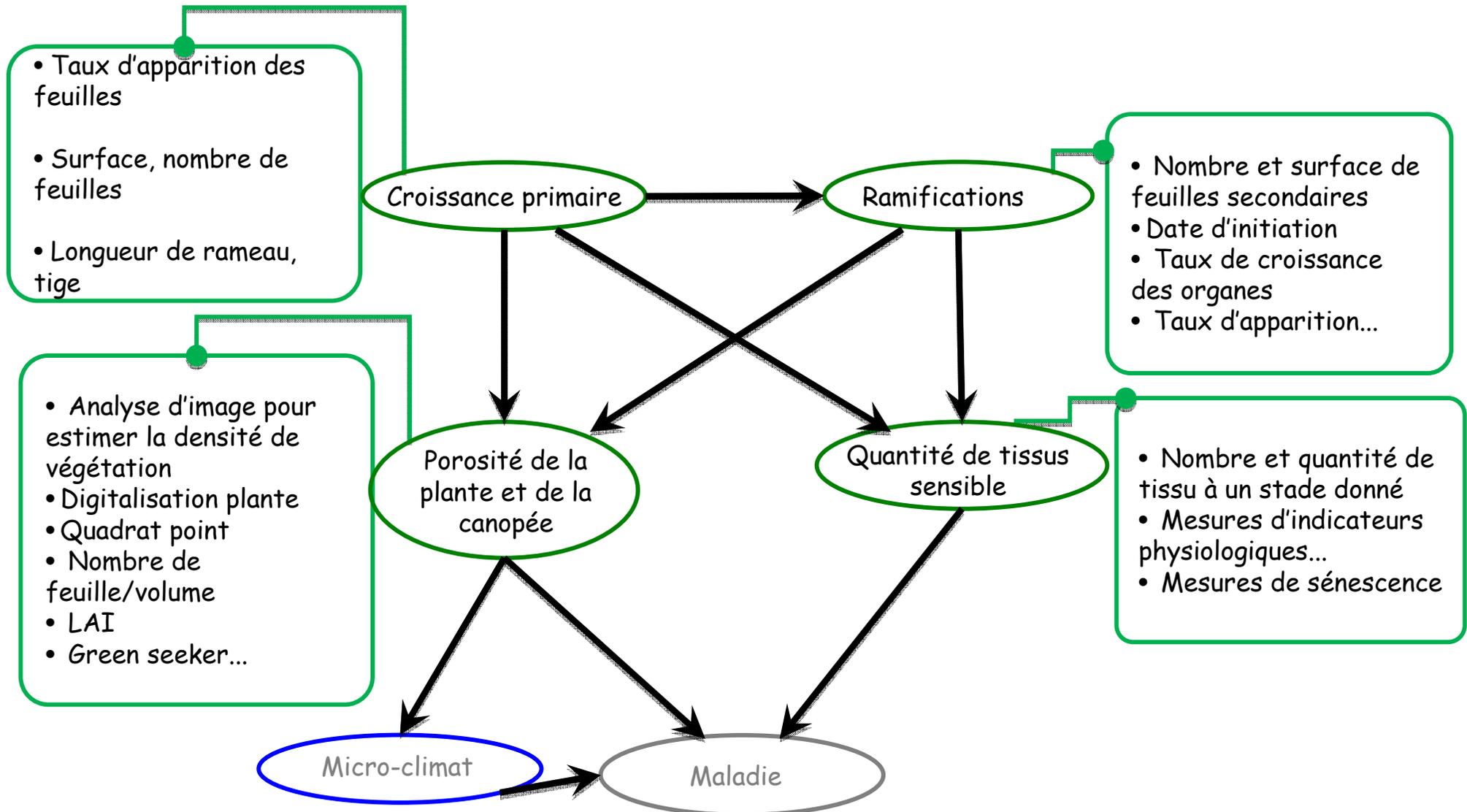


Quelles composantes de l'architecture de la plante sont impliquées ?



Comment quantifier ces effets ?

Quelles variables mesurer pour caractériser le développement et la structure de la plante ?



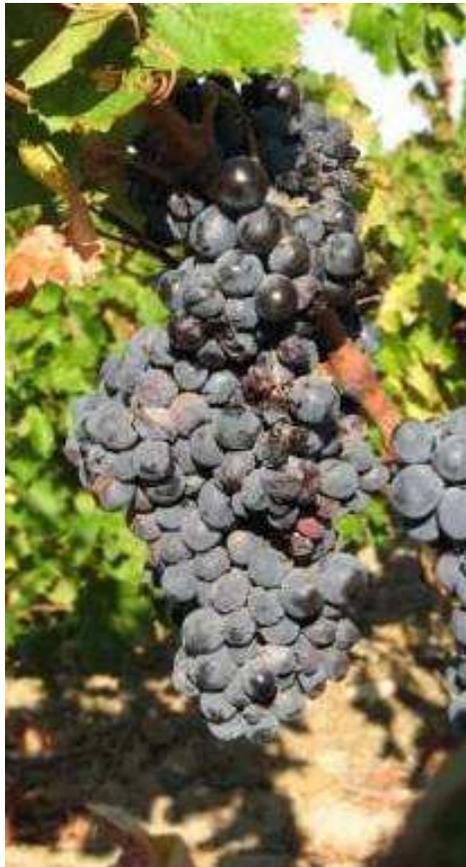
Quand caractériser les changements de développement, de structure et de sensibilité du couvert ?



Sur quel organe, à quelle échelle ?



Vigne
Fleurs, feuilles,
grappes matures



Quels indicateurs simples et pertinents pour caractériser l'évolution des organes ?



Dualex

Mesures de fluorescence pour quantifier, la chlorophylle, l'azote, ...



Marqueurs de stades phénologiques

Surface, diamètres de baies...



Multiplex

Flavonoides



0



1



2



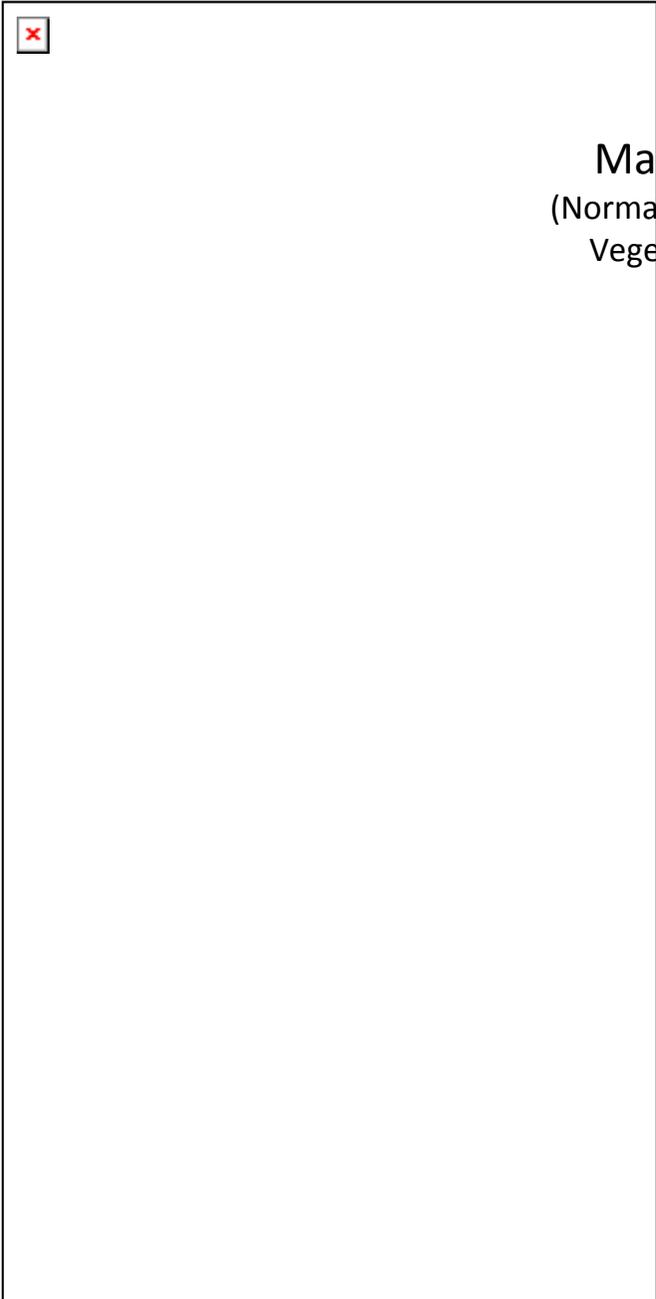
3



4

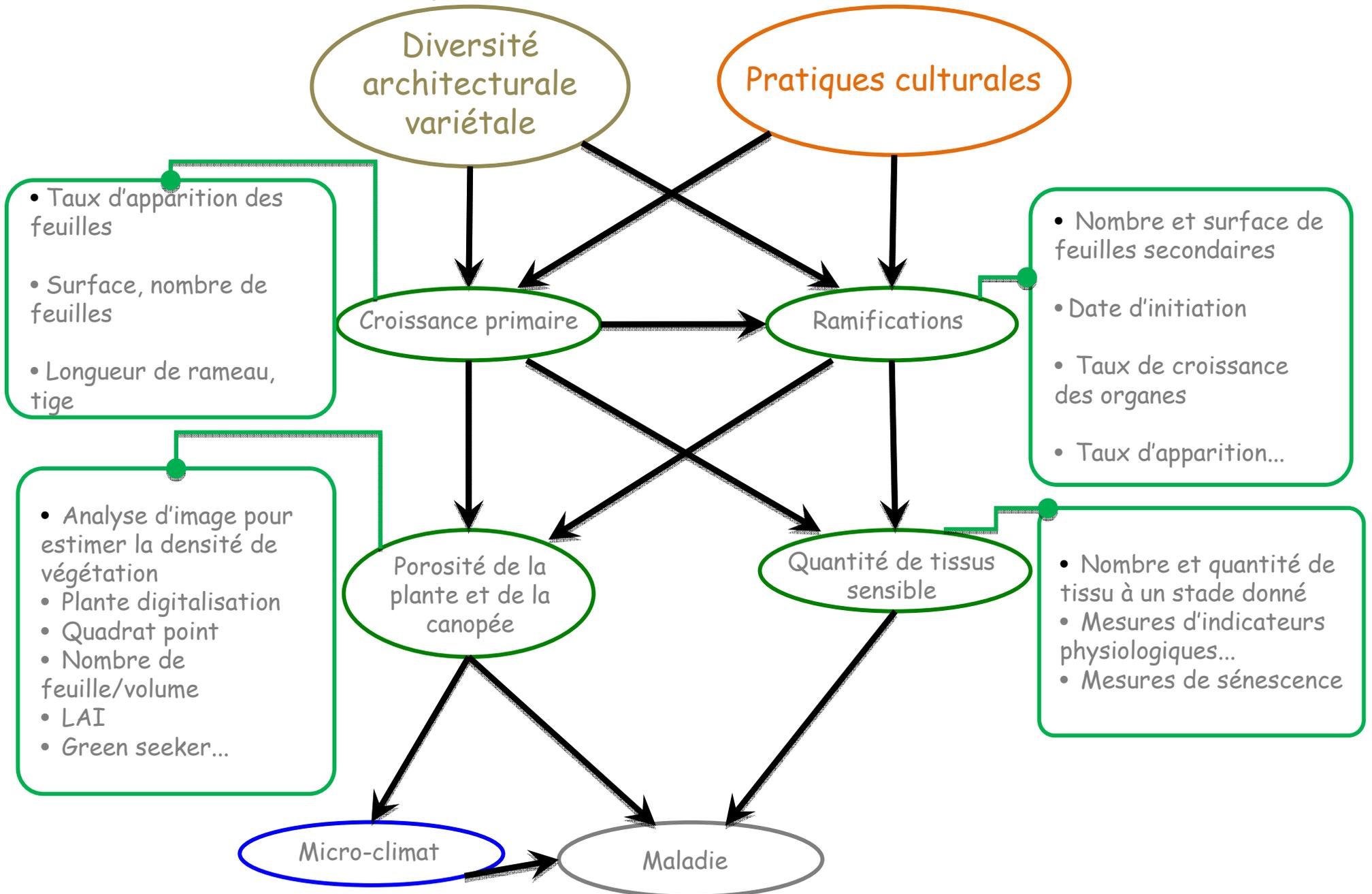
Echelle visuelle de senescence

A l'échelle de la parcelle ?



Map of NDVI
(Normalized Difference
Vegetation Index)

Quels leviers pour modifier la dynamique de développement et de structure de la plante ?



Pratiques culturales

Vigne



Densité de plantation

Enherbement

Système de taille

Système de conduite

Portes-greffe



Pratiques culturales : enherbement (EN) et/ou porte-greffe (R) = réduction de la croissance primaire, des ramifications

Vigne

EN

+ R faible vigueur



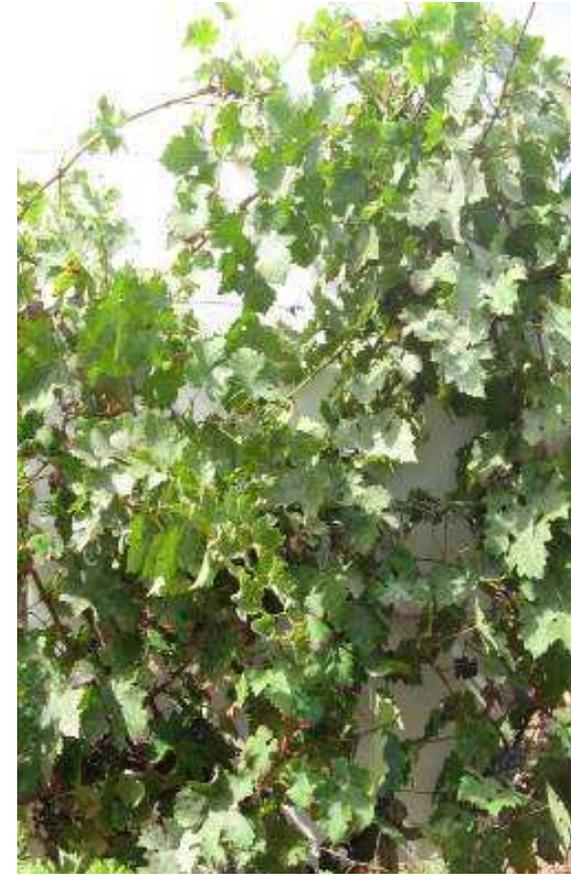
EN

+ R forte vigueur



DESH

+ R faible vigueur



Modifier la phénologie de la plante=

Désynchroniser le développement de la plante et de l'agent pathogène

Vigne

Taille précoce

Débourrement précoce – augmentation de la surface foliaire, de la proportion de feuilles résistantes à t , augmentation de la distance entre bois et organes sensibles



Taille tardive

Débourrement tardif – proportion d'organes sensibles accrue



Bien connaître le cycle de l'agent pathogène

Exploration des relations entre les composantes du système vigne - oïdium

Dispositif



- 2 années : 2009 - 2010
- 2 variétés: **Merlot** and **Cabernet-Sauvignon**
- 3 porte-greffe: **Ripariat**, **SO4**, **110R**
- 2 facteurs culturaux: **Désherbé**, **Enherbé**
- 1 rameau inoculé par traitement
(variété x porte-greffe x facteur cultural)



Variables

➤ Croissance de la plante :

Nombre et Dynamique d'apparition des feuilles (*primaires et secondaires*) (1x / semaine)

Longueur et vitesse de développement des rameaux (1x / semaine)

Densité des feuilles (1 x /saison)

Surface foliaire par imagerie



➤ Mesures qualitatives du sol et du feuillage :

Sol : Structure du sol et contenu en azote

Feuillage : ratio chlorophyll / flavonol par capteur optique (Dualex®). (24 feuilles/cep 1 fois/saison)



Quantifier la porosité à l'échelle de la plante par analyse d'image

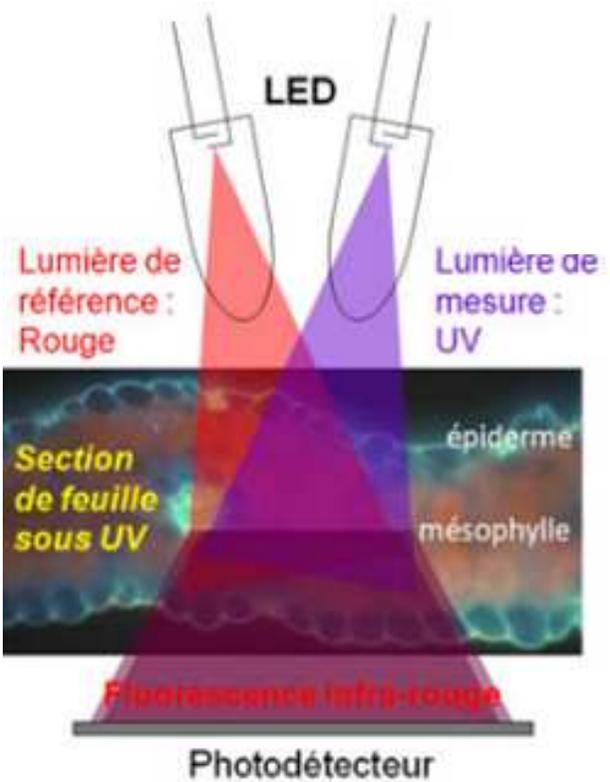
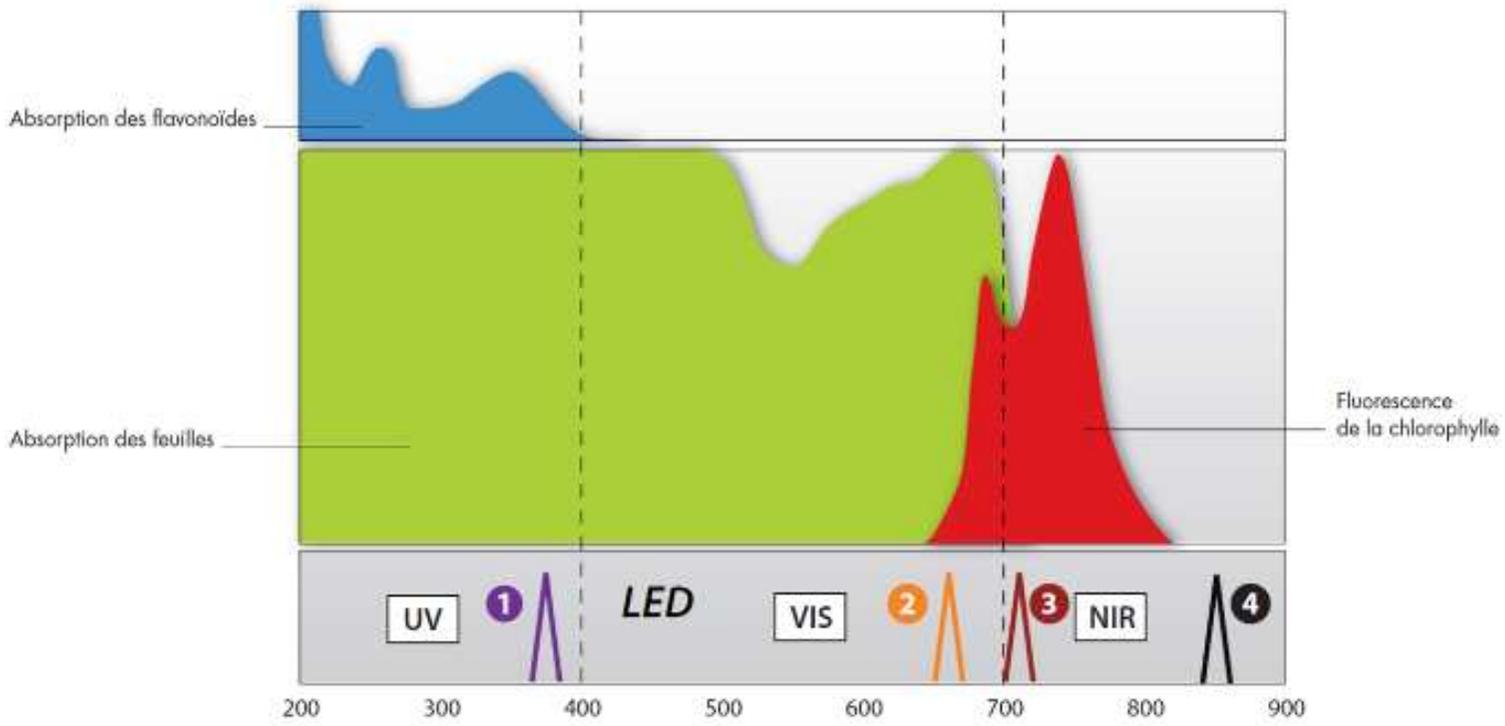
Densité, surface foliaire



Physiologie feuilles



Pince Dualex



$$\text{Teneur en flavonoïdes} = \text{Log} \frac{\text{Fluorescence Infrarouge excitée Rouge}}{\text{Fluorescence Infrarouge excitée UV}}$$

$$\text{Teneur en chlorophylle} = \frac{\text{Trans. Infrarouge} - \text{Trans. Rouge}}{\text{Trans. Rouge}}$$

NBI = Mesure de l'état de nutrition azotée de la plante

$$\text{NBI} = \frac{\text{Teneur en chlorophylle}}{\text{Teneur en flavonoïdes}}$$

Variables

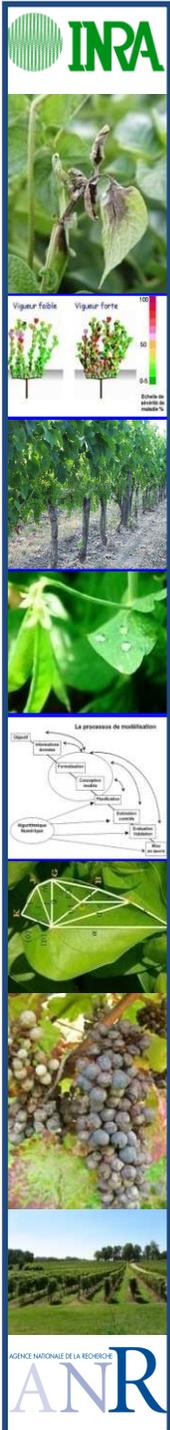
➤ Maladie:

Sévérité de la maladie sur feuilles primaires et secondaires

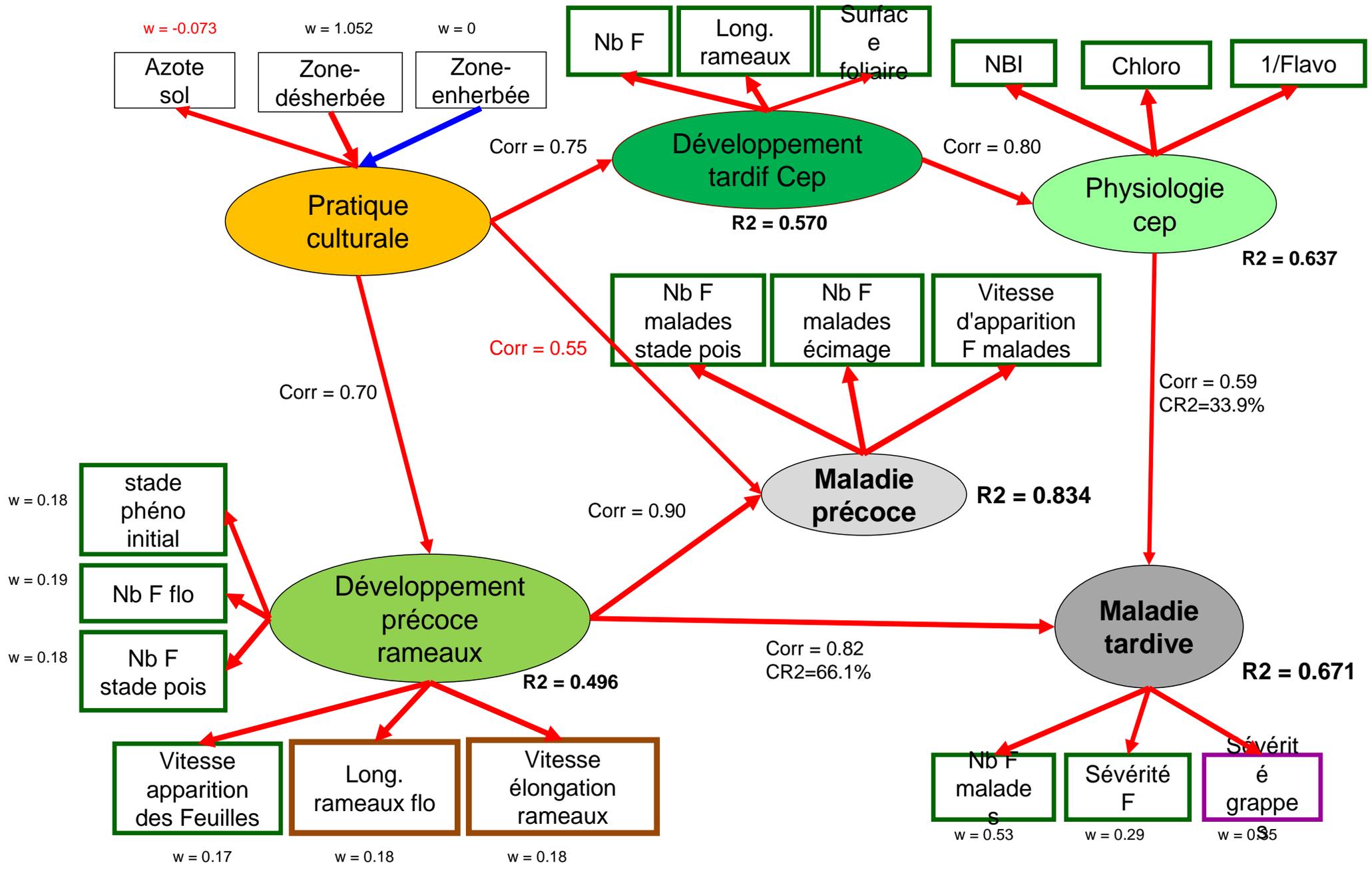
(1x / week)

Sévérité sur grappes en juillet et septembre

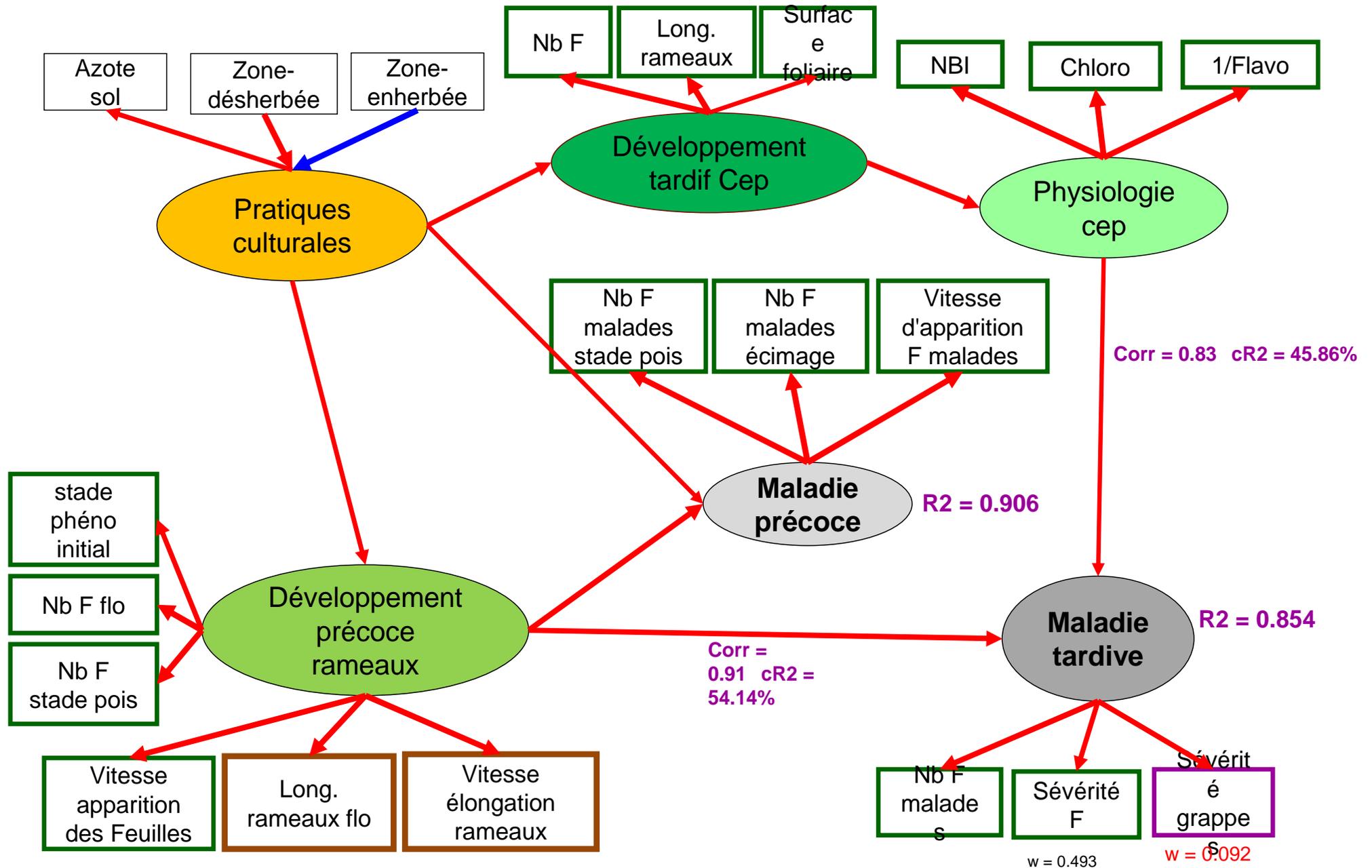
Poids des grappes



Merlot



Cabernet-Sauvignon



Au travers de pratiques culturales, sur vigne, cépages sensibles, on peut modifier la **production d'organes** :

impact sur la dynamique de développement de l'oïdium

nombre de feuilles attaquées, sévérité sur feuilles

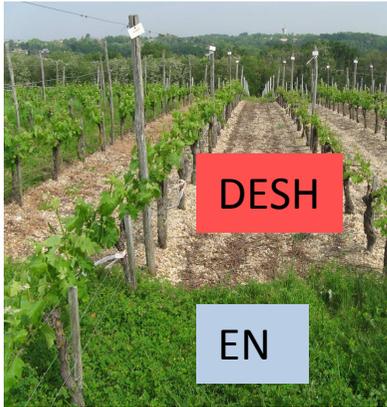
sévérité sur grappes fonction des cépages

modification de sensibilité des feuilles ?

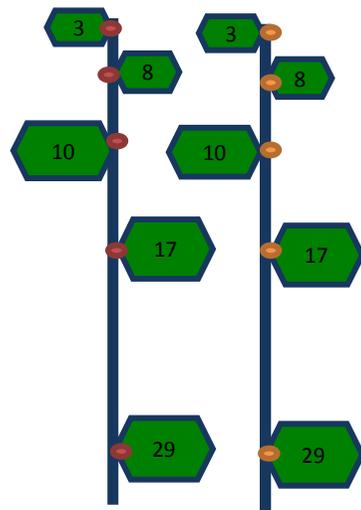
**La sensibilité des tissus est-elle
réellement modifiée ?**

Utilisation d'expérimentations en conditions semi-contrôlées pour dissocier les processus.

Ex. Quantifier l'effet de la résistance ontogénique et de l'état physiologique de l'organe sur les traits de pathogénicité : efficacité d'infection, sporulation...



Caractérisation de la croissance et physiologie des ceps **au vignoble**



Echantillonnage de rameaux dans les 2 conditions culturales



Caractérisation des feuilles, âge, surface, physiol. (NBI, Chloro, sucres, contenu en eau) **au labo**



Tests de pathogénicité **au labo.**



% Infection



Sporulation...



Marquage des feuilles à leur sortie

Age

Vitesse d'apparition

Photos + analyse d'image



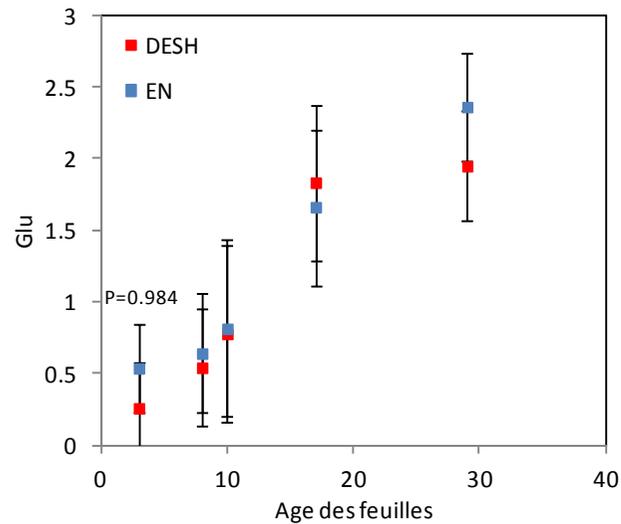
Longueur totale rameaux
(1 et 2)



Surface foliaire
(1 et 2)

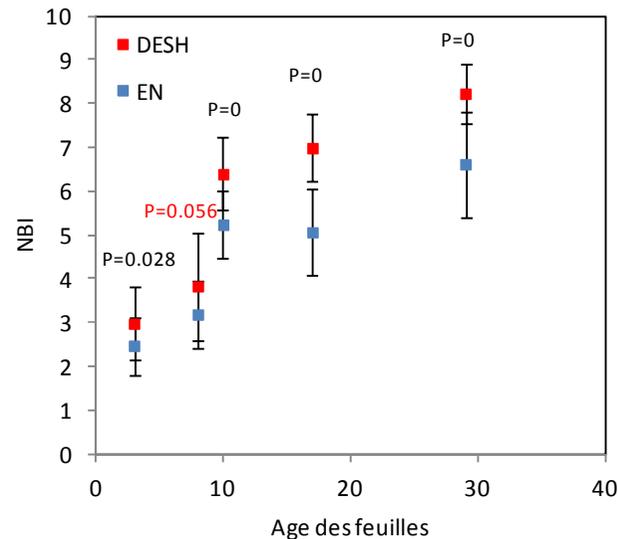
Différences de physiologie entre zones culturelles s'expriment surtout pour les feuilles >10 jours déjà résistantes à l'agent pathogène !

Sucre
indicateur de
transition
puits-source



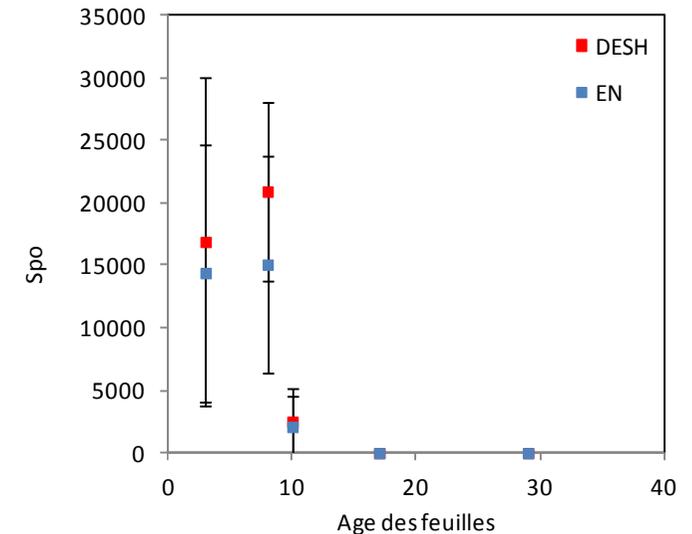
Indicateur de
résistance
ontogénique

NBI indicateur
de vigueur

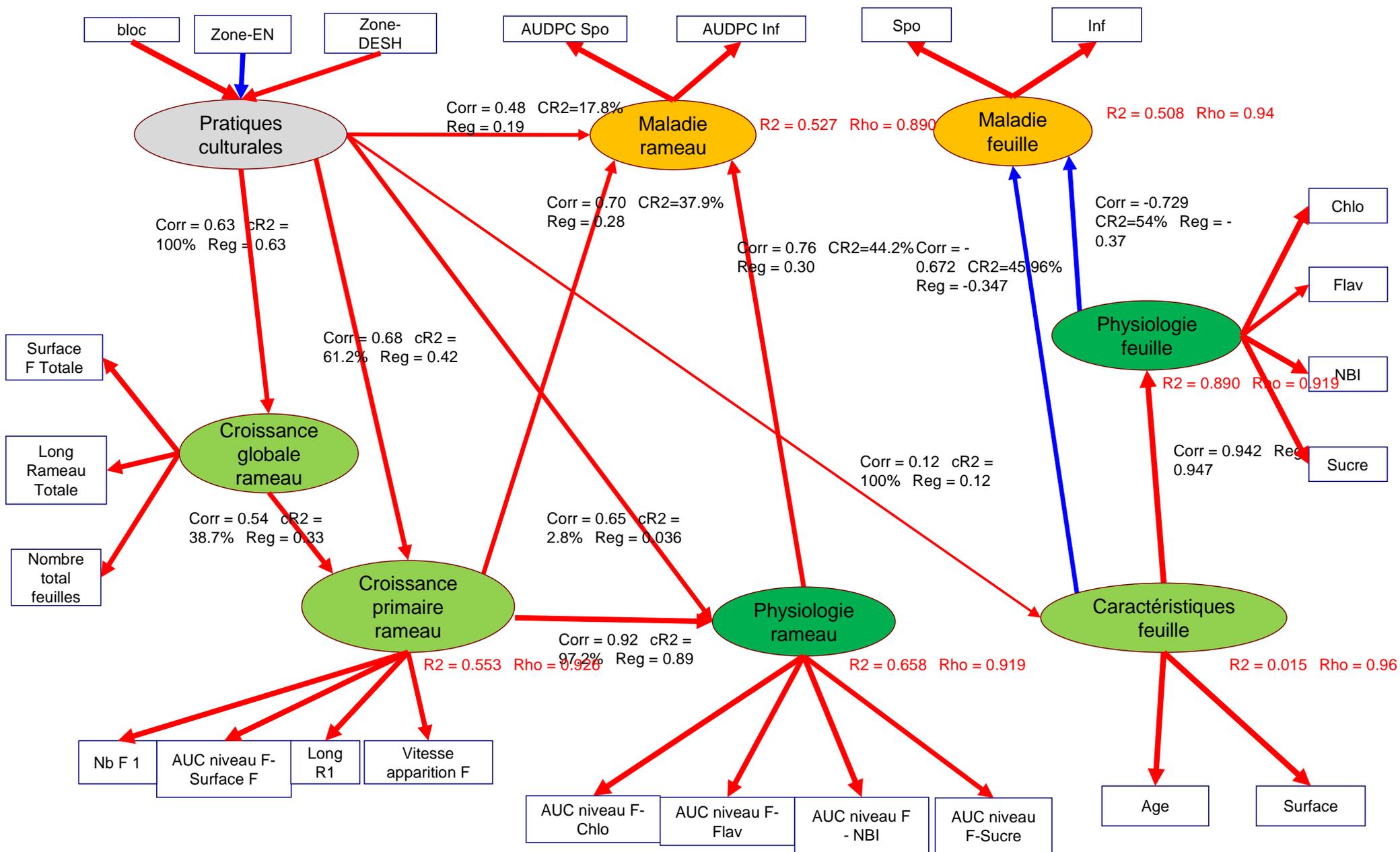


Indicateur de
vigueur
surtout pour
les feuilles
âgées

Sensibilité
chute à 10
jours



Les feuilles qui se
différencient pour
le NBI ne sont
résistantes



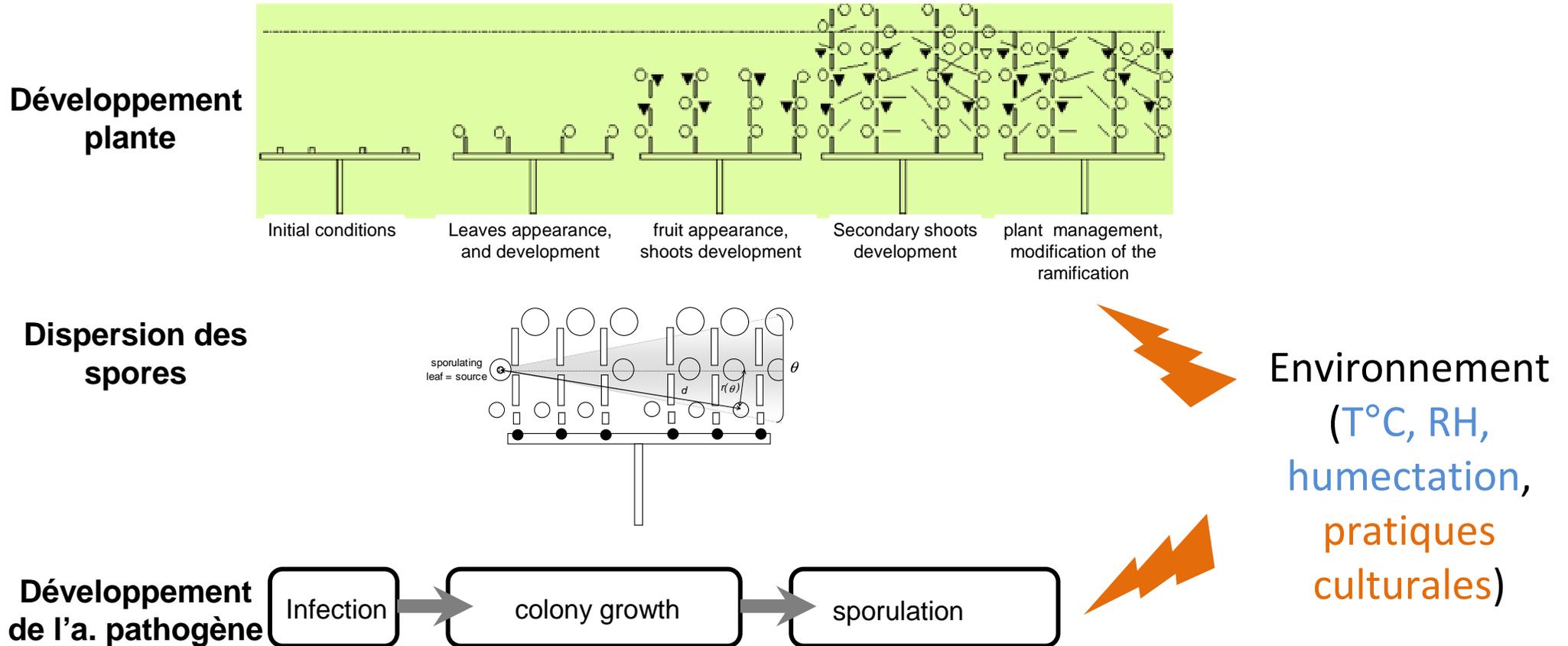
Les modifications de pratiques culturales testées,
ne modifient pas la sensibilité intrinsèque des feuilles

La modification est donc bien au niveau de la
production de feuilles sensibles

Comment modéliser ces processus ?

Deux types de modèles :

1. Modèle simulation discret basé sur les processus



Modèle complexe permettant de hiérarchiser les effets de l'hôte sur la maladie

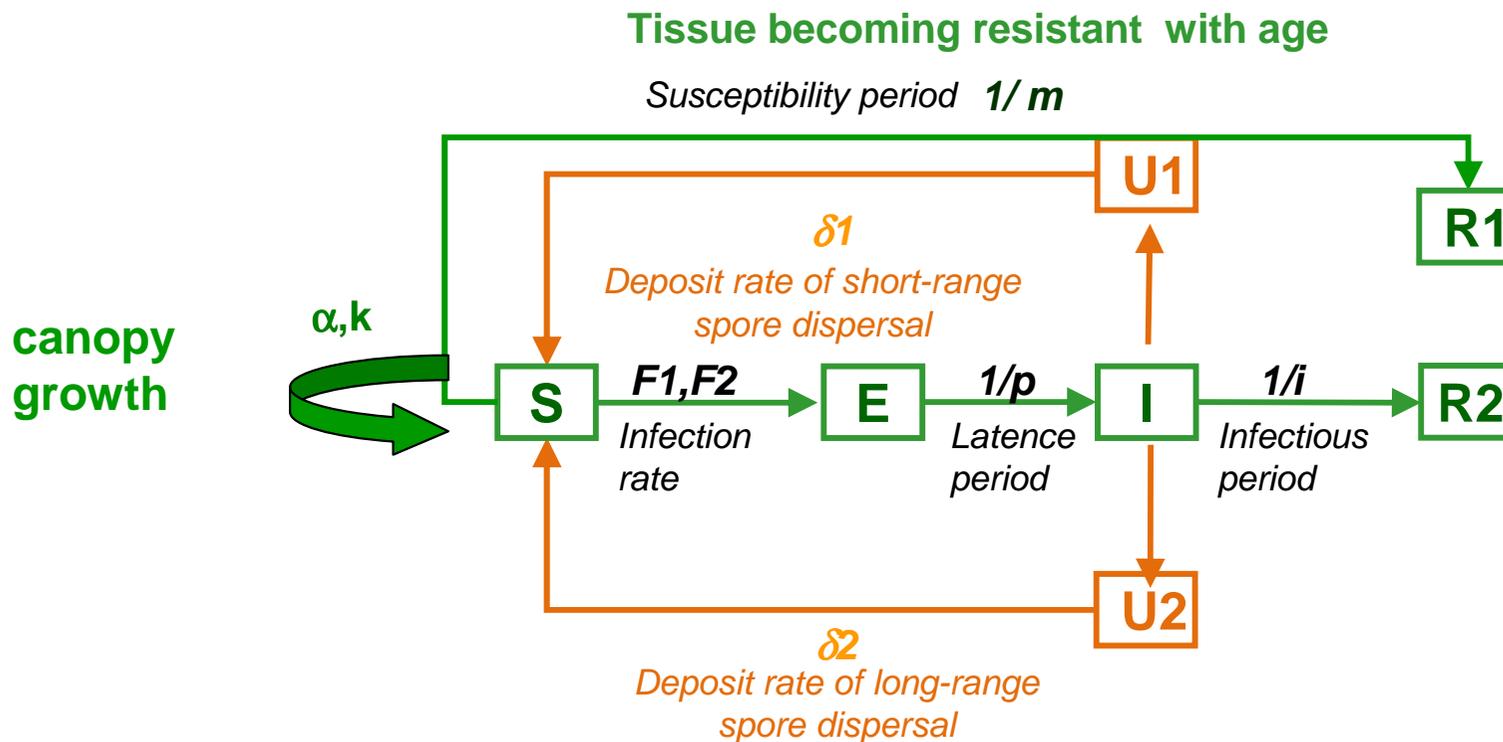
Les analyses de sensibilité ne sont pas triviales

2. Modèles mathématiques à compartiments

Modèles types SEIR type:

Evolution dans le temps de la surface de tissu décrite par equations différentielles

Peut être amélioré en utilisant des EDP pour prendre en compte la dispersion à l'échelle de la parcelle et la densité de feuilles

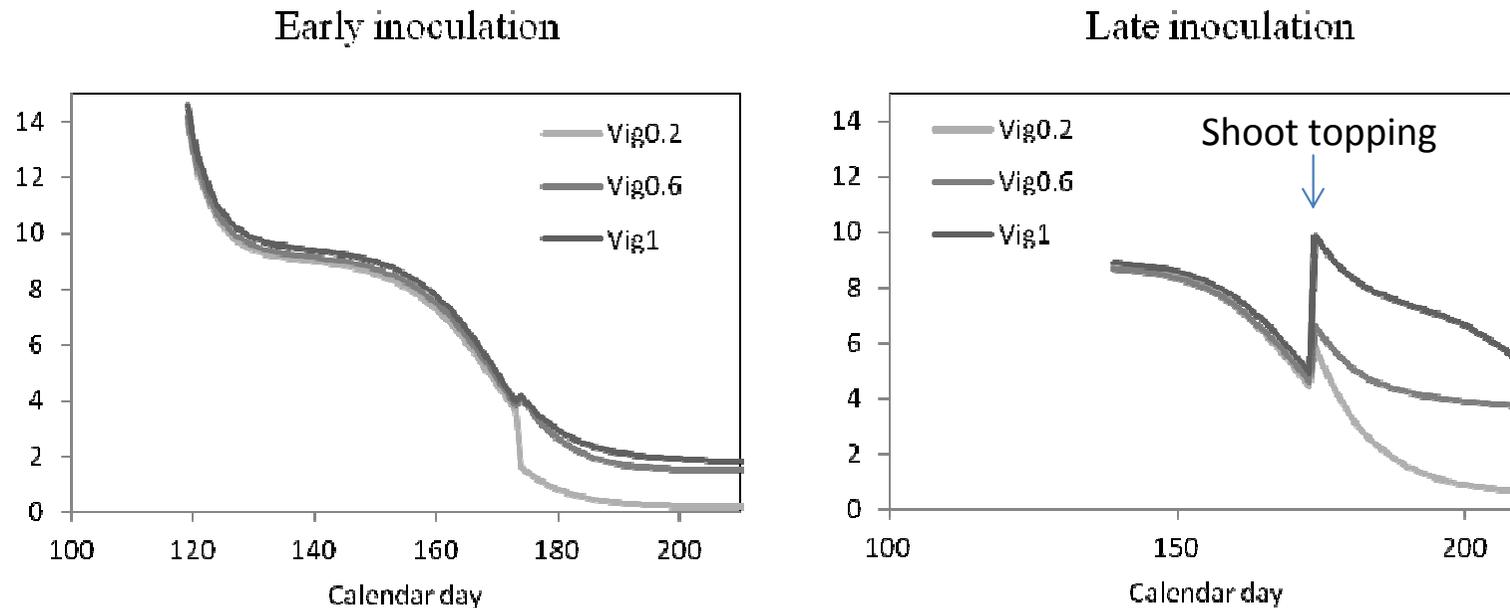


Calibration pas simple

Combiner les deux types de modèles :

Utilisation des sorties du modèle de croissance 3D pour calibrer le modèle SEIR

Simulation d'oïdium sur vigne avec 3 niveaux de vigueur et deux dates de contamination



Le seuil épidémique décroît avec le temps (résistance ontogénique)

Dans le cas d'une contamination tardive, le Re_{eff} réaugmente après écimage d'autant plus que la vigueur est importante

Conclusions

- Une modification de pratiques culturales sur vigne, cépages sensibles, permet de modifier la production d'organes sensibles :
impact sur la dynamique de développement de l'oïdium
 - Pas d'effet apparent sur la sensibilité des organes
- Existe-t-il des pratiques culturales (écimage, échardage, non taille...) qui modifieraient la vitesse d'apparition d'organes sensibles voir la transition source-puits ?
- Une modification de l'architecture a également un effet sur le micro-climat (impact sur le botrytis) et sur la lumière reçue par les grappes en les rendant plus résistantes (oïdium)
- Une démonstration de l'impact de la croissance à grande échelle reste à faire (indicateurs de croissance pertinents)
- Continuer d'améliorer les modèles en combinant les pratiques

Références

Micro-climat

Valdes-Gomez H, Fermaud M, Roudet J, Calonnec A, and Gary. 2008 *Crop protection* 27: 1174-1186

Eclairage

Zahavi T, and Reuveni M. 2012. *European Journal of Plant Pathology* DOI 10.1007/s10658-012-9938-z: 2012.

Austin CN, and Wilcox WF. 2011. *Am J Enol Vitic* 62: 193-198.

Production dynamique d'organes sensibles

Valdes-Gomez H, Gary C, Cartolaro P, Lolas-Caneo M, Calonnec A, 2011. *Crop Protection* 30, 1168-77.

Burie J-B, Langlais M, Calonnec A. 2011. *Annals of Botany* 107: 885-895.

Calonnec A, Schnee S, Cartolaro P, Langlais M. 2011. *IOBC/WPRS Bulletin* 67: 123-130.

Burie JB, Calonnec A, Langlais M, Mammeri Y. 2012. *IEEE 4th International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications (PMA'12)*, Shanghai.

Sensibilité- résistance ontogénique

Calonnec A, Jolivet J, Vivin P, Schnee S, 2013. *Soumis à Annals of Botany*.

Schnee S, Jolivet J, Calonnec A. 2011. *IOBC/WPRS Bulletin* 67: 131-138.