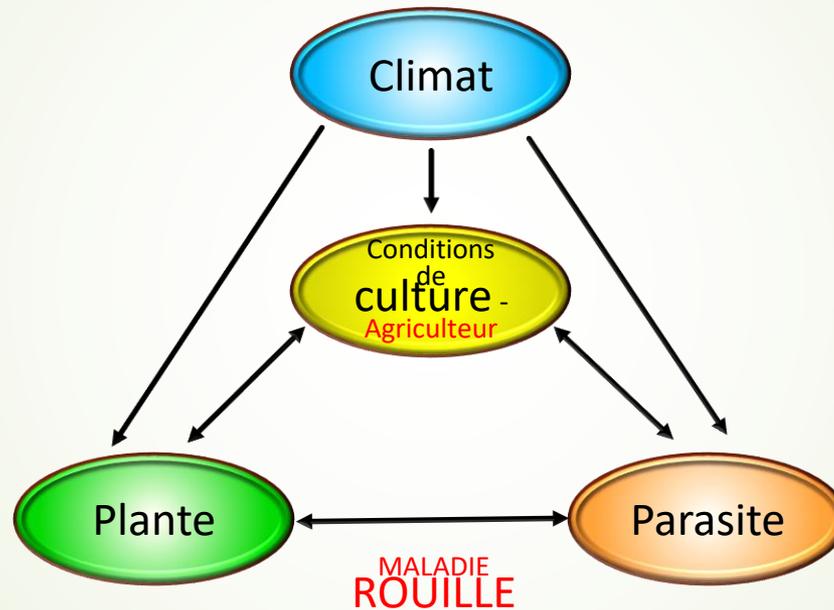


ROUILLES DES BLÉS

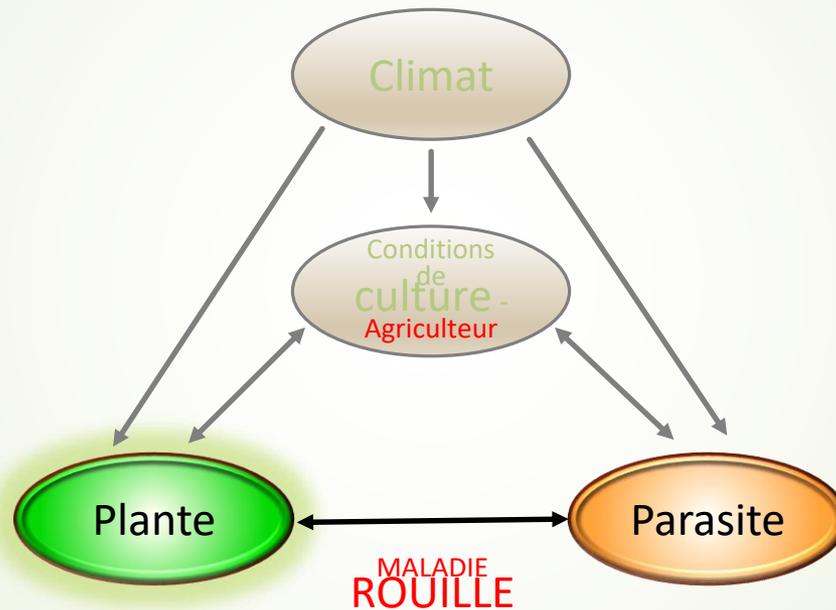
Importance des **pratiques agricoles** et **modélisation** pour une gestion du risque au niveau de **la parcelle** en fonction du **climat**

Dr. Daniel CARON

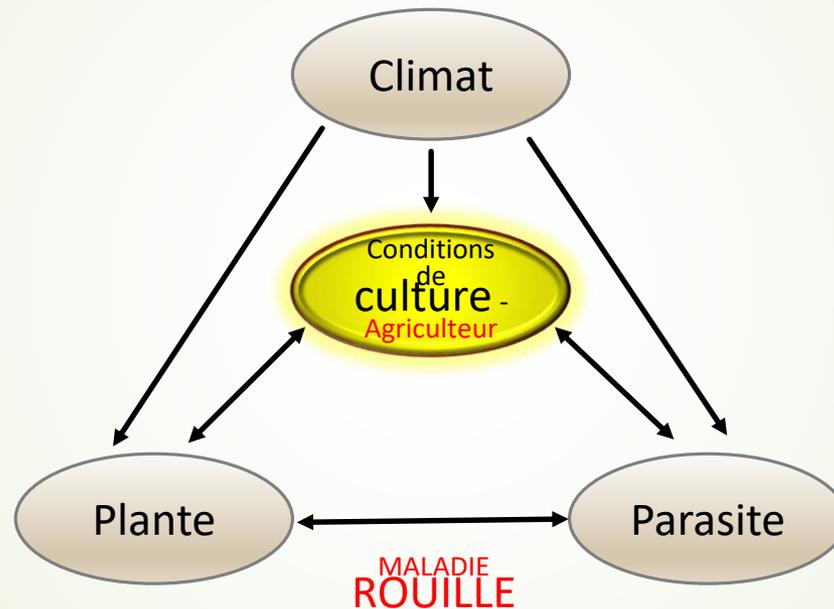
Rouilles : les moteurs de la maladie



1^{ère} ligne de défense : la résistance de l'hôte



2^{ème} ligne de défense : conditions de cultures, pratiques agricoles



Gestion des repousses

Un point capital

- Les repousses font un **pont de végétation** permettant la survie de ces **parasites obligatoires**, pendant la rupture végétative en été.
- Les spores dépérissent rapidement après la moisson et la mort des plantes hôtes. Surtout pour la rouille jaune avec des spores très sensibles à la sécheresse et aux UV.
- Les repousses sont infectées par les vents ou directement par contact au sortir de terre après germination.
- les repousses des champs voisins en précédent blé constituent la principale source d'inoculum.
- Parfois, la "Directive Nitrates" vient contrecarrer la rupture végétative. Le piégeage d'azote et l'engrais vert sont plus faciles et moins chers en utilisant les repousses qui ressemblent parfois à une véritable interculture.
- Du point de vue **climatique**, les pluies et les orages favorisent les repousses et devraient inciter à une action.

Date de semis

Des risques

- **C'est une question d'équilibre :**
 - **Semis Précoce :**
favorise la formation d'un inoculum important au cours de l'automne et de l'hiver.
 - **Semis tardif :** diminue la production et donc le revenu de l'agriculteur.

- **dépendante du climat :**
 - Certaines terres sont difficiles à reprendre avec un nombre de jours de faisabilité faible. Un automne pluvieux peut parfois entraîner un retard des semis jusque fin décembre avec une diminution importante du potentiel de production.

- **La date optimale est déterminée par la Région (climat - terre) et la variété.**

Densité de semis

Variable d'ajustement

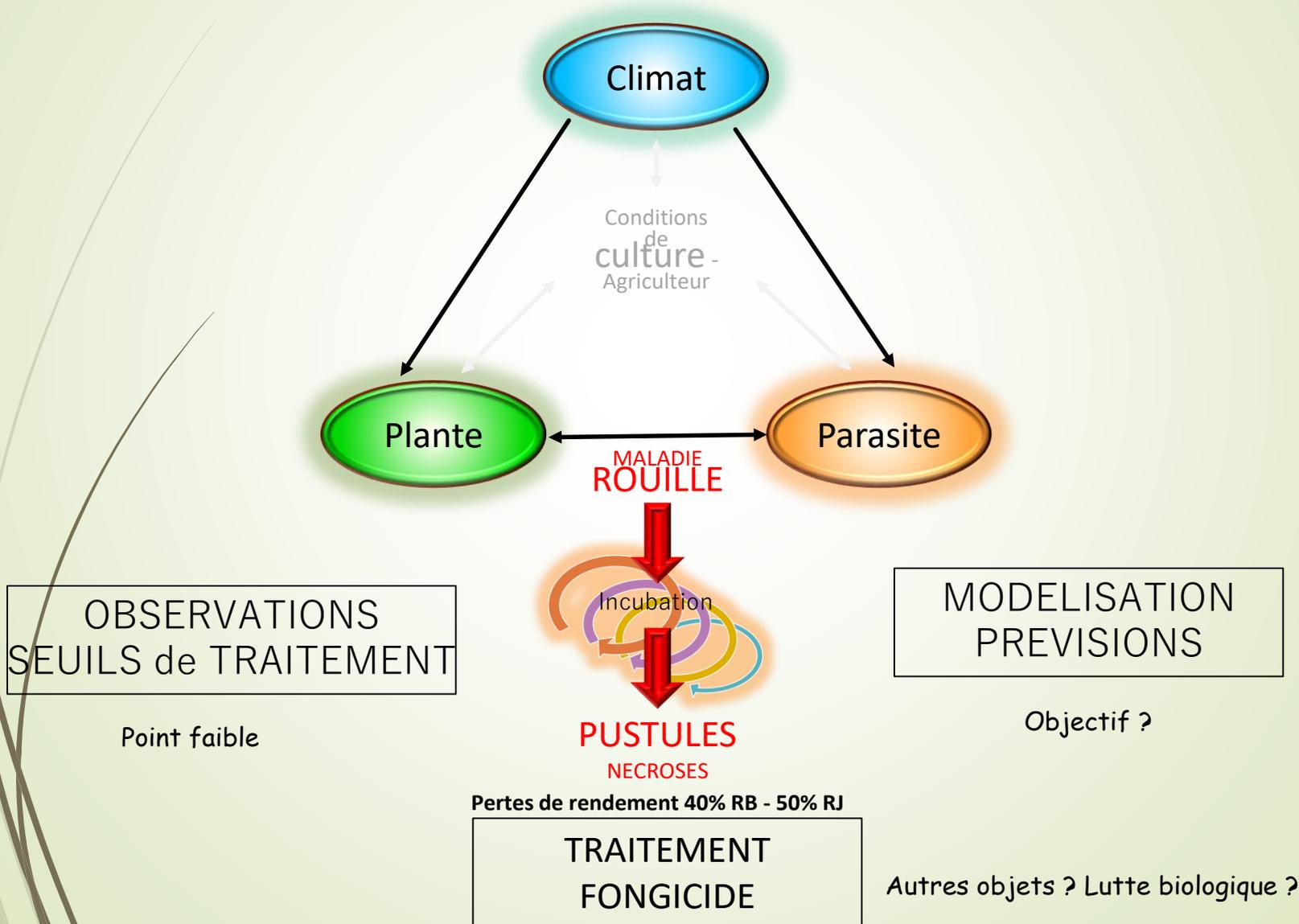
- **Végétation dense favorable aux rouilles :**
conservation de l'humidité dans la végétation.
- **Le paramétrage variétal en culture classique :**
 - **Tallage** potentiel de la variété
 - Selon **date de semis**
 - Selon **Région**
 - Pour répondre à la **densité d'épis au m² optimale** pour la variété.
Les conseils donnés proviennent de l'obteneur, modulé au niveau local par les Instituts les coopératives et les conseillers pour une production optimale.

Fertilisation azotée

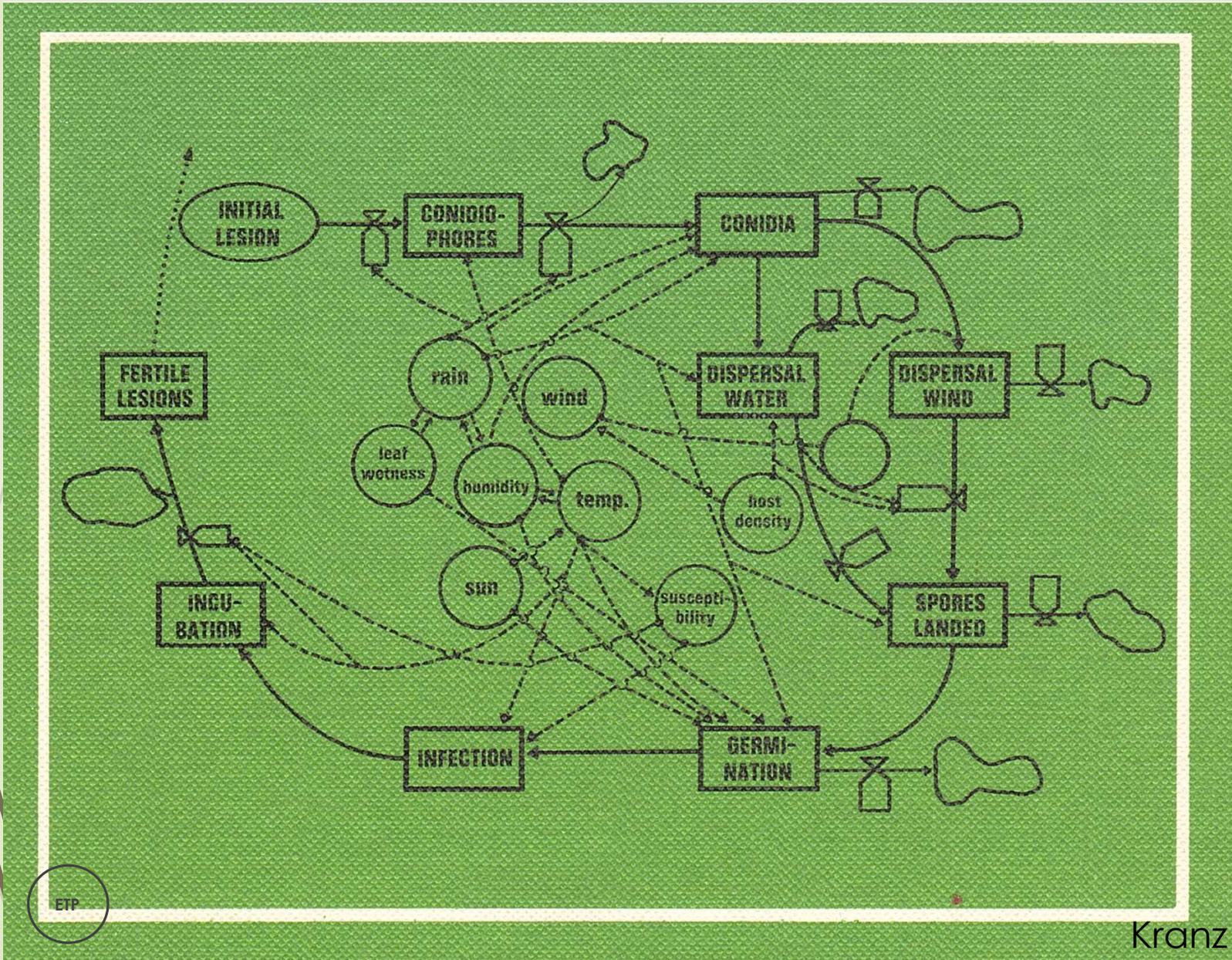
Favorable à l'épidémie

- ▶ Fertilisation azotée : mise en place d'un **couvert végétal** favorable aux rouilles :
 - ▶ Augmentation de la **surface foliaire** à coloniser.
 - ▶ Conservation de l'**humidité** dans la végétation.
- ▶ De plus la concentration de l'azote dans les plantes influence le parasite :
 - ▶ la **quantité de pustules** produites
 - ▶ La **taille des pustules**
 - ▶ **Nombre de spores** produites
- ▶ Le **fractionnement** des apports a pour principal objectif d'optimiser la production mais :
 - ▶ **Légèrement freinant** pour la maladie.
- ▶ **Excès d'azote** sont favorisants
- ▶ Cependant pour la production, une quantité optimale est déterminée en culture classique.

3^{ème} ligne de défense modélisation, prévision, traitement



MODÈLES : Le "Microscope" ou le "Macroscopie"



ETP

Kranz 1974

MODÈLES

Paramètres climatiques préalables à la construction de modèles descriptifs

Environmental conditions required for the wheat rusts

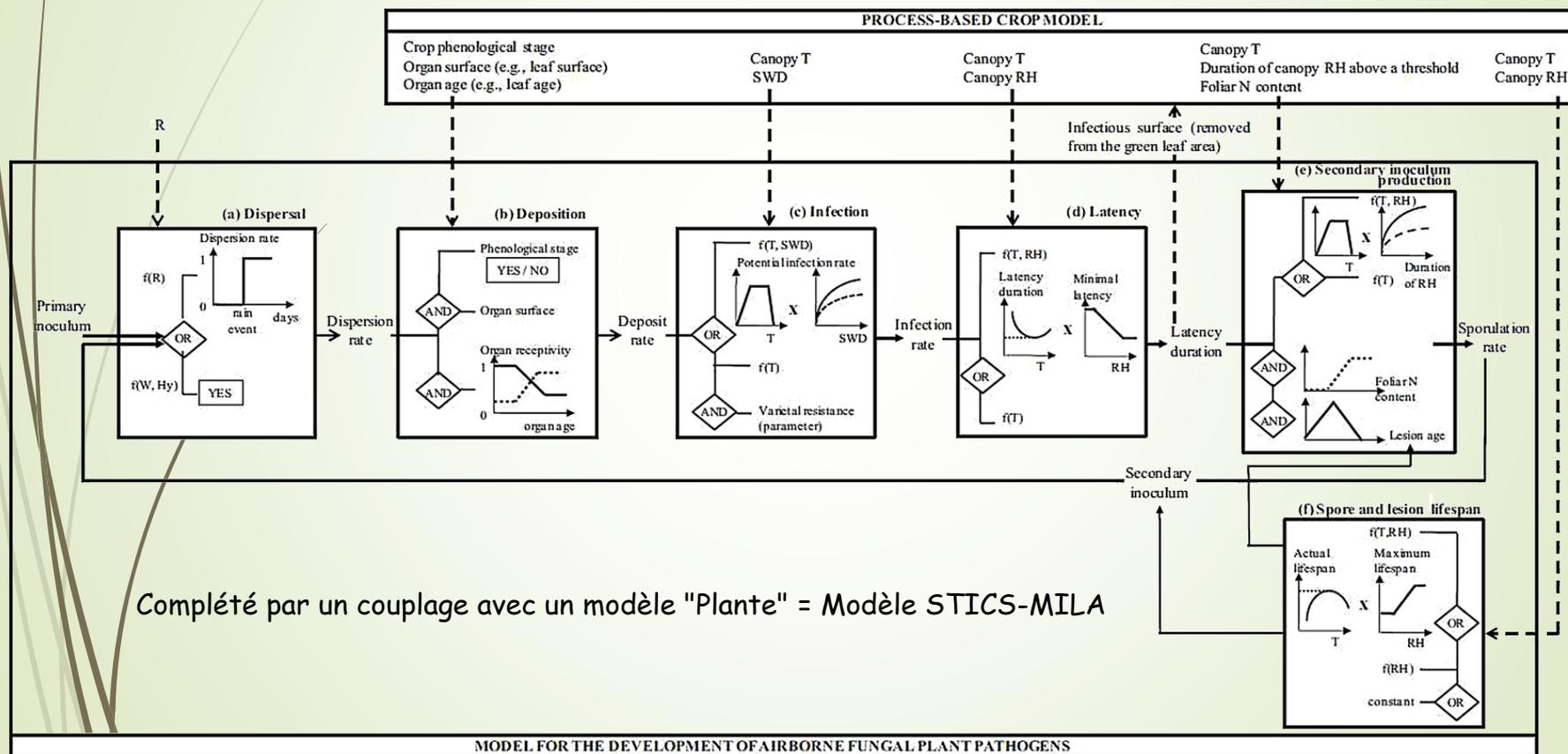
Stage	Temperature (°C)			Light	Free water
	Minimum	Optimum	Maximum		
Leaf rust					
Germination	2	20	30	Low	Essential
Germling	5	15-20	30	Low	Essential
Appressorium	-	15-20	-	None	Essential
Penetration	10	20	30	No effect	Essential
Growth	2	25	35	High	None
Sporulation	10	25	35	High	None
Stem rust					
Germination	2	15-24	30	Low	Essential
Germling	-	20	-	Low	Essential
Appressorium	-	16-27	-	None	Essential
Penetration	15	29	35	High	Essential
Growth	5	30	40	High	None
Sporulation	15	30	40	High	None
Stripe rust					
Germination	0	9-13	23	Low	Essential
Germling	-	10-15	-	Low	Essential
Appressorium	-	-	(not formed)	None	Essential
Penetration	2	9-13	23	Low	Essential
Growth	3	12-15	20	High	None
Sporulation	5	12-15	20	High	None

Source: Roelfs *et al.*, 1992.

Mais il faut adapter selon les races, la situation géographique et l'adaptation des rouilles aux climats

MODÈLES : Le "Microscope"

Progressivement, les éléments s'agencent et viennent se compléter :

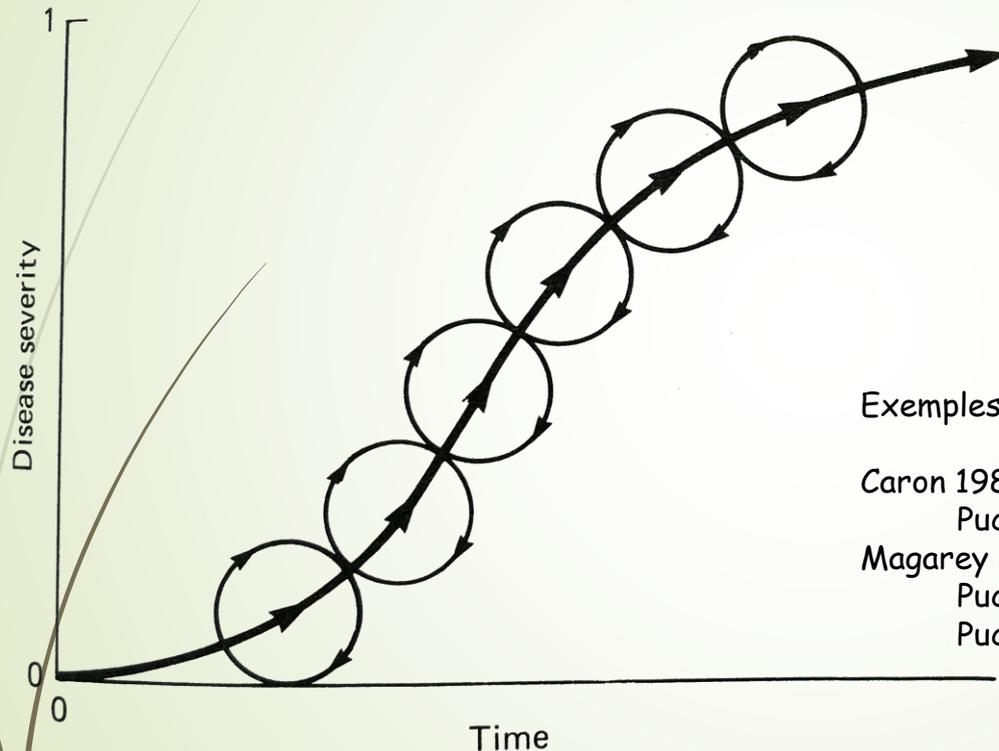


Complété par un couplage avec un modèle "Plante" = Modèle STICS-MILA

J. Caubel et al. / Ecological Modelling 242 (2012) 92–104

Fig. 1. Diagram of the conceptual design of the generic model for the development of airborne fungal crop pathogens and its coupling with a process-based crop model: input and output variables are specified ("R" for rain, "W" for wind, "Hy" for hygrometrical variation, "T" for temperature, "SWD" for wetness duration, "RH" for relative humidity, and "N content" for nitrogen content).

MODÈLES : Le "Macroscopie"



Courbes logistiques

Logistique, Richards, Gompertz, sigmoïde...

Exemples de réalisation rouille brune :

Caron 1988-1992

Puccinia recondita sur blé : $r = 0,99$

Magarey *et al.* 2005 :

Puccinia recondita sur blé : $r = 0,61$

Puccinia striiformis sur blé : $r = 0,99$

D'après France & Thornley 1984
Mathematical models in agriculture
Plant diseases and pests

Exemple d'utilisation du Modèle STICS-MILA : Rouille brune / Réchauffement climatique

Caubel & al. 2017

= Rouille plus précoce, plus intense et extension de la zone d'implantation

Inoculum primaire :

- Sensibilité accrue de la quantité initiale d'inoculum primaire :
- Donc à la **survie** et au développement de l'inoculum au cours de l'**été**, de l'**automne** et de l'**hiver**.

Modification de la synchronisation Hôte-Pathogène

Pour un RCP de 4,5 à 8,5 (gaz à effet serre ↗ en W/m²)

- Maladie plus précoce d'1 mois.
- Raccourcissement des périodes de latence.
- Infections plus efficaces.
- Sporulation plus abondante.

- Développement du blé précoce :
- Surtout accélération des stades juvéniles : support plus abondant pour l'inoculum

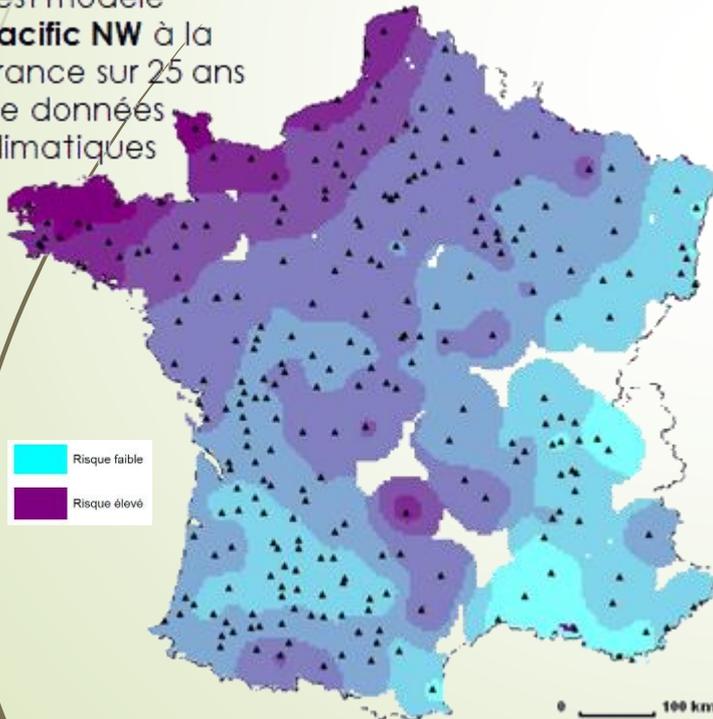
- Sécheresse plus importante au printemps qui ralentit le phénomène.

Prévision ROUILLE JAUNE

Avènement
du PC

- **Coakley et Line 1981** : Modèle "Pacific NW", indice de sévérité de la RJ
 - Températures : Base 7°C [T° optimale germination infection (Sharp 1965)]. Équations calculées à partir de :
 - °C négatifs : $N = \sum (T^{\circ}_{j_{moy}} - 7^{\circ}C)$ si $T^{\circ}_{j_{moy}} < 7^{\circ}C$ du 1^{er} décembre au 31 janvier
 - °C positifs : $P = \sum (T^{\circ}_{j_{moy}} - 7^{\circ}C)$ si $T^{\circ}_{j_{moy}} > 7^{\circ}C$ du 1^{er} avril au 30 juin
 - Indice RJ = $10,2434 - 0,0093(N+P)$ avec $R^2 = 0,9071$
 - La pluie n'a qu'une très faible influence : moins de 1% d'explication, donc non utilisée.

Test modèle
Pacific NW à la
France sur 25 ans
de données
climatiques



Modification 1984, introduction d'1 paramètre supplémentaire :

Période glissante : Identification des **40** premiers **P** sur une fenêtre glissante de 14 jours à partir du 1^{er} mars.

Amélioration 1988 :

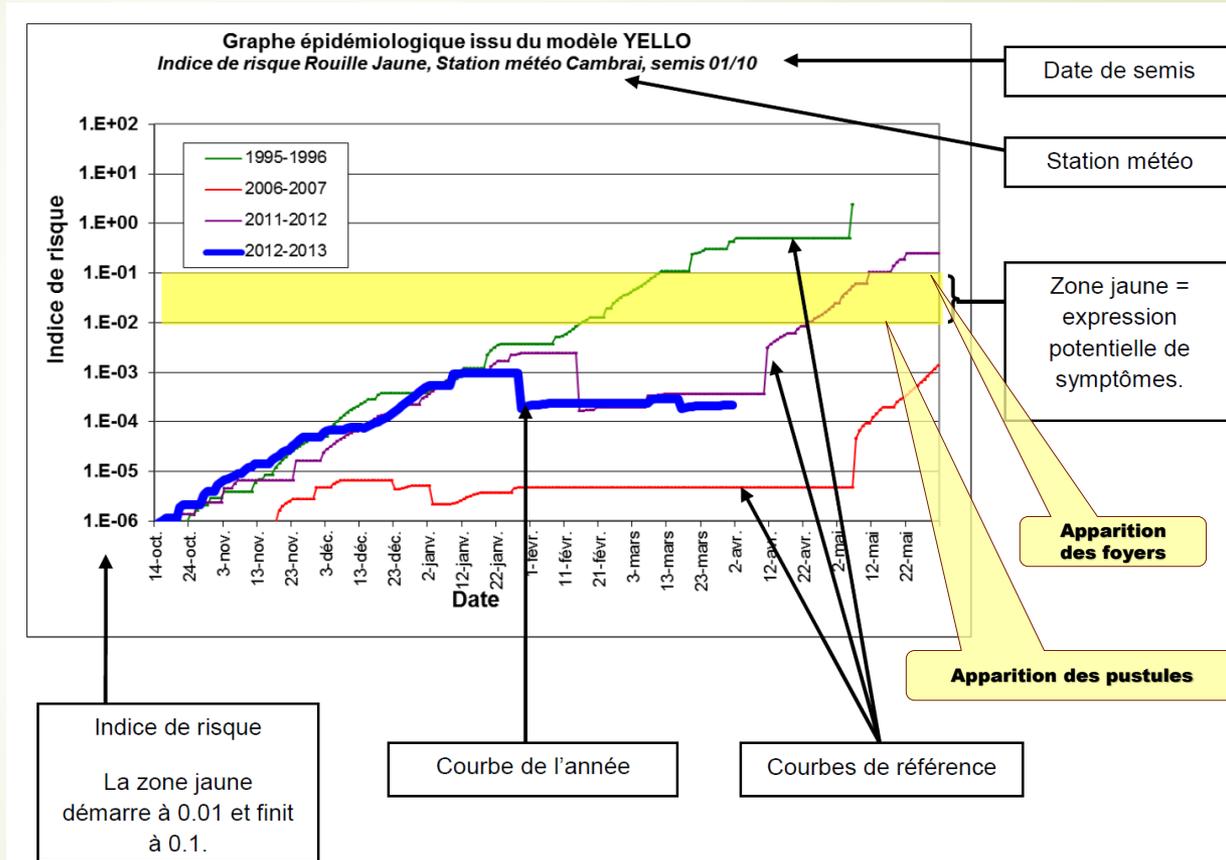
Généralisation des périodes glissantes par un programme nommé WINDOW Pane : de 21 à 65 jours sur 1 an du 29 juillet au 24 juillet suivant.

Prévision ROUILLE JAUNE

➤ YELLO : SPV ROUZET Jacquin 1994

- Modèle d'épidémiologie climatique du parasite
 - PLUIE
 - TEMPÉRATURES JOURNALIÈRES
- Date de levée très importante pour démarrer.
- Résultats dès épi 1 cm
- Pas de liaison avec la plante, pas de sensibilité variétale.

Modèle d'alerte : prévision du risque maximum



Informatif au niveau régional, mais pas au niveau des parcelles :
69 % de faux positifs ! Indique la précocité Régionale...

Prévision ROUILLE JAUNE

Ajout d'un module de survie à Yello+ de type modèle de Cox :

Temps écoulé avant qu'un évènement ne survienne (corrélations, taux de risque instantané, risque proportionnel)

➔ CrustYello : (SPV) - ARVALIS

➔ Ajout d'un module de survie type modèle de Cox réalisé avec :

- ➔ 2500 parcelles de 2009 à 2014 (Réseau Vigicultures)
- ➔ 200 variables climatiques au départ, 9 à l'arrivée

➔ Délais d'apparition des 1ers symptômes selon :

- ➔ Effet du climat de l'année précédente
- ➔ Effet du climat de l'année
- ➔ Résistance variétale (très importante)

➔ Délivrable :

➔ Information à la parcelle

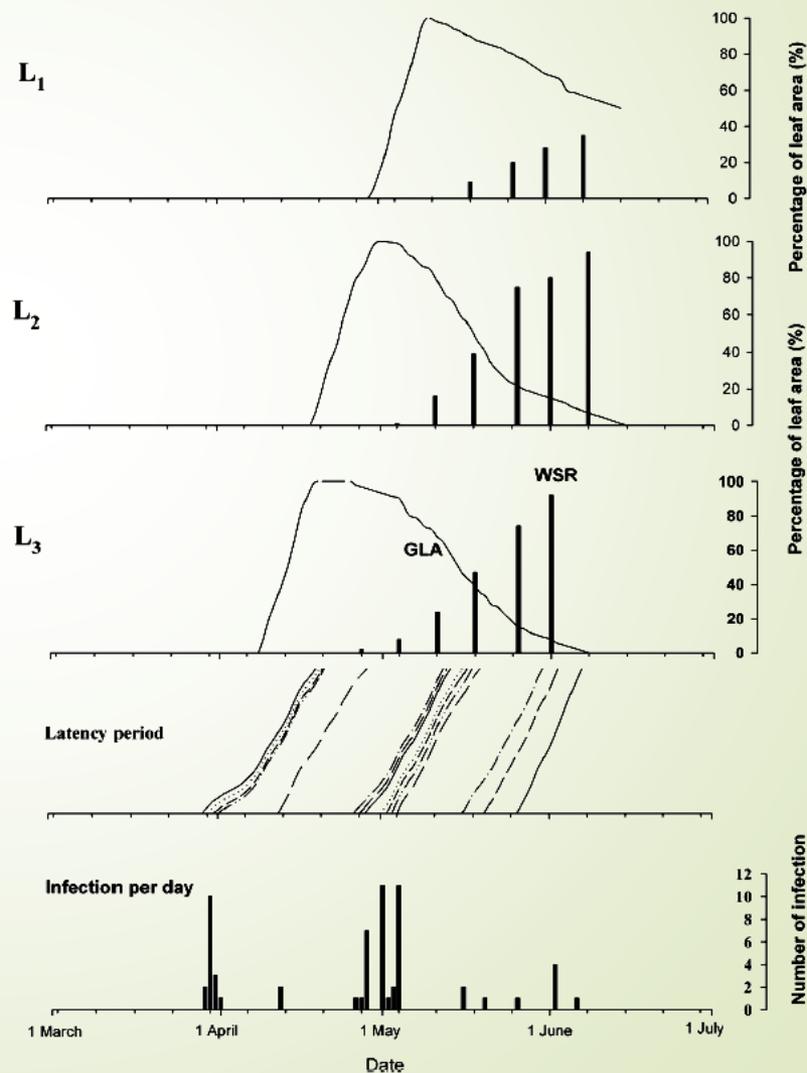
➔ Optimisation du nombre de visites au champ pour déceler les 1ers symptômes :

- ➔ Seuil de probabilité pour 3 dates de visite.
- ➔ Les visites sont déclenchées si la proba est atteinte aux dates programmées T1, T2, T3
- ➔ L'agriculteur se déplace moins et pas pour rien ! Organisation du travail !

Modélisation Rouille Jaune

Au Luxembourg El Jarroudi et Maraite (2016) considèrent que la période critique se situe en mai - juin et utilisent les éléments climatiques de cette période :

- Combinaison entre :
 - HR > 92%
 - $4^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 16^{\circ}\text{C}$
 - Pendant 4 h en continu



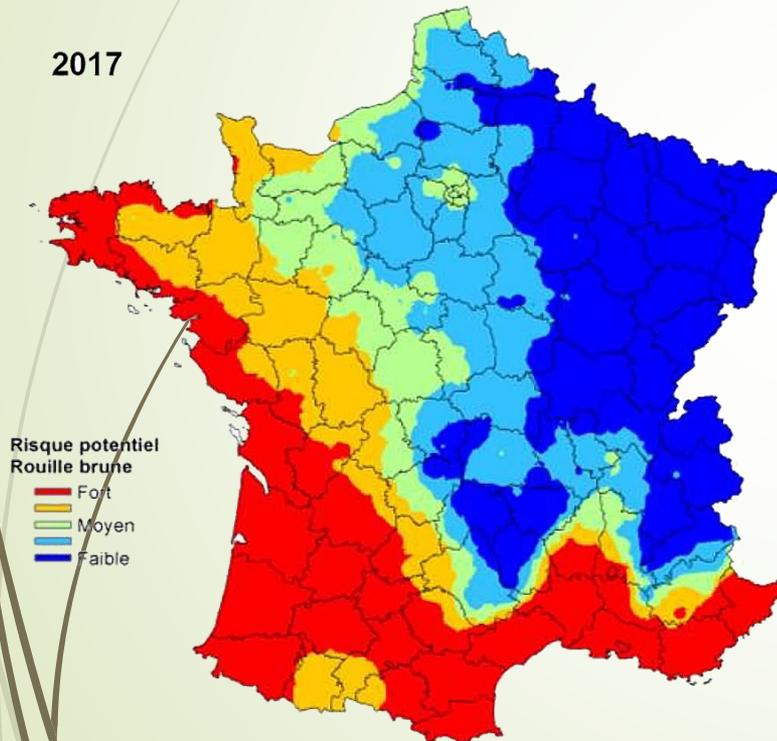
Prévision ROUILLE BRUNE

2 sous modèles :

➤ P.A.T.ROUILLE : $ITCF_D$ Caron

- Développement hivernal :
- Inoculum Début montaison :

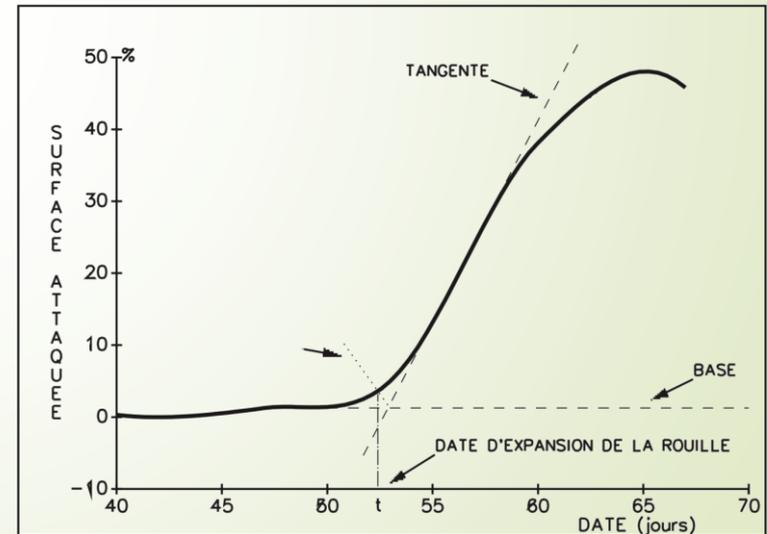
2017



Début avril, le potentiel de contamination annonçait une année avec un risque très modéré.

➤ Développement printanier :

- Expansion épidémique :
- Détection de la phase exponentielle
- Traitement avant démarrage phase exponentielle



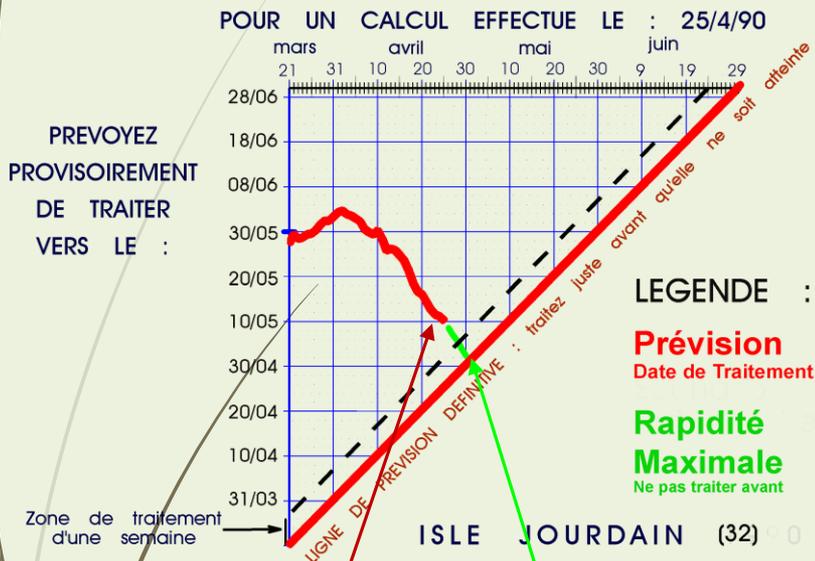
Car Traitements : peu préventifs face à une forte attaque
Non curatifs

Prévision ROUILLE BRUNE

P.A.T.ROUILLE ITCF_D Caron :

Ex : Situation assez tardive avec inoculum important au départ :

Prévision à la parcelle :

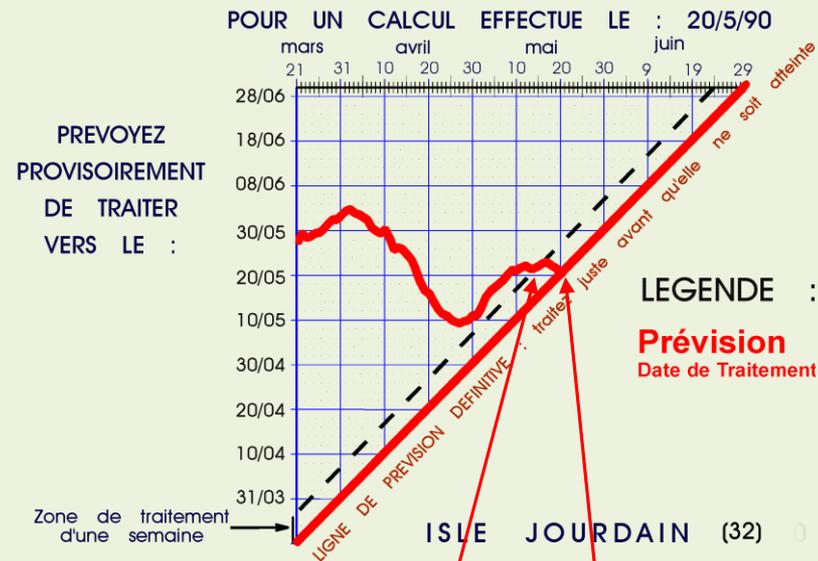


Prévisions sous forme de dates plus immédiatement utilisables par l'agriculteur

Date de prévision provisoire

Prévision pour la vitesse max de la rouille

Prévision à la parcelle :



En fait, une période de sécheresse a empêché les contaminations et ralenti la progression de la rouille.

Entrée dans la zone de traitement.

Le traitement doit avoir été effectué.

Possibilité d'utiliser un facteur variétal

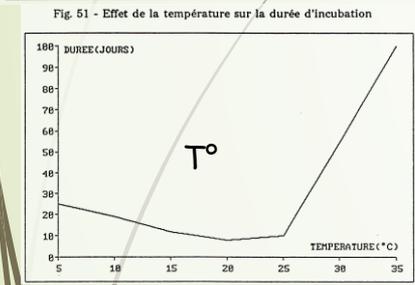
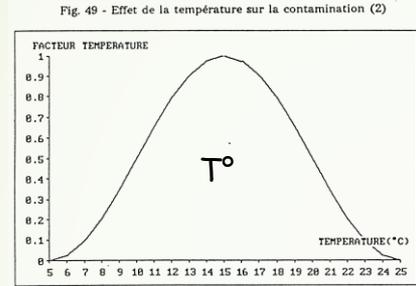
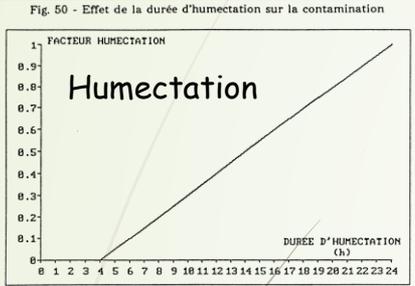
Prévision ROUILLE BRUNE

EPURE : SPV_{Benizri}

1 sous modèle Maladies, 1 sous modèle plante

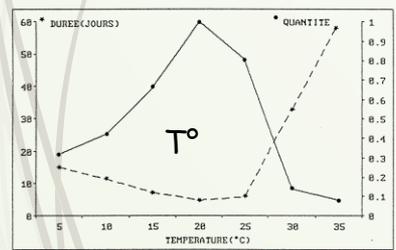
Fonctions climatiques utilisées pour :
Contaminations
Incubation
Production spores

Contamination :



Incubation

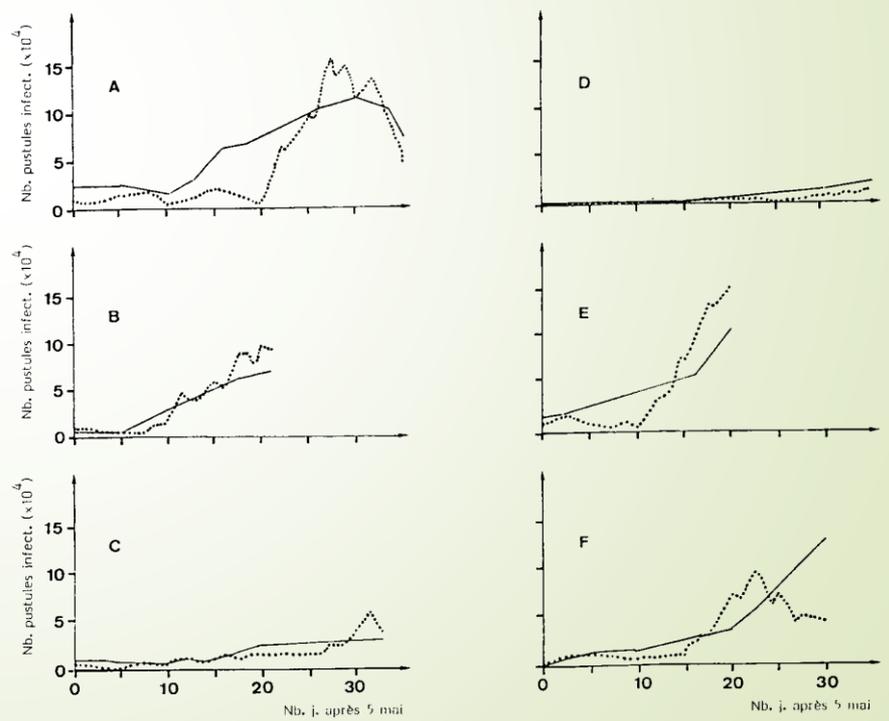
Fig. 52 - Effet de la température sur la durée de sporulation et la quantité de spores libérées



Sporulation

Comparaison :
modèle / observations :

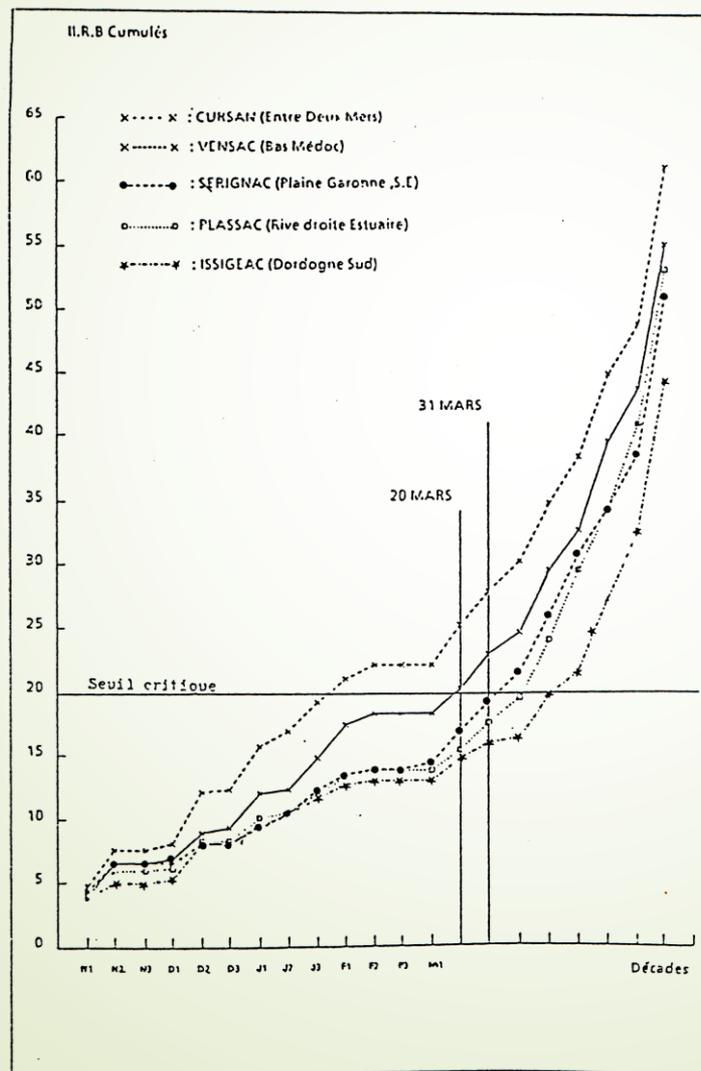
Nombre de spores au jour J issues des pustules infectieuses :



— pustules infectieuses réelles
..... pustules infectieuses simulées

Prévision ROUILLE BRUNE

➔ **SPIROUIL**₁₉₈₆ : SPV de La Rocque Support : Darles (1980), SIMUL (Bova 1983 (Rijdsijk)) et Lechapt au SPV



➔ **CLEAN** : SPV de La Rocque

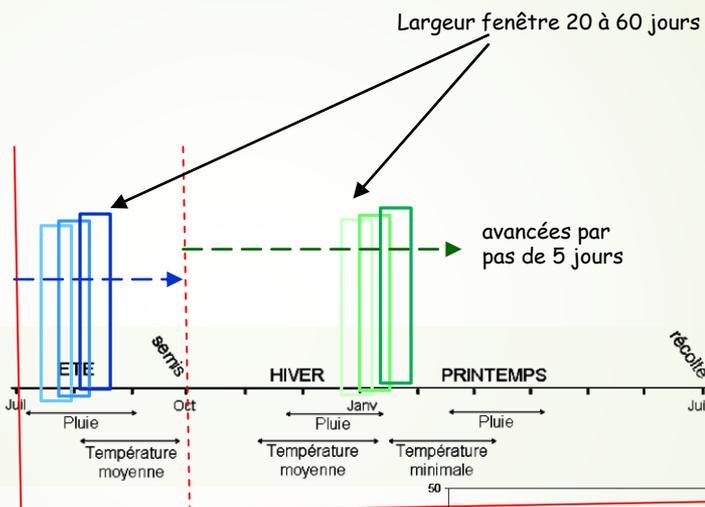
Support : SPIROUIL (1986), EPURE (1988)

Prévision ROUILLE BRUNE

➤ PRÉVISION NUISIBILITÉ : ARVALIS Gouache - Thépot 2009-20015

- Méthode **Window pane**, selon Coakley 1988, réactualisée Pietravalle 2003 :

Description
ETE
Accumulation des précipitations
Nombre de séquences de 3 jours consécutifs où la température moyenne est supérieure à 25°C
HIVER
Nombre de séquences de 3 jours consécutifs où la température moyenne est inférieure à 10°C
Nombre de séquences de 3 jours consécutifs où l'accumulation de pluie est supérieure à 1mm
PRINTEMPS
Nombre de jours où la température est supérieure à 10°C
Nombre de séquences de 3 jours consécutifs où l'accumulation de pluie est inférieure à 5mm



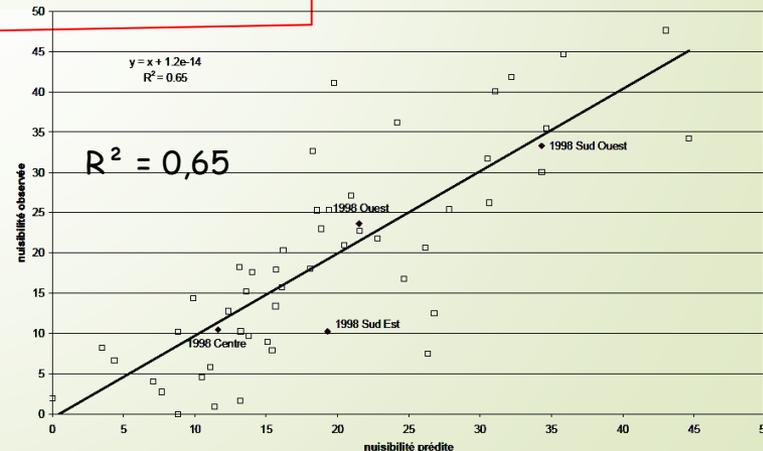
➤ Méthodes de "Régularisation" : (Gouache 2015)

Data Mining

Méthodes statistiques pour réduire le nombre trop élevé de variables générées par des méthodes comme Window Pane.

Les méthodes Lasso, Elastic net, bootstrap, etc. sélectionnent et améliorent l'efficacité des régressions.

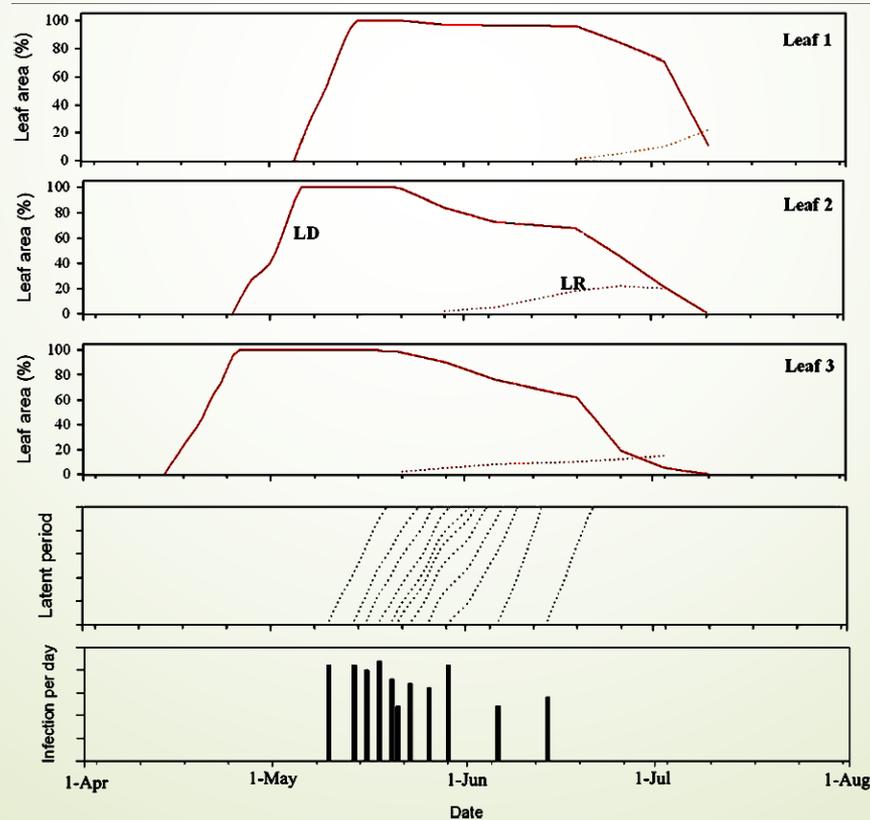
Test sur 256 essais, 294 variables climatiques : 21 variables retenues pour un modèle donnant 22,4 % d'erreur de prévision (RMSEP).



Modélisation rouille brune

El Jarroudi et Maraite (2010) constatent au Luxembourg et en Belgique depuis quelques années une apparition de plus en plus précoce de la rouille brune

- Modélise la rouille brune en ne tenant compte que des paramètres climatiques nocturnes.
- T° entre 8° et 16°C
- Avec HR > 60% pendant au moins 12 h consécutives.



Conclusion

- les pratiques agronomiques de prévention sont surtout utiles :
 - aux cultures à faibles intrants.

- La prévision des traitements est plutôt destinée :
 - aux cultures classiques pour réduire le nombre de traitements.

- Les modélisations et prévisions pourraient évoluer avec la lutte biologique où un module "organisme auxiliaire" devrait compléter les modules "Parasite-Plante".