

## **Les apports de l'innovation variétale : Recherches menées pour améliorer la résistance du pommier à la tavelure**

**C.E. Durel, F. Laurens, V. Caffier, B. le Cam, N. Sapoukhina**

UMR INRA/INH/UA Génétique et Horticulture - **GenHort**, Centre INRA d'Angers

UMR INRA/INH/UA Pathologie Végétale - **PaVé**, Centre INRA d'Angers



## **Plan**

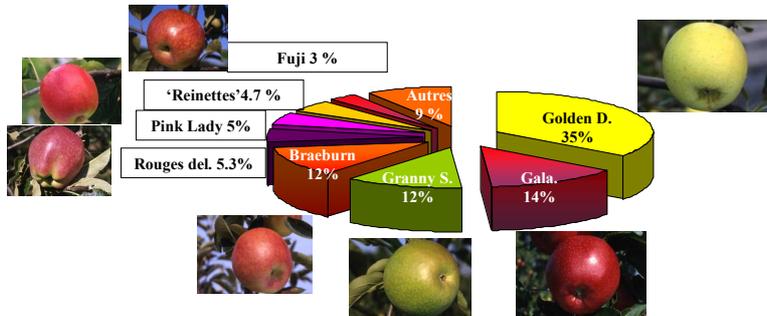
### **Introduction**

- 1. La création de variétés résistantes à la tavelure (F. Laurens)**
- 2. Les recherches d'amont au service de la création et du déploiement de nouvelles variétés résistantes (C.E. Durel)**

## Répartition de la production nationale de pomme

Production nationale 2005 : 1 770 000 t

Source SN Pomme



10 variétés = 93 % de la production

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Problématiques liées à la production commerciales de pomme en France

- **Variétés commerciales sensibles aux principaux bioagresseurs du pommier**  
⇒ ↗ traitements phytosanitaires
- **Coûts élevés de main d'œuvre (taille, récolte, éclaircissage)**
- **Maintien de la qualité des fruits en conservation ...**
- ...

↗ programmes de création variétale

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Plan

### Introduction

- 1. La création de variétés résistantes à la tavelure (F. Laurens)**
  - les programmes d'amélioration
  - les limites de la résistance monogénique  $V_1$
2. Les recherches d'amont au service de la création et du déploiement de nouvelles variétés résistantes (C.E. Durel)

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Objectifs du programme d'amélioration du pommier développé à l'INRA d'Angers

- **Qualité organoleptique du fruit**
- **Résistance aux bioagresseurs**
  - Tavelure, oïdium, feu bactérien, puceron cendré, ...
- **Productivité et régularité de production**

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Objectifs du programme d'amélioration du pommier développé à l'INRA d'Angers

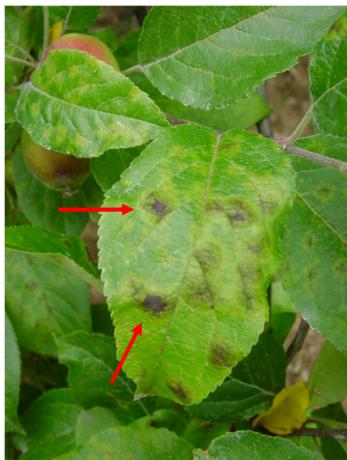
- **Qualité organoleptique du fruit**
- **Résistance aux bioagresseurs**
  - **Tavelure**, oïdium, feu bactérien, puceron cendré, ...
- **Productivité et régularité de production**

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Symptômes de tavelure (*Venturia inaequalis*)



Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Généalogie des hybrides résistant à la tavelure

Rome Beauty x *M. floribunda* (821)

V<sub>f</sub>

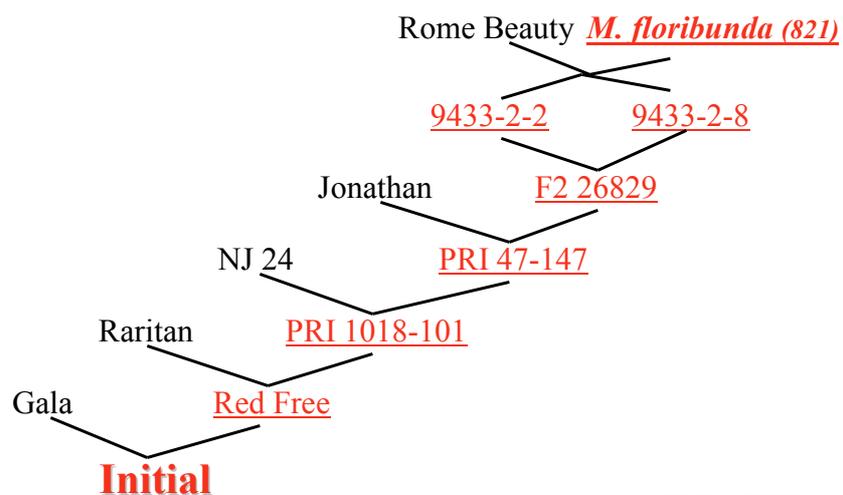


Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

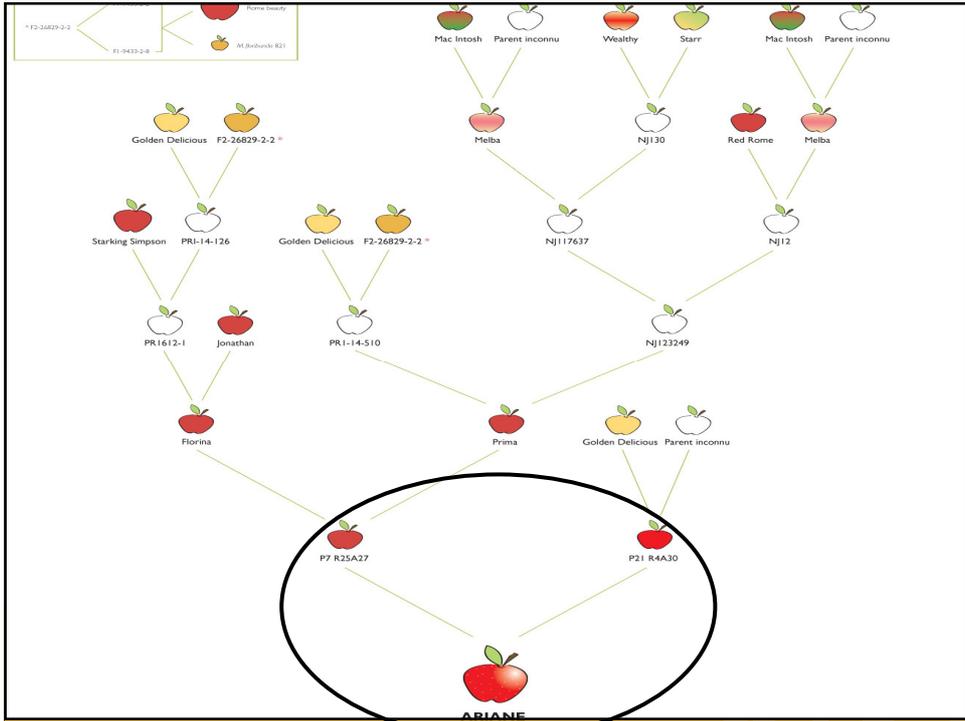
## Généalogie des hybrides résistant à la tavelure



Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA



### Sélection d'Ariane



Avril 1979

**Hybridation**  
 P7R25A27  
 x  
 P21R4A30

## Sélection d'Ariane



313 pépins

Septembre  
1979

Croisements

## Sélection d'Ariane



S  
e  
r  
e

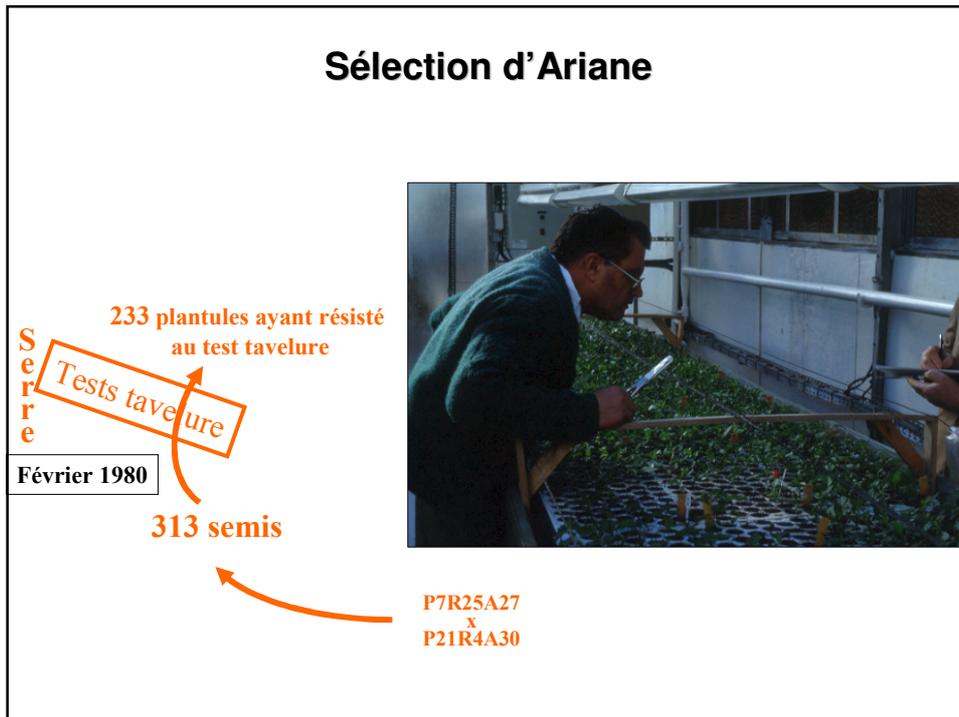
Tests taveure

Février 1980

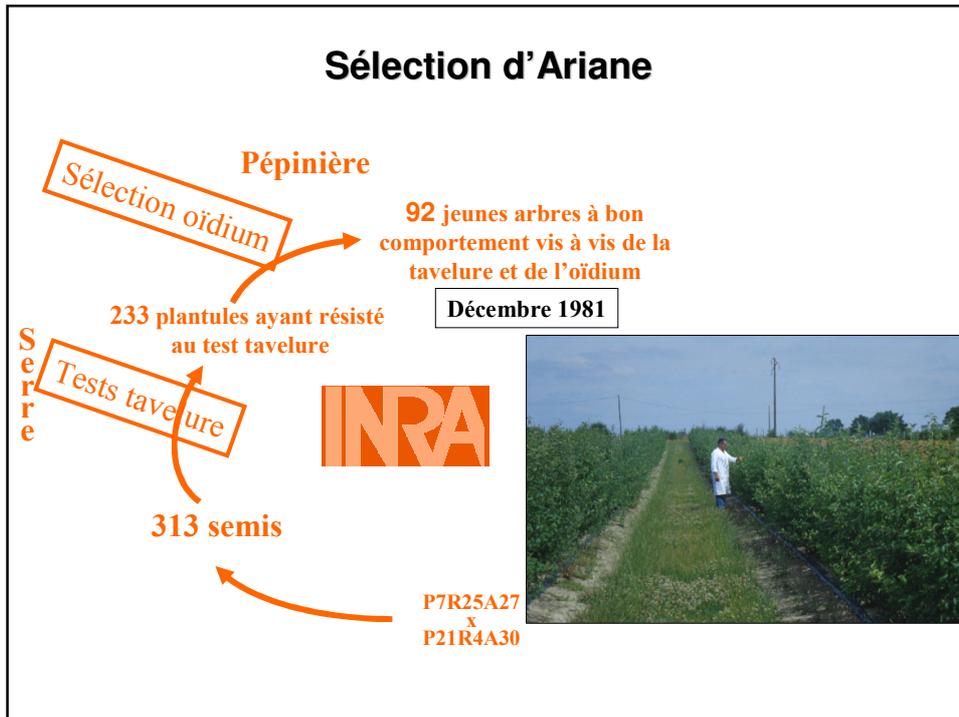
313 semis

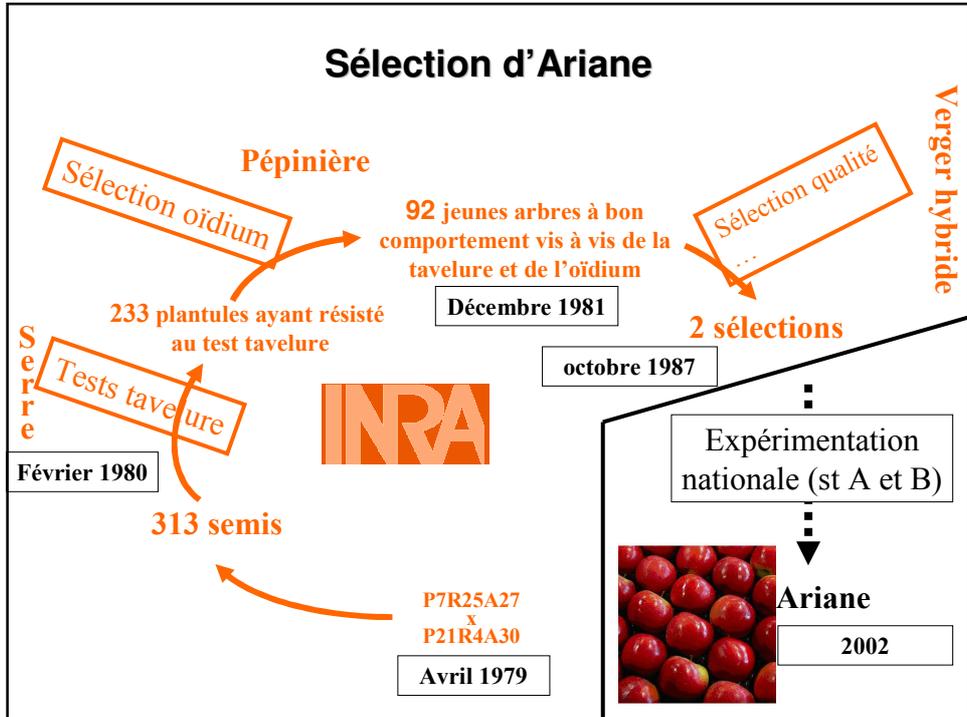
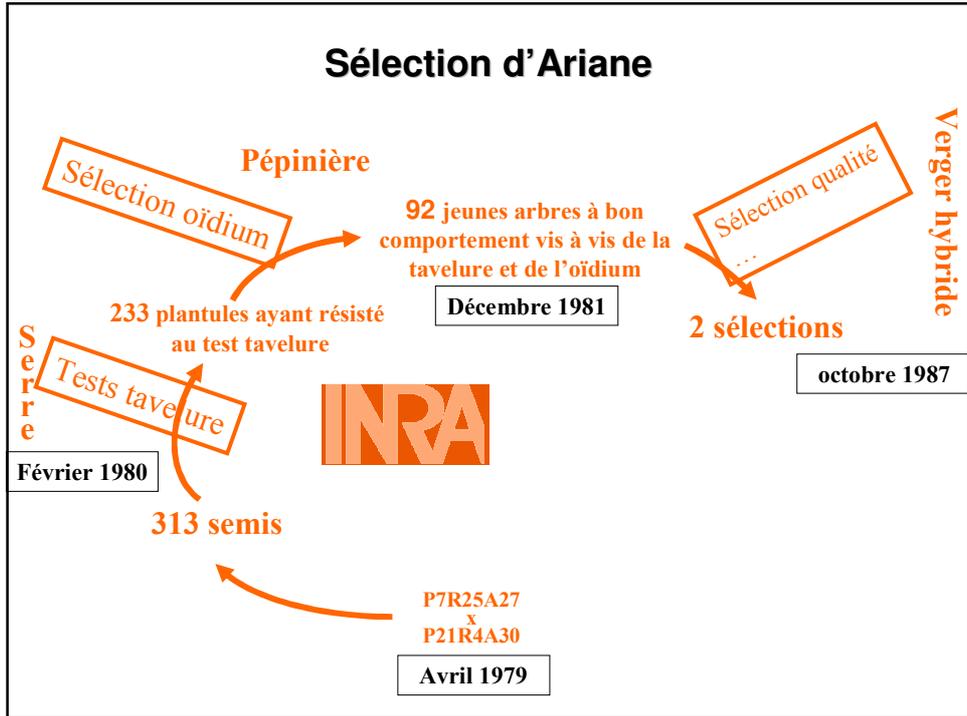
P7R25A27  
x  
P21R4A30

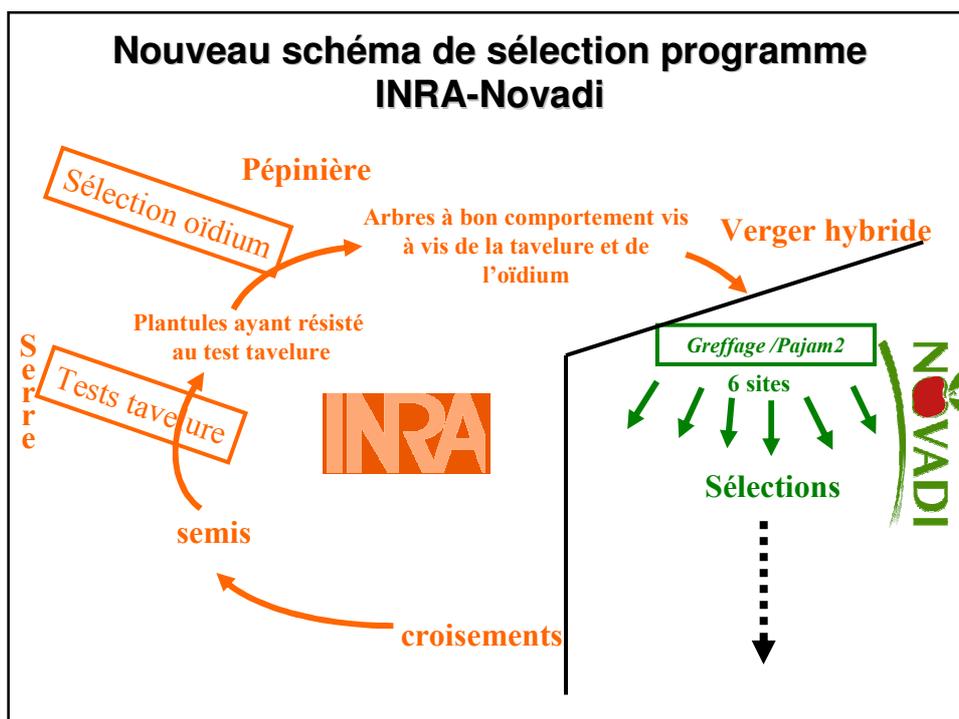
## Sélection d'Ariane



## Sélection d'Ariane







### Bilan de la création variétale pour la résistance à la tavelure dans le monde

≈ toutes les équipes impliquées dans la création variétale du pommier s'intéressent à la résistance à la tavelure

→ très nombreux hybrides  $V_f$  créés  
Mais peu ont les qualités suffisantes pour devenir des variétés

Aujourd'hui, 4-5 variétés  $V_f$  ont des niveaux significatifs de plantation  
**Ariane (500 ha en 2007-2008)**

Protection intégrée en arboriculture et viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

## Plan

### Introduction

- 1. La création de variétés résistantes à la tavelure (F. Laurens)**
  - les programmes d'amélioration
  - les limites de la résistance monogénique  $V_f$
- 2. Les recherches d'amont au service de la création et du déploiement de nouvelles variétés résistantes (C.E. Durel)**

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Comportement de quelques variétés vis à vis des races de *Venturia inaequalis*

### Situation avant 1990

	Résistance	Race 1	Races 2 à 4	Race 5
<b>Gala</b>	Sensible	+	+	+
<b>Golden del.</b>	Sensible	+	+	+
<b>Priscilla</b>	'résistante'	-	-	-
<b>Prima</b>	'résistante'	-	-	-
<b>M. flor. 821</b>	'résistante'	-	-	-

'+' = interaction compatible = 'sensibilité' ; '-' = interaction incompatible = 'résistance'

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## Comportement de quelques variétés vis à vis des races de *Venturia inaequalis*

### Situation actuelle

	Résistance	Race 1	Races 2 à 4	Race 5	Race 6	Race 7	Race 6 + 7
<b>Gala</b>	aucune	+	+	+	+	+	+
<b>Golden del.</b>	$V_g$	+	+	+	+	-	+
<b>Priscilla</b>	$V_f$	-	-	-	+	+	+
<b>Prima</b>	$V_f + V_g$	-	-	-	+	-	+
<b>M. flor. 821</b>	$V_f + V_{fh}$	-	-	-	-	+	+

‘+’ = interaction compatible = ‘sensibilité’ ; ‘-’ = interaction incompatible = ‘résistance’

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Comportement de quelques variétés vis à vis des races de *Venturia inaequalis*

	Résistance	Race 1	Races 2 à 4	Race 5	Race 6	Race 7	Race 6 + 7
<b>Gala</b>	aucune	+	+	+	+	+	+
<b>Golden del.</b>	$V_g$	+	+	+	+	-	+
<b>Priscilla</b>	$V_f$	-	-	-	+	+	+
<b>Prima</b>	$V_f + V_g$	-	-	-	+	+	+
<b>M. flor. 821</b>	$V_f + V_{fh}$	-	-	-	-	+	+
<b>Nouveaux hybrides</b>	$V_f +$ résistance partielle	-	-	-	+/-	+/-	+/-

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Plan

## Introduction

1. La création de variétés résistantes à la tavelure (F. Laurens)
2. Les recherches d'amont au service de la création et du déploiement de nouvelles variétés résistantes (C.E. Durel)

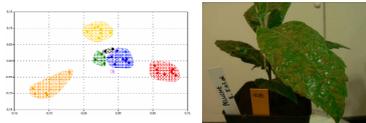
Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

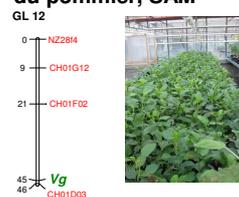
INRA

## Recherches d'amont au service de la création et du déploiement de nouvelles variétés résistantes

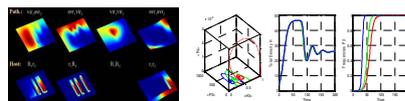
### 2-1. Diversité, structuration, pouvoir pathogène de *Venturia inaequalis*



### 2-2. Bases génétiques de la résistance du pommier, SAM



### 2-3. Modélisation de l'évolution des populations du champignon



Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## 2-1. Diversité génétique, structuration et variabilité du pouvoir pathogène du champignon *Venturia inaequalis*

Interaction « pommier x *Venturia inaequalis* » : complexe !

→ Nécessité de bien connaître la biologie du champignon pour optimiser les stratégies de sélection

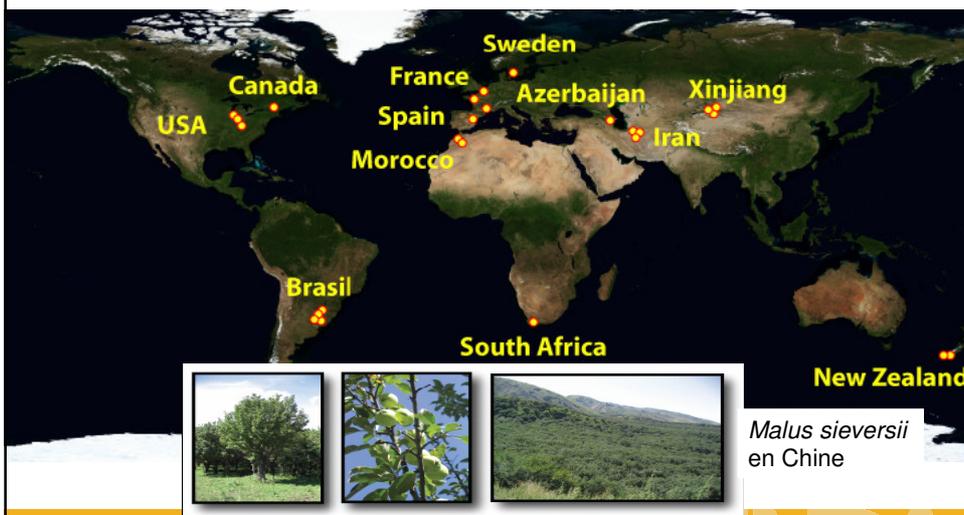
- Ampleur de la diversité
- Capacité de dispersion (naturelle, liée aux activités humaines)
- Structuration des populations de champignon
- Relation entre pouvoir pathogène et capacité de contournement

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

### 2-1.a Diversité génétique du champignon *Venturia inaequalis*



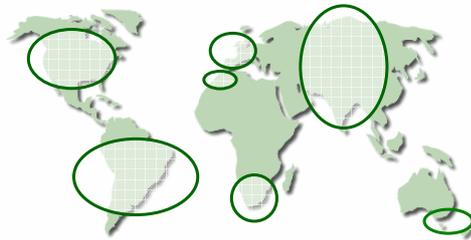
Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

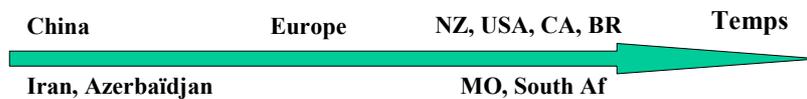
INRA

## 2-1.a Diversité génétique du champignon *Venturia inaequalis*

Etude phylo-géographique: Origine de la tavelure et processus de colonisation à l'échelle mondiale



45 populations prélevées : soit 1273 souches analysées avec 12 marqueurs SSR



Gladieux et al., 2007.

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## 2-1.b Structuration des populations de *Venturia inaequalis*

Indications sur :

- Flux de gènes (migration naturelle ou artificielle)
- Pressions de sélection exercées par les gènes de résistance sur les populations de *Venturia inaequalis*

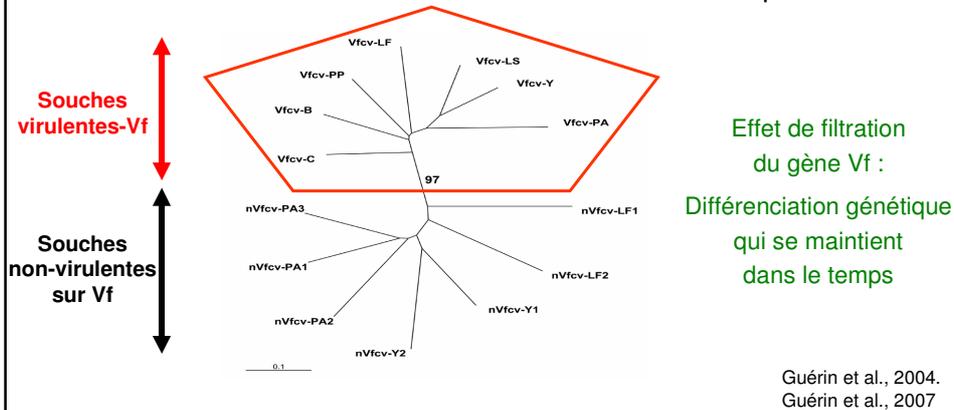
Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## 2-1.b Structuration des populations de *Venturia inaequalis*

Contournement de Vf en Normandie : 7 vergers, variété Judeline, marqueurs SSR



Protection intégrée en arboriculture et viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## 2-1.c Relation entre pouvoir pathogène de *V. inaequalis* et capacité de contournement

Hypothèse testée:

- Capacité du champignon à contourner un gène de résistance  
== > moindre capacité à se multiplier ?  
= « Coût de la virulence » ? (moindre compétitivité ?)
- Coût variable selon le G ou le nombre de G de résistance cumulés ?

→ Conséquences sur choix des G et gestion des variétés

Tests pathologiques croisés:

Souches/races X Géotypes portant  
+/- G de résistance



Protection intégrée en arboriculture et viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

## 2-2. Bases génétiques de la résistance du pommier, sélection assistée par marqueurs

### Déterminisme génétique de la résistance :

- Nombre de gènes de résistance en jeu
- Effet de ces gènes (fort ou faible, existence de synergie)
- Localisation sur le génome
- Fonction, mécanismes contrôlés

→ Utilisation de marqueurs génétiques qui permettent de localiser puis suivre la présence des gènes de résistance en sélection

Protection intégrée en arboriculture et  
viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

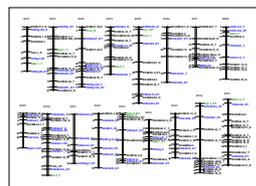
ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

### 2-2.a Déterminisme génétique de la résistance du pommier à la tavelure

Croisement entre deux variétés  
Discovery x TN10-8  
150 descendants

carte génétique

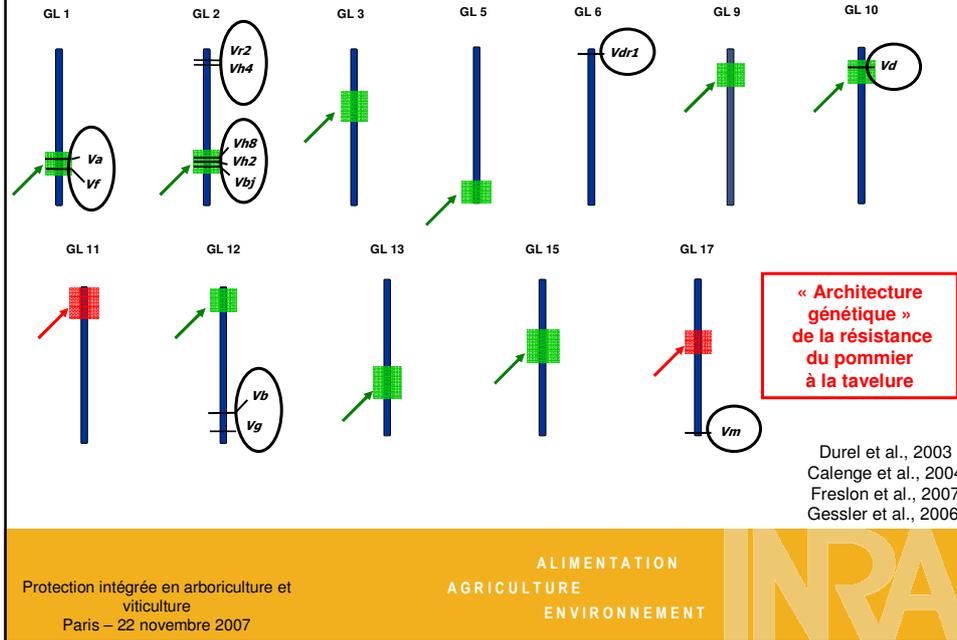


tests pathologiques

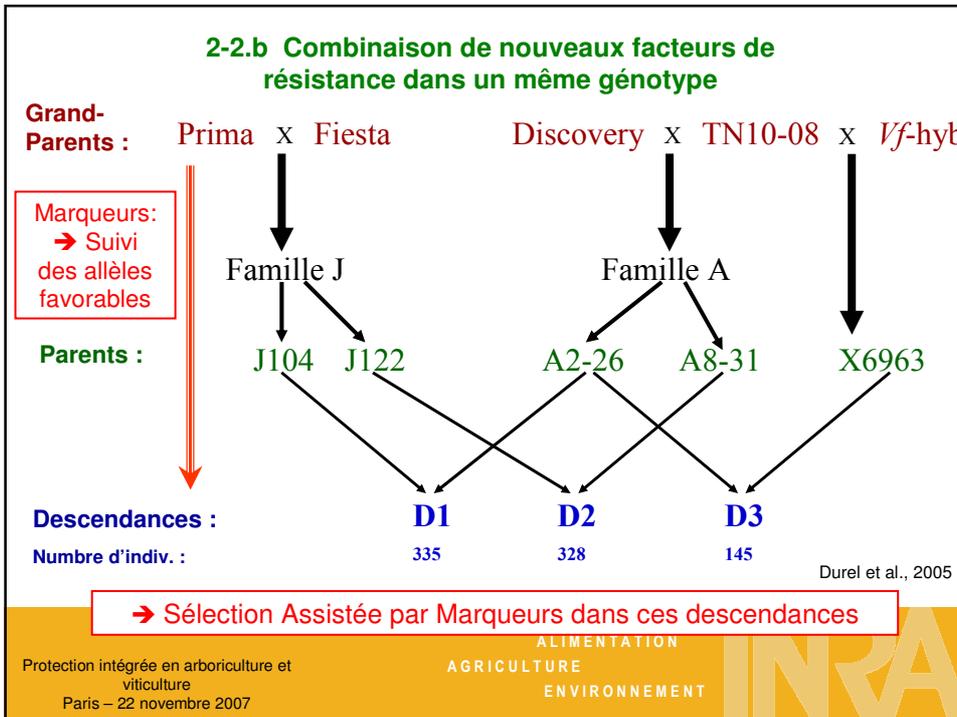


Localisation sur le génome des gènes  
impliqués dans la résistance/sensibilité

## 2-2.a Carte génétique synthétique du pommier



## 2-2.b Combinaison de nouveaux facteurs de résistance dans un même génotype



### 2-3. Modélisation de l'évolution du champignon : conséquence pour la création variétale et le déploiement de nouvelles variétés

Modèle mathématique de l'évolution des souches:

$$\frac{\partial P_k}{\partial t} = \frac{1}{2} \sum_{k \in \{0,1\}^m} P_k \sum_{i,j \in \{0,1\}^m} \left[ \mu_{k(i,j)} P_i P_j \sum_{l \in \{0,1\}^m} \sigma_{i,l} \sigma_{j,l} e_{(i,j)l} H_l \right] - m_k P_k + D_k \Delta P_k,$$

$$\frac{\partial H_l}{\partial t} = r_l H_l \left( 1 - \frac{H_l}{K_l} \right) - H_l \sum_{k \in \{0,1\}^m} \sigma_{k,l} a_{k,l} P_k, \quad k, l \in \{0,1\}^m.$$

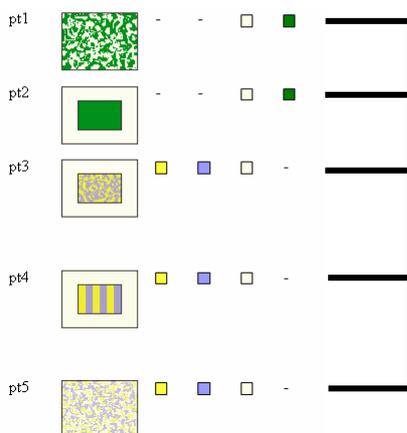
Simulation de situations biologiques → analyse des résultats

Réflexion sur stratégies optimales :  
- de cumul de G de résistance  
- de déploiement des nouvelles variétés

### 2.3- Rôle de la répartition spatiale des variétés sur le développement de souches multi-virulentes

4 variétés possibles:

R1 R2 0 R1+2

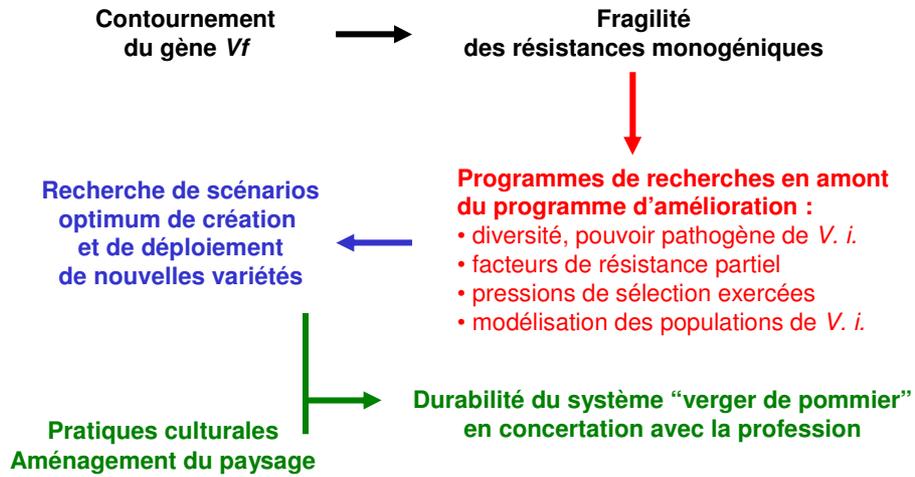


Comparaison  
des différentes situations

Importance de  
l'hétérogénéité spatiale

Sapoukhina et al., 2007

## CONCLUSION



Protection intégrée en arboriculture et viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA



Merci de votre attention

Protection intégrée en arboriculture et viticulture  
Paris – 22 novembre 2007

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA