

## Peut-on sélectionner les arbres forestiers pour la résistance aux bioagresseurs ?

**Catherine Bastien**  
**INRA, UR0588 « Amélioration, Génétique et Physiologie forestières », Centre Val de Loire, 45160 ARDON**  
**Membre correspondant Section 2**

# Résistance des arbres forestiers aux bioagresseurs



Des mortalités marquées  
(invasions biologiques)

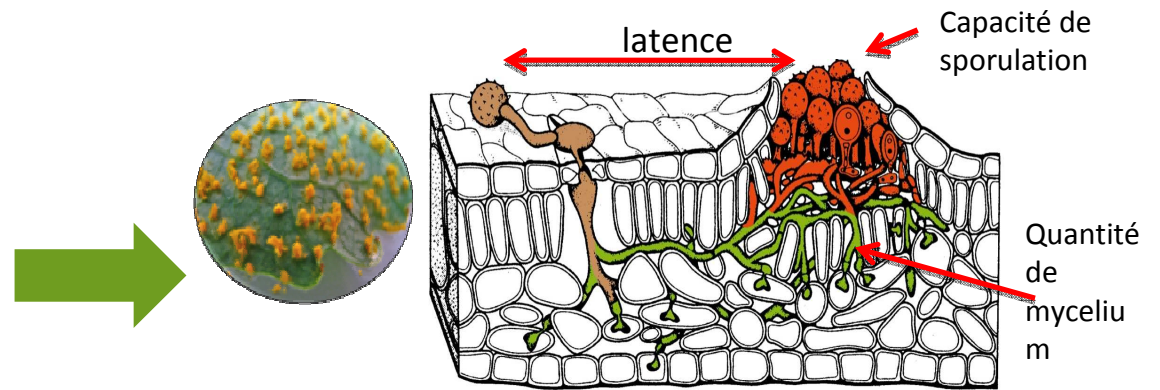
Une perte de productivité  
quantitative et qualitative

# Plan

- **Quelle variabilité génétique disponible au sein des populations naturelles d'arbres forestiers?**
- **La prise en compte du triangle épidémique plus que jamais nécessaire**
- **Une efficacité qui dépend beaucoup des stratégies de sélection et de déploiement**

# Quelle variabilité génétique pour la résistance aux bioagresseurs ?

- Une lecture de cette variabilité qui s'affine au cours du temps



Exemple: rouille foliaire du peuplier

## Centrée sur l'hôte

Taux de survie  
Sévérité des dommages

**Impact économique**

## Centrée sur le bioagresseur

Traits de survie, de croissance et de reproduction

**Compréhension de l'interaction  
et de son évolution**

# Quelle variabilité génétique pour la résistance aux bioagresseurs ?

- Une lecture qui cherche à mieux approcher/utiliser les différents mécanismes mis en jeu

- Stratégie **d'évitement**



*variabilité pour la mouillabilité du feuillage chez le peuplier-Pinon, Frey et Husson 2006 Plant Disease*

- Résistances **constitutives/ induites**

*Relationship between field resistance to *Phytophthora ramorum* and constitutive phenolic chemistry of coast live oak*

By A. M. NAGLE<sup>1</sup>, B. A. MCPHERSON<sup>2</sup>, D. L. WOOD<sup>2</sup>, M. GARBELOTTO<sup>2</sup> and P. BONELLO<sup>1,3</sup>

*Inducibility of chemical defenses in Norway spruce bark is correlated with unsuccessful mass attacks by the spruce bark beetle*

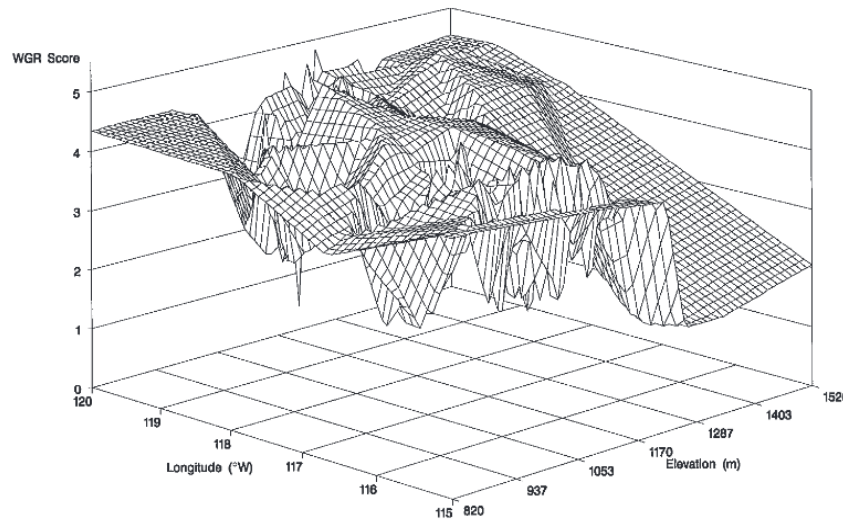
Christian Schiebe ✉, Almuth Hammerbacher, Göran Birgersson, Johanna Witzell, Peter E. Brodelius, Jonathan Gershenzon, Bill S. Hansson, Paal Krokene, Fredrik Schlyter

- Mécanismes de reconnaissance (**R-genes**) / réaction de défense (**Rquantitative**)
- Mesures de **tolérance** à un niveau d'infection donné

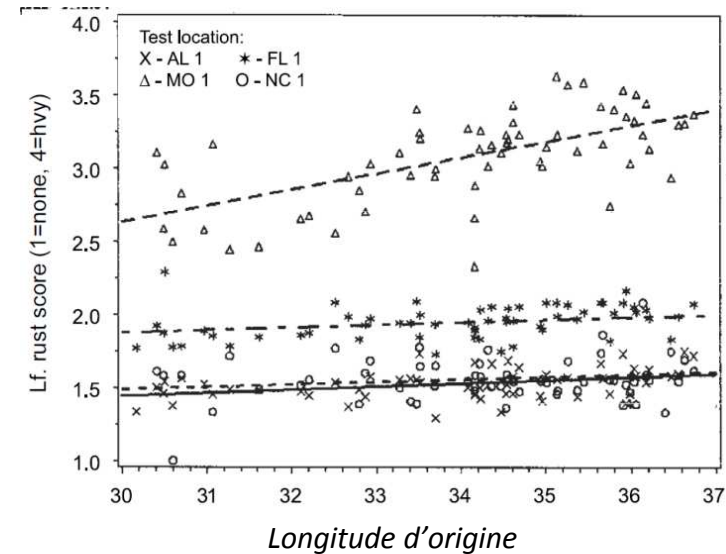
# Quelle variabilité génétique pour la résistance aux bioagresseurs ?

- Une évaluation des composantes majeures de la variabilité génétique

## Structuration géographique dans les aires naturelles Tests de provenance



*Pin contorta – Endocronartium harknessi*  
Yang et al. 1997 Can. J. For. Res.

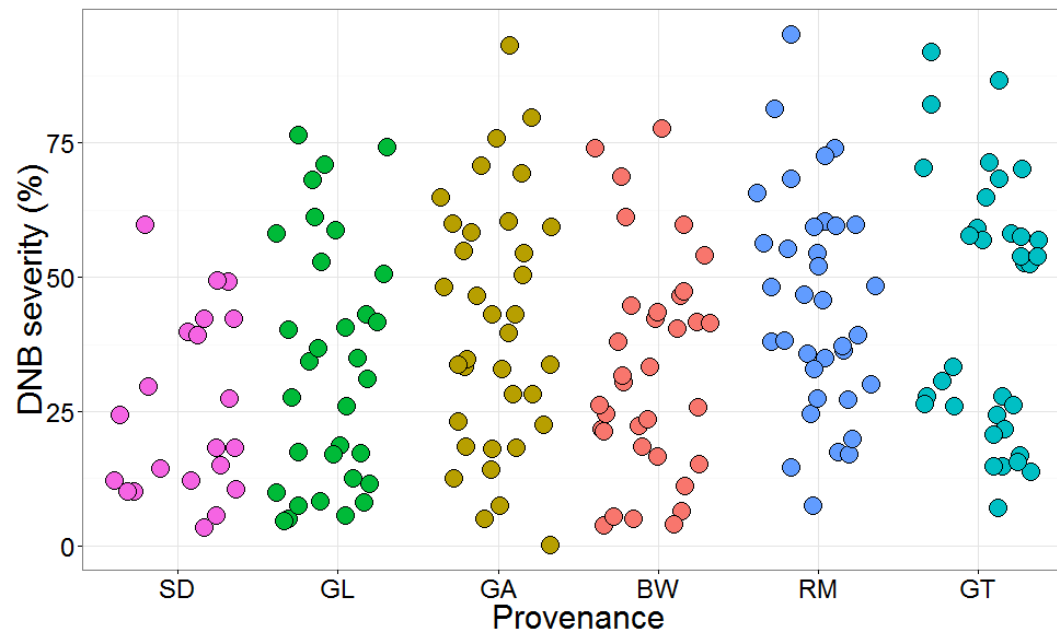


*Populus deltoides – Melampsora medusae*  
Land and Jeffreys, 2006

# Quelle variabilité génétique pour la résistance aux bioagresseurs ?

- Une évaluation des composantes majeures de la variabilité génétique

Mais surtout une forte variabilité individuelle intra-population



Des héritabilités  
modérées à élevées

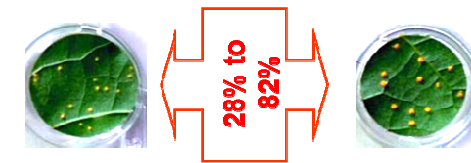
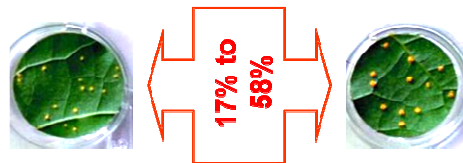
**$h^2$ : 0.34 – 0.62**



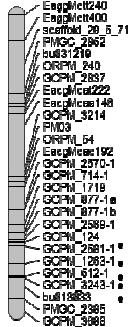
Pin sylvestre – Dothistroma – A. Perry, 2015

# Quelle variabilité génétique pour la résistance aux bioagresseurs ?

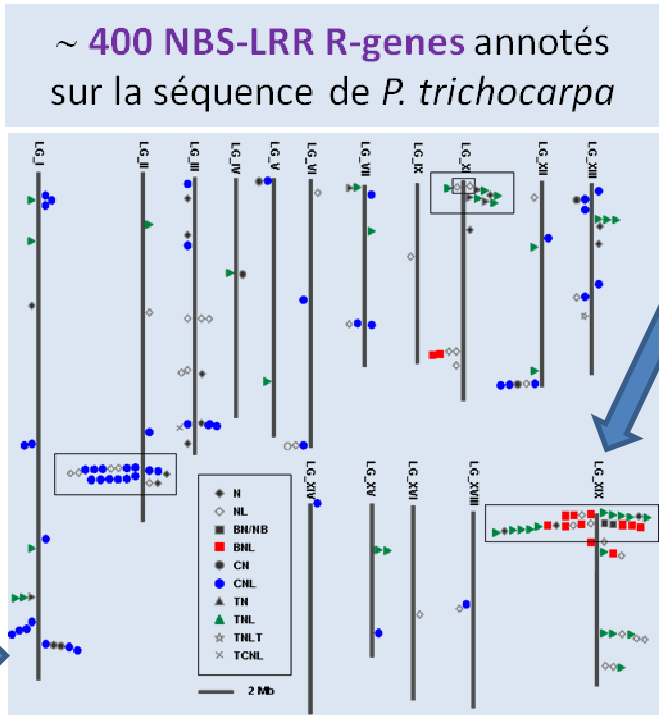
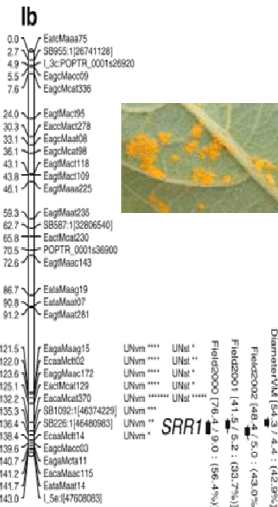
- Des QTL à effets majeurs associés à des gènes de résistance (R)



Chromosome 1

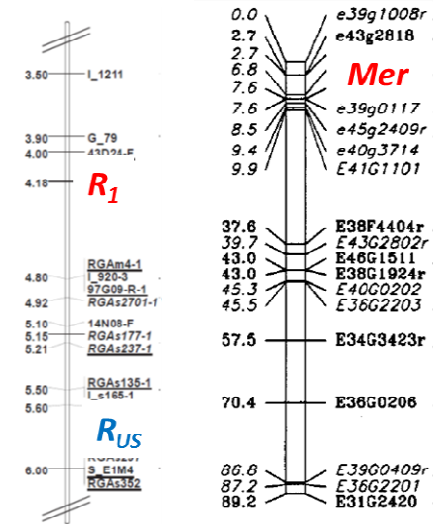


El Malki 2013  
Samils et al. 2011



Kohler et al. 2008

Chromosome 19



Jorge et al 2005  
Cervera et al 2001

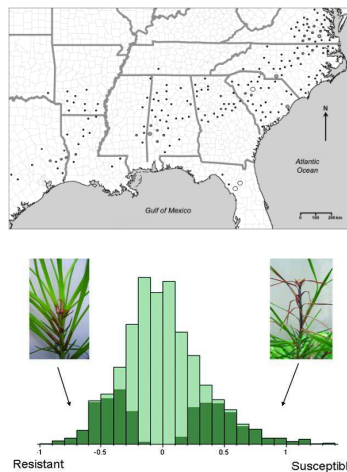
Peupliers - *Melampsora larici-populina*



# Quelle variabilité génétique pour la résistance aux bioagresseurs ?

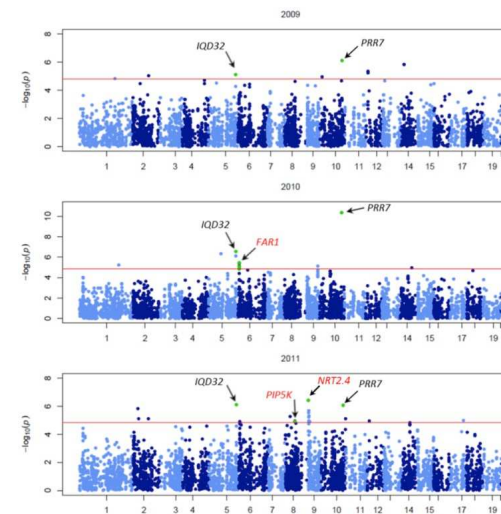
- Un nombre croissant de QTL à effets faibles détectés par association

Pin taeda – *Fusarium circinatum*



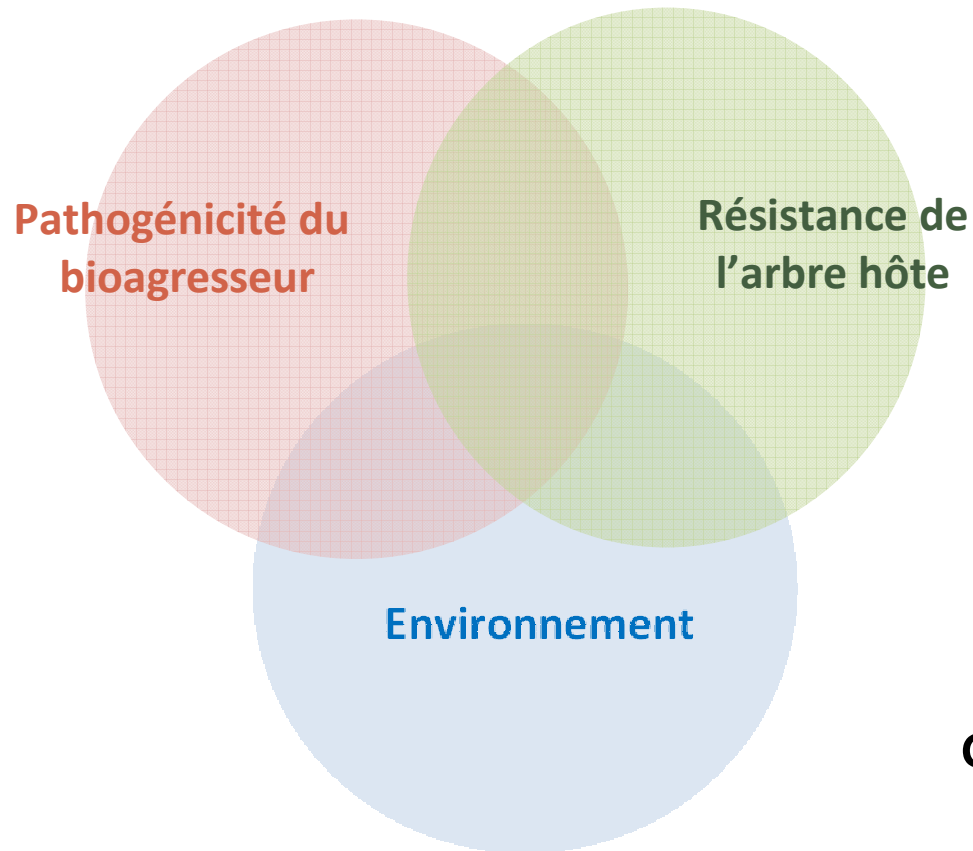
- **10** SNP détectés  
[3038 testés]  
**3-7%**  $V_p$  observée  
Quesada et al. 2010

Peuplier trichocarpa - *Melampsora columbiana*



- **40** SNP détectés  
[29355 testés]  
**2-5%**  $V_p$  observée  
La Mantia et al. 2014

# La prise en compte du triangle épidémique plus que jamais nécessaire



- Interprétation les interactions multiples

$$\begin{matrix} G_h \\ G_p \\ G_h \times G_p \end{matrix} \rightarrow$$

Spécificité des résistances  
Co-évolution

$$\begin{matrix} E \\ G_h \times E \\ G_p \times E \\ G_h \times G_p \times E \end{matrix} \rightarrow$$

Prédiction des réponses aux variations environnementales

$$\begin{matrix} G_{p1} \times G_{p2} \\ G_{p1} \times G_{p2} \times G_h \\ G_{p1} \times G_{p2} \times G_h \times E \end{matrix} \rightarrow$$

Ecologie  
Dynamique  
d'écosystèmes

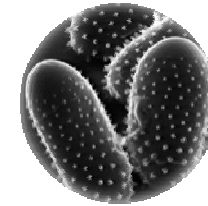
# Spécificité des résistances – Co-évolution

$G_h$   
 $G_p$   
 $G_h \times G_p$

Hôte

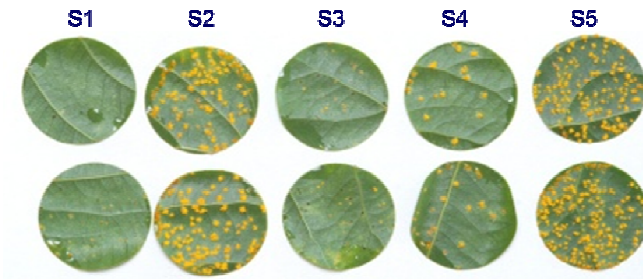


Agent pathogène



Diversité  
généétique élevée  
dans les

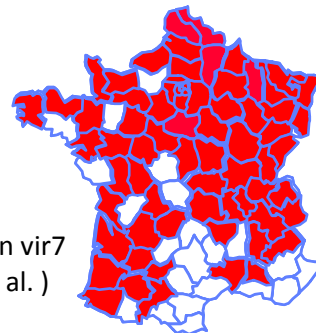
populations de peupliers résistants à *Mlp*



Mise en évidence de fortes  
interactions  $G_h \times G_p$



Mise en évidence d'adaptation  
rapide des populations de  
ravageurs



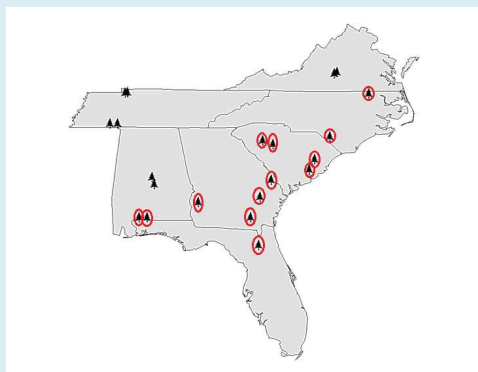
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999

Diffusion vir7  
(Frey et al.)

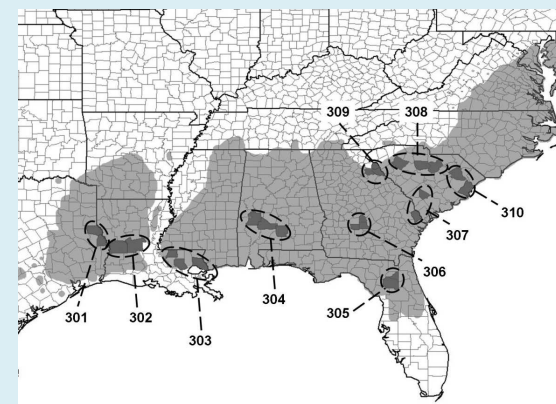
$G_h$   
 $G_p$   
 $G_h \times G_p$

## Prise en compte dans le processus de sélection

### Tests en plantations multisites



### Inoculations contrôlées avec des mélanges d'inoculum



*Pin taeda – Rouille fusiforme - source (S. McKeand)*

## et dans l'élaboration des variétés

Recombinaison de toutes les sources de résistance disponibles

- **Difficile** compte tenu de la longueur des cycles
- **Balancée** par la taille efficace des vergers à graines

# Des succès obtenus dans les programmes d'amélioration...



*Pin taeda – Rouille fusiforme – Etats-Unis  
9,6 Millions ha*

- **100%** des reboisements réalisés avec de la graine améliorée depuis 1970
- **3<sup>ème</sup> génération** de vergers à graines

Table 8. Estimated percent rust incidence ( $\hat{R}$ ) in planted loblolly pine stands age 5–15 years, by state and inventory year, and 95% confidence interval for the difference between the two estimates for each state.

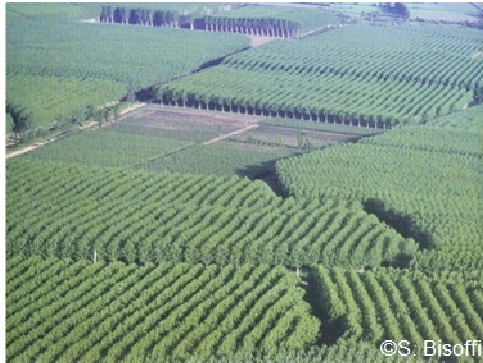
State	Year <sup>a</sup>	n plots	$\hat{R}$	SE	$\hat{R}_{diff}^b$	95% confidence interval
Alabama	1982	73	24.8	3.4	-16.4 <sup>c</sup>	(-23.4 to -9.5)
Alabama	2012	435	8.4	0.9	— <sup>d</sup>	— <sup>d</sup>
Arkansas	1978	15	6.2	2.1	— <sup>d</sup>	— <sup>d</sup>
Arkansas	2012	170	3.2	0.7	— <sup>d</sup>	— <sup>d</sup>
Florida	1974	9	5.9	5.3	— <sup>d</sup>	— <sup>d</sup>
Florida	2012	44	1.8	—	—	—
Georgia	1974	74	12.5	3.7	-32.8 <sup>c</sup>	(-40.3 to -25.2)
Georgia	2012	237	12.7	1.0	—	—
Louisiana	1984	57	18.1	3.1	-12.8 <sup>c</sup>	(-18.9 to -6.5)
Louisiana	2012	211	5.3	0.6	—	—
Mississippi	1974	11	5.3	—	1.4	(-2.8 to 5.4)
Mississippi	2012	127	1.7	—	—	—
North Carolina	1974	71	9.0	1.8	0.4	(-3.8 to 4.7)
North Carolina	2012	121	9.4	1.2	—	—
South Carolina	1978	45	24.6	3.9	-14.3 <sup>c</sup>	(-22.4 to -6.2)
South Carolina	2012	121	1.2	—	—	—
Tennessee	1978	11	0.0	—	— <sup>d</sup>	— <sup>d</sup>
Tennessee	2011	44	0.1	0.1	—	—
Texas	1986	64	8.2	1.9	-7.2 <sup>c</sup>	(-10.8 to -3.4)
Texas	2012	180	1.0	0.3	—	—
Virginia	1974	53	0.0	—	1.8 <sup>c</sup>	(0.5 to 3.1)
Virginia	2012	12	0.0	0.6	—	—

Randolph et al. J. Forestry 2015

In terms of financial gain, fusiform rust research has estimated benefit-cost ratios of up to 6:1 (Cubbage et al. 2000).

- **Un bénéfice reconnu** des efforts de recherche et de sélection sur la résistance

# Mais aussi des échecs...



## *Peupliers – Rouilles foliaires à Mlp – Europe*

1982	1986	1994	1997
<del>Ogy, Spijk, Slures</del>	<del>Luisa Avanzo, Carpacino, Cima, Candicans</del>	<del>Beaupré, Boelars, Donk, Dorskamp, Ghoy, Primo</del>	<del>Hazendaers, Hooijvorst</del>
Virulence 1	Virulence 2	Virulence 7	Virulence 8

- Des plantations **monoclonales** sur de larges surfaces
- Une diversité variétale limitée dans l'**espace** et le **temps**
- Des hybrides **interspécifiques** aux caractéristiques phénologiques et morphologiques favorables à *Mlp*
- Des espèces parentales qui n'ont pas **co-évolué** avec l'agent pathogène
- Des stratégies de sélections uniquement basée sur l'exploitation de **résistances complètes** exaptées

# Conclusions

Une sélection pour une productivité durable des forêts qui nécessite plus que jamais de ...



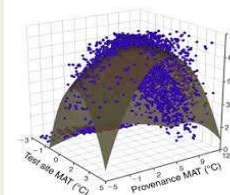
**Valoriser les ressources génétiques  $G_h$**

**Développer des méthodes de tests prenant en compte  $G_p$**



**Renforcer les approches multi-géniques et multicaractères**

**Améliorer la prédiction des réponses en milieu changeant**  
 $G_p \times E, G_h \times E, G_p \times G_h \times E$



**Raisonner la sélection au-delà de l'échelle individuelle (diversité, association)**

**Lever les verrous à l'innovation: réactivité, acceptabilité, réglementation**



**Accompagner le déploiement des résistances**

*Merci de votre attention*

