

# Evolution des populations de rouilles des céréales à l'échelle européenne et mondiale

Claude Pope, UMR BIOGER, INRA-APT, 78850 Thiverval-Grignon  
Membre correspondant, section 1



Rouille jaune  
*Puccinia striiformis*

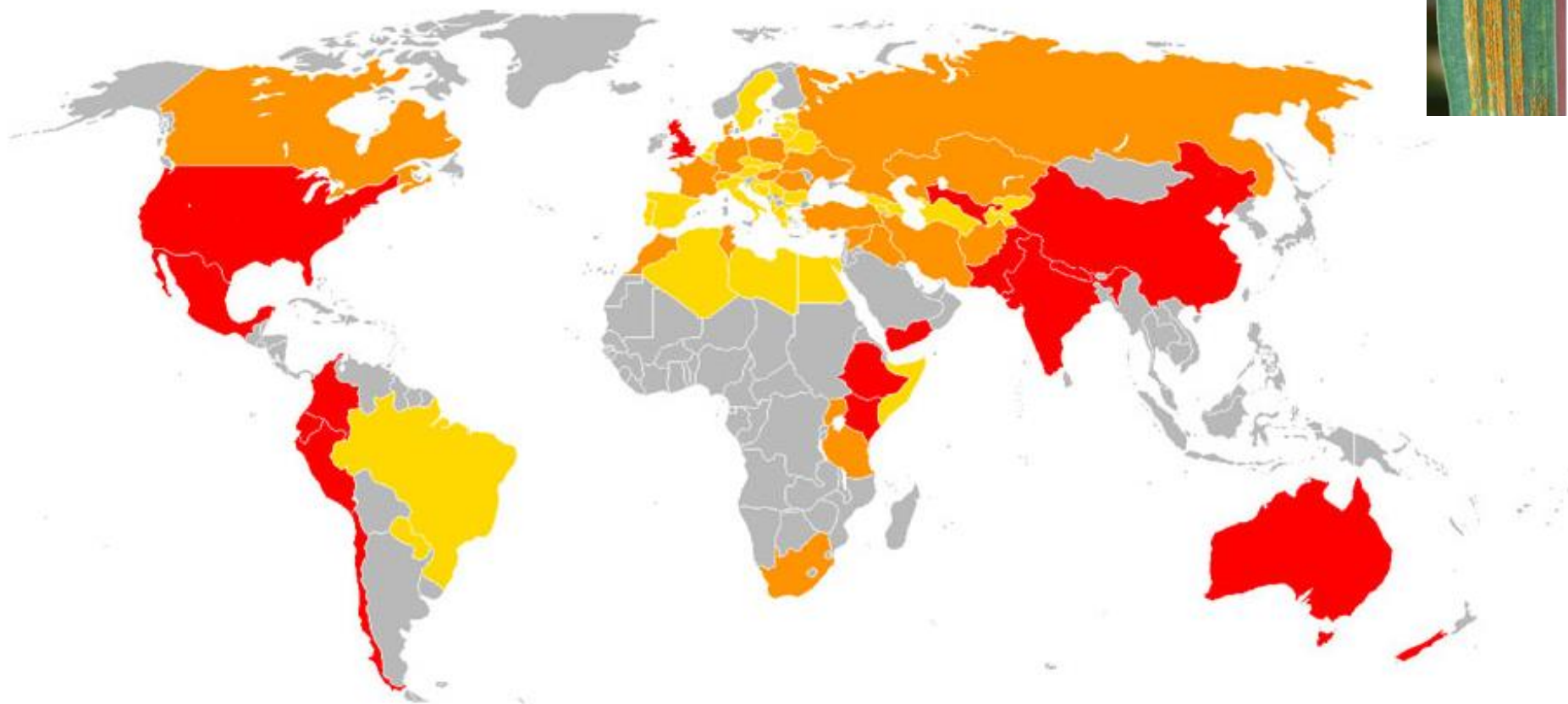





Rouille brune  
*Puccinia triticina*



Rouille noire  
*Puccinia graminis*

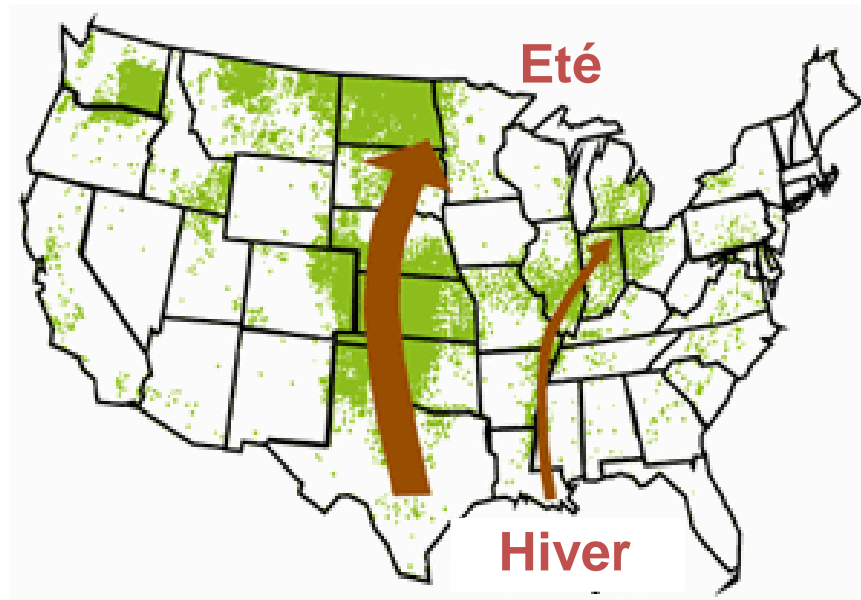
# Incidence de la rouille jaune du blé pour la période 2000–2009



Incidence		Sévérité
	Rare	Pertes négligeables
	Localisée, 2 à 5 ans dans plus de 25% des zones de culture	1-5 % de pertes de récolte
	Largement répandu 2 ou 3 ans sur 5 sur toute la région de production	5-10 % de pertes de récolte

# *Puccinia spp.*

Dispersion à  
longue distance



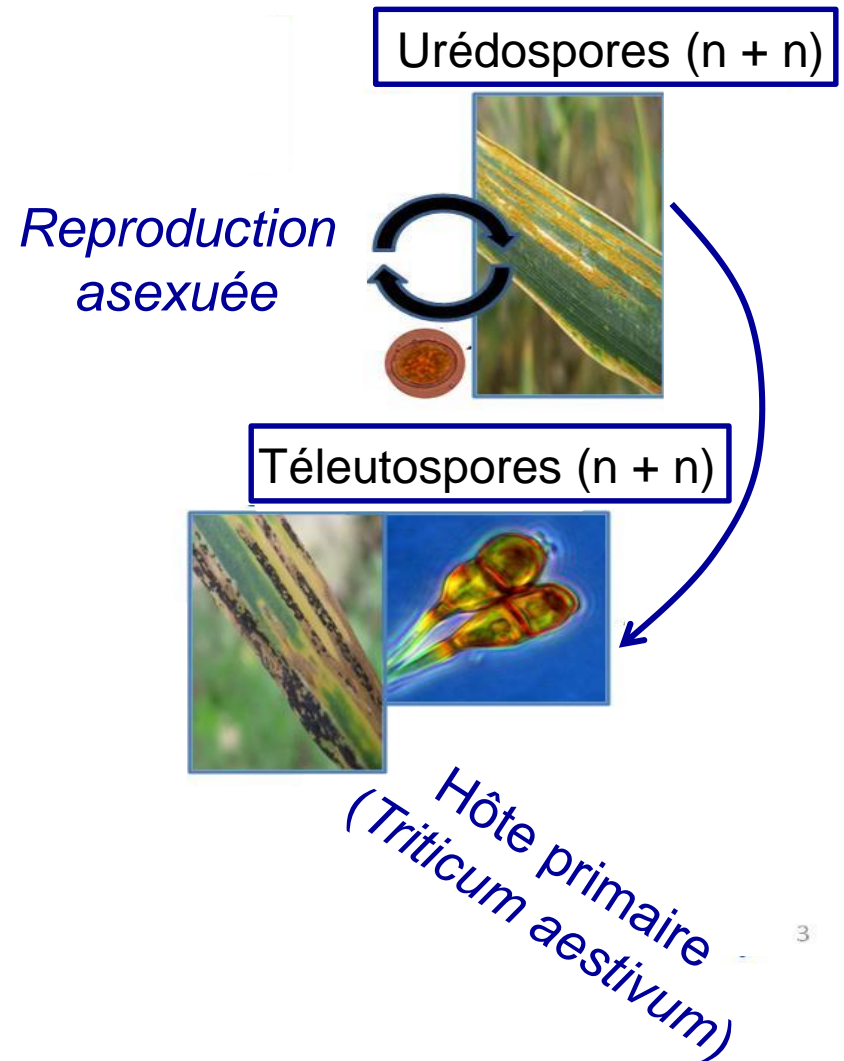
Cereal disease lab, St Paul, MN, USA

Nombreuses sources de gènes de résistance spécifique

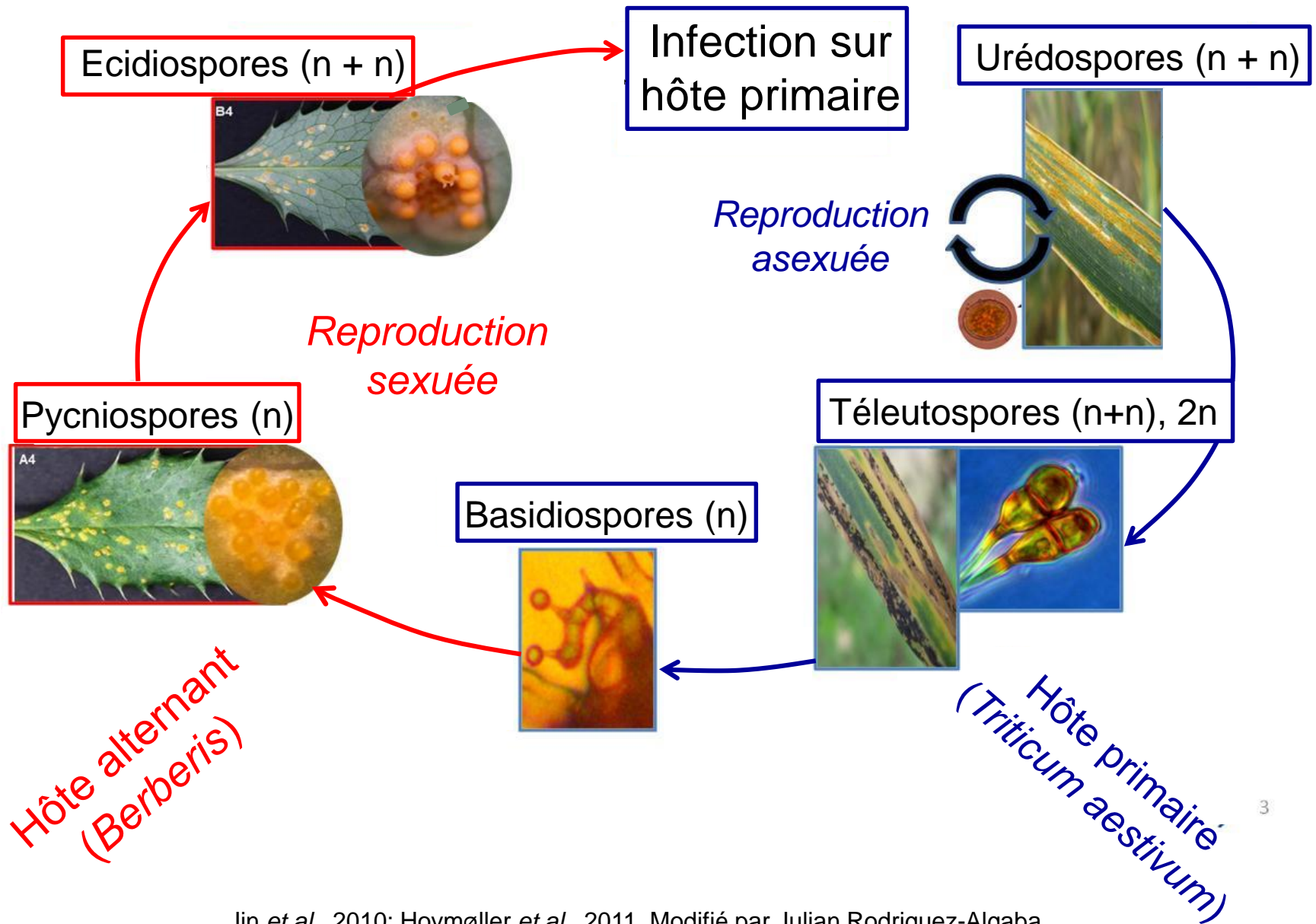
>70 *Yr*   >70 *Lr*   > 50 *Sr*



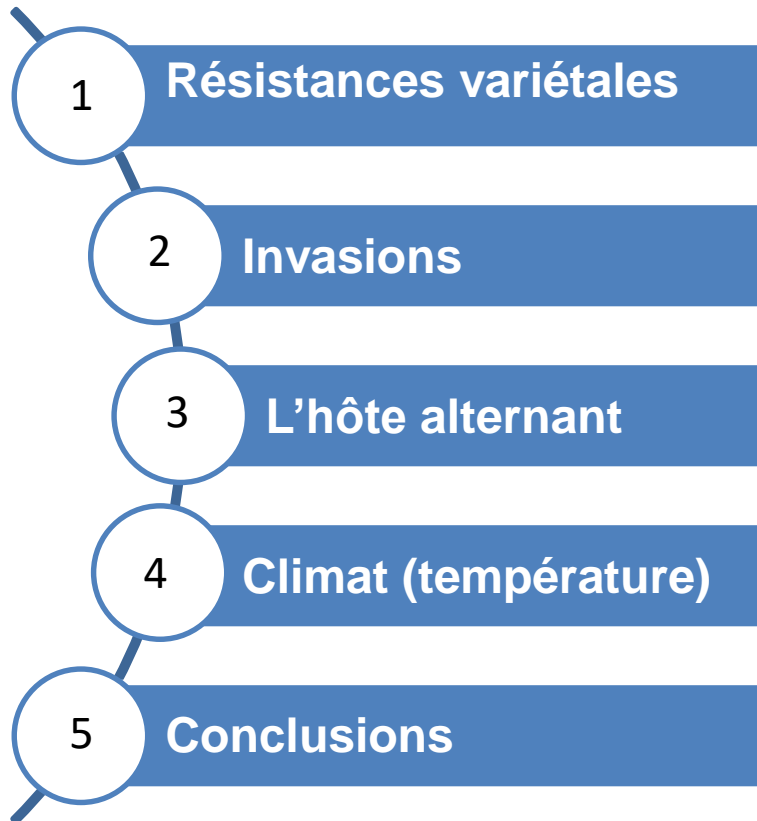
# Cycle de vie de *Puccinia striiformis* (rouille jaune)



# Cycle de vie de *Puccinia striiformis* (rouille jaune)

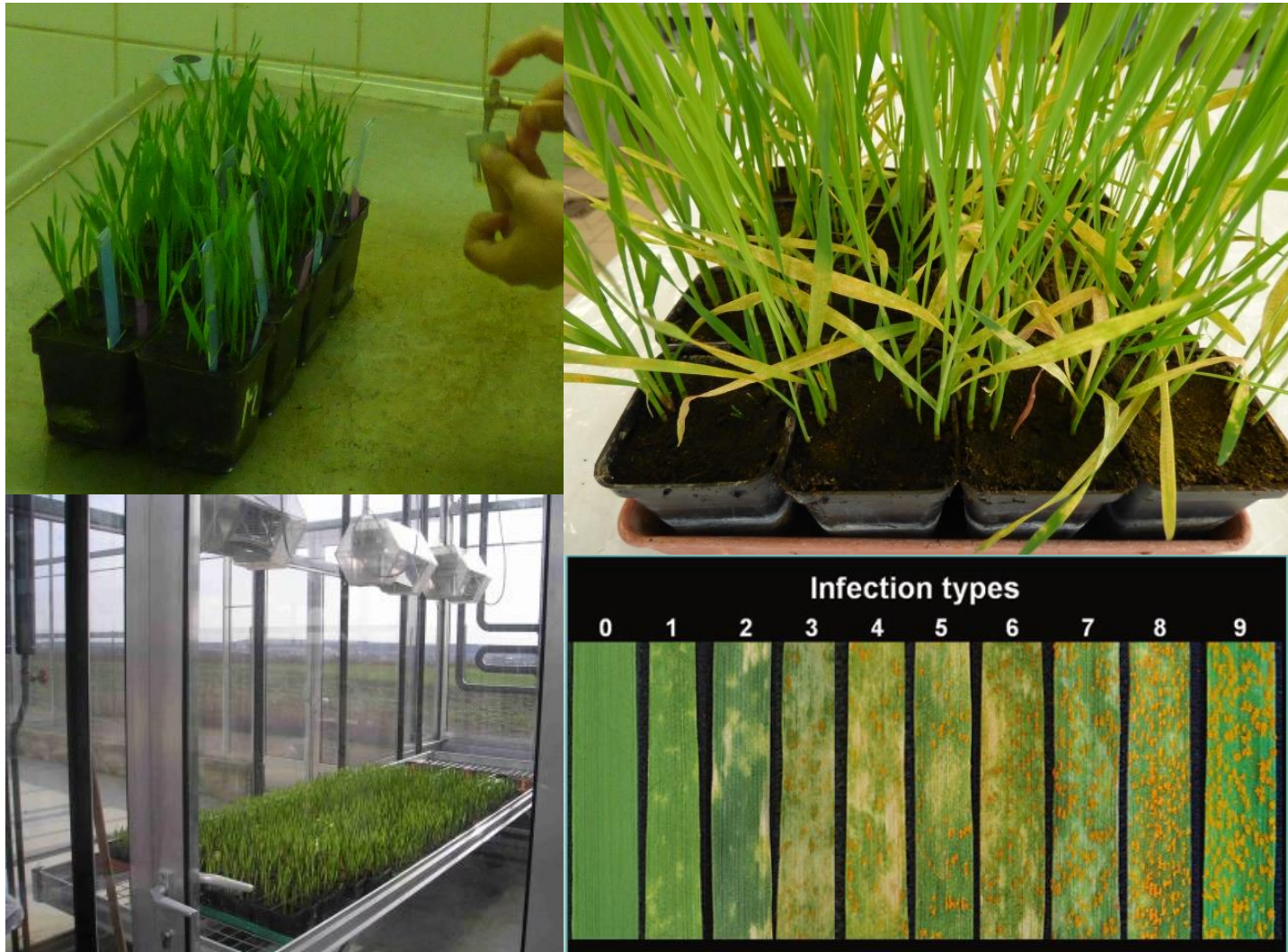


Etudes de structure des  
populations des rouilles  
du blé pour gérer les  
variétés résistantes



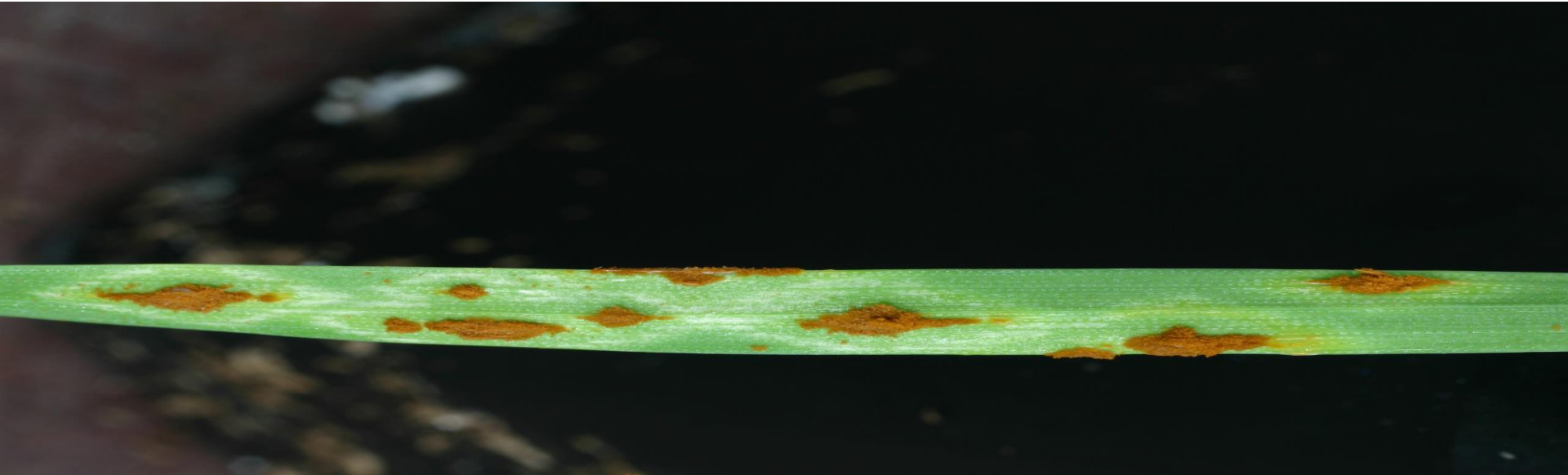


# Analyse des races de *Puccinia striiformis*



1

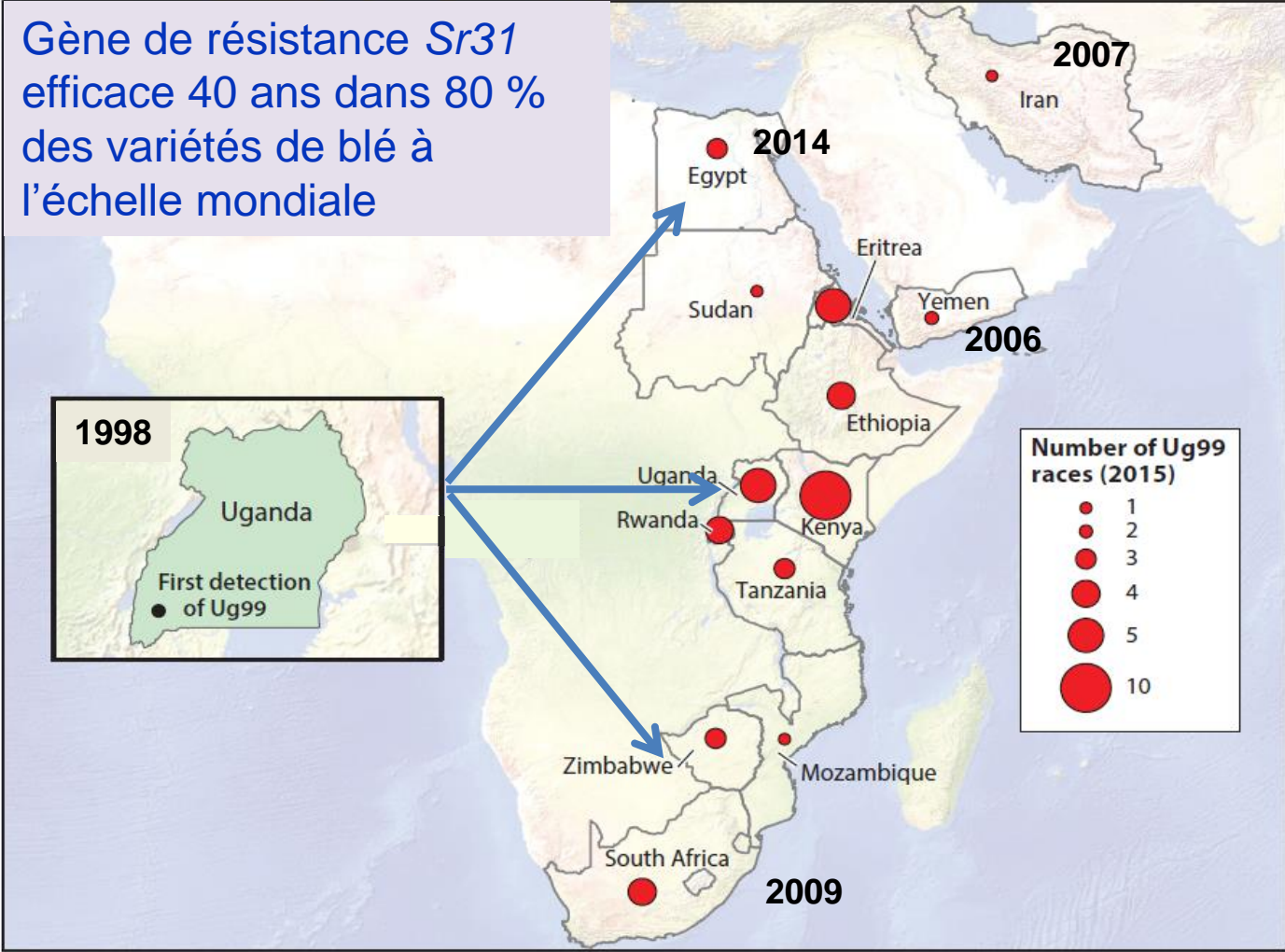
Contournement d'un gène de résistance durable employé mondialement pour lutter contre la rouille noire du blé (*P. graminis*)



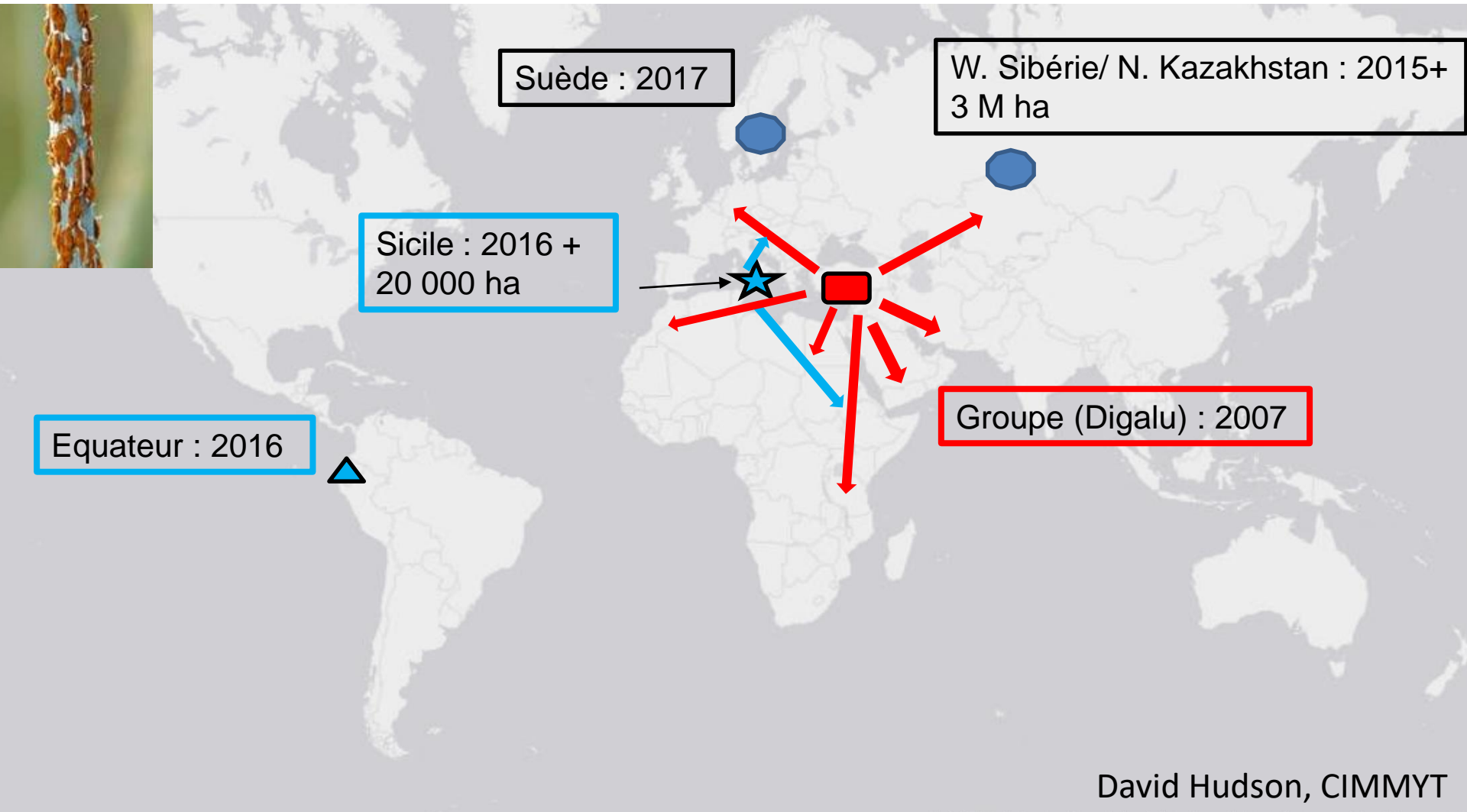


# Dispersion de la race Ug99 de la rouille noire du blé : 1998 - 2016

Gène de résistance *Sr31*  
efficace 40 ans dans 80 %  
des variétés de blé à  
l'échelle mondiale



# Races de rouille noire du blé d'un autre groupe génétique que Ug99 depuis 2007



David Hudson, CIMMYT

- Clade III
- Clade IV

Les races du clade III et IV dominent en Afrique de l'Est

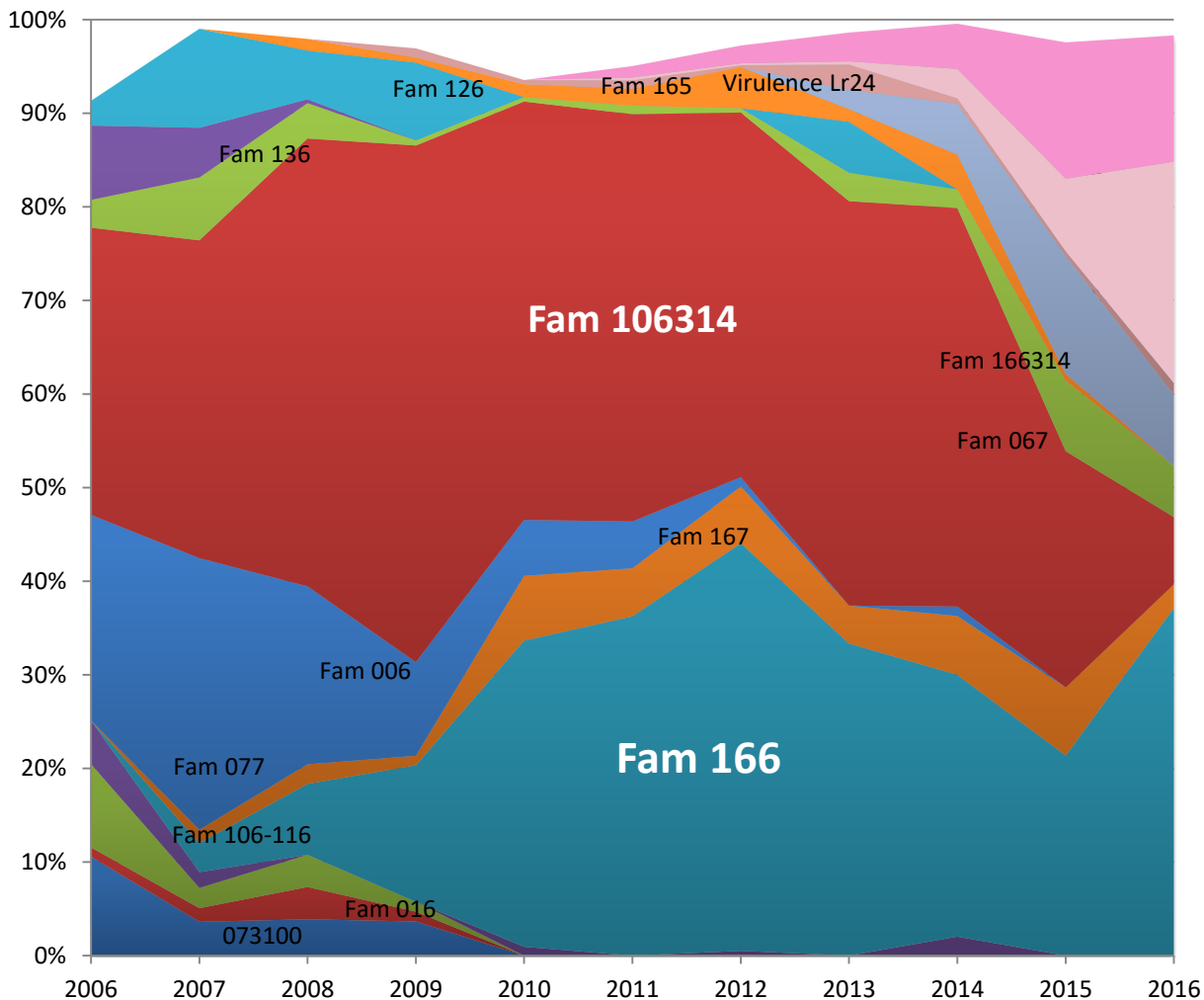
1

Contournement d'un gène de résistance dès l'année de son utilisation pour lutter contre la rouille brune du blé (*P. triticina*)



# Evolution des familles de races de rouille brune du blé tendre

## Evolution des familles de races

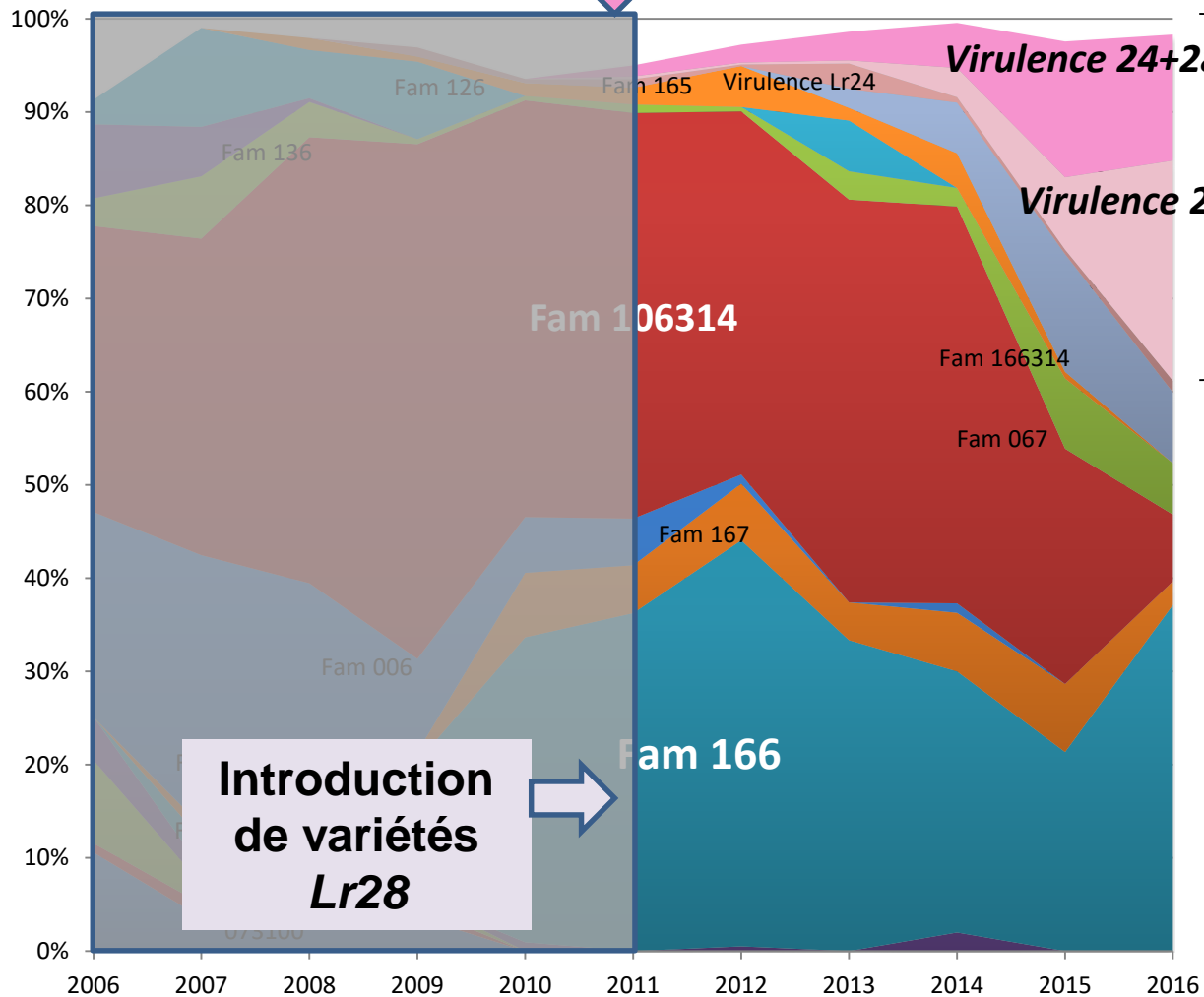


Henriette Goyeau, BIOGER



# Evolution des familles de races de rouille brune du blé tendre

Détection de la *virulence 28*



7 géotypes SSR  
12 races



Etoile-sur-Rhône, 2017

Henriette Goyeau, BIOGER



1

Succession des races de rouille jaune en Europe influencée par le déploiement des gènes de résistance et les migrations à grande distance



# Remplacement des races de rouille jaune en Europe

## RACES - CHANGES ACROSS YEARS



Data updated September 2016

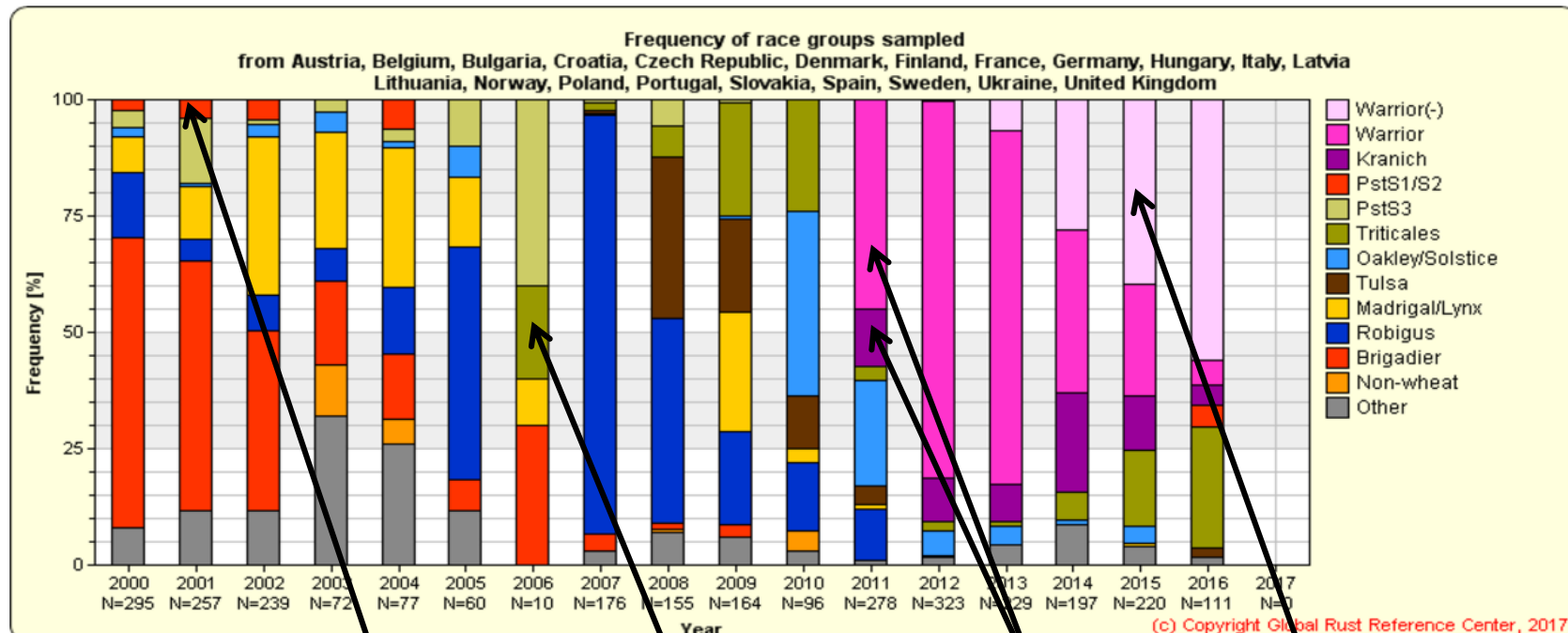
Mode  Races  Race groups

Continent  Europe  Africa & West/Central Asia  East Asia  South America  North & Central America

Country  All  Austria  Belgium  Bulgaria  Croatia  Czech Republic  Denmark  Finland  France  Germany  Hungary  Italy  Latvia  Lithuania  Norway  Poland  Portugal  Slovakia  Spain  Sweden  Ukraine  United Kingdom

Show

Help



Souches agressives depuis 2000

Race triticale

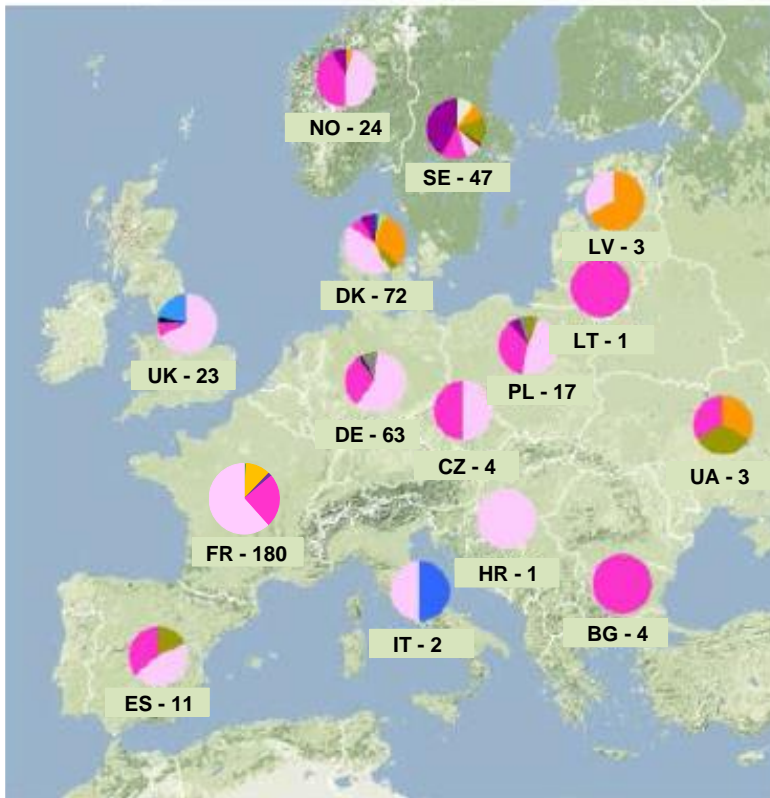
Races Warrior et Kranich depuis 2011

Warrior-

# Distribution des races de *P. striiformis* en 2016

Invasions récentes →

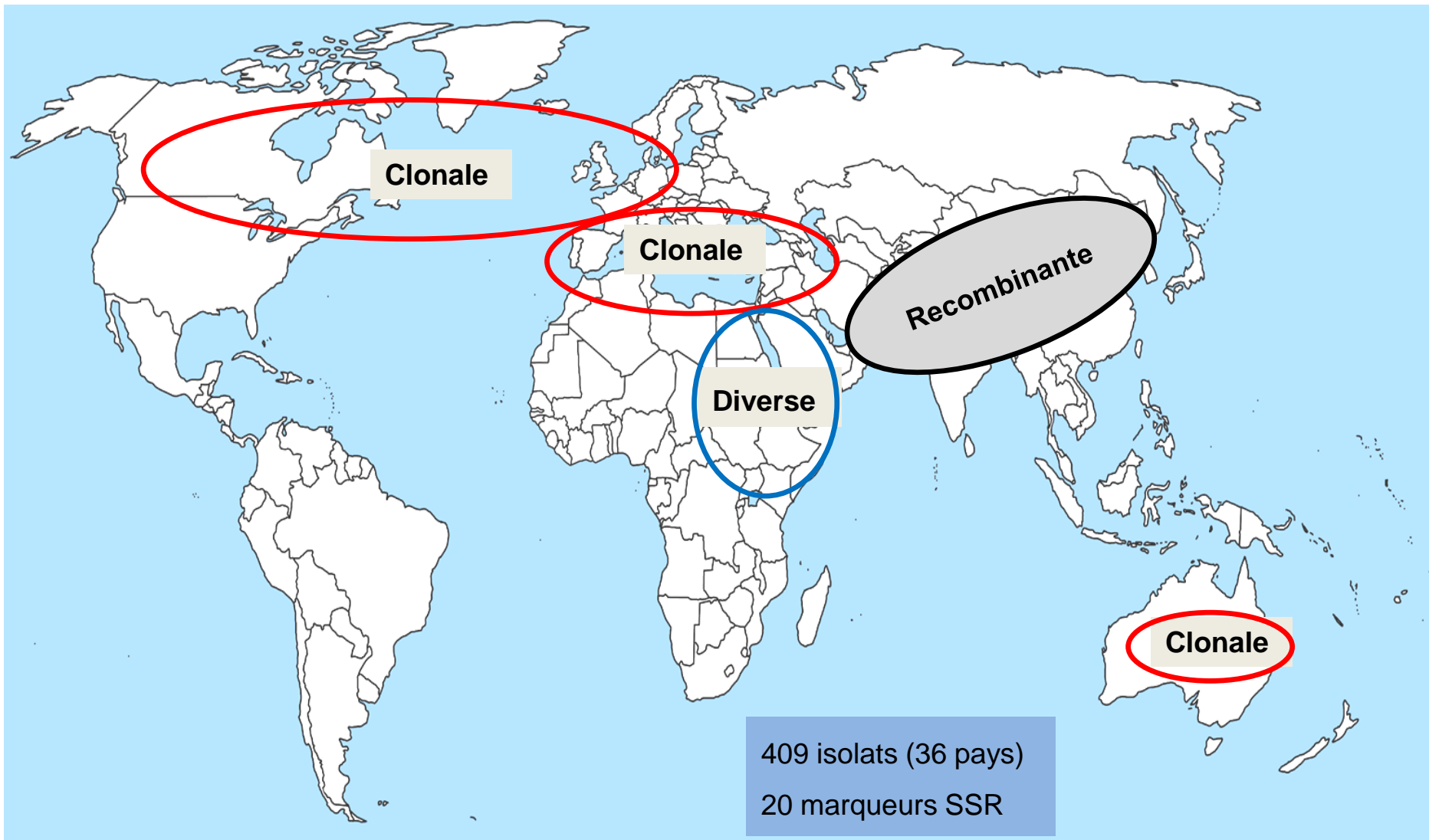
Spectre de virulences



→		PstS14	-	2	-	-	6	7	8	9	-	-	25	32	Sp	-
		PstS3+V2 V25	-	2	-	-	6	7	8	-	-	-	25	-	-	-
		Hereford	-	2	3	-	6	7	8	-	-	-	25	32	-	-
→		Triticale 2006	-	2	-	-	6	7	8	-	10	-	-	-	-	-
→		Triticale 2015	-	2	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-
		Triticale 2016	-	-	-	-	6	-	8	-	-	-	-	-	-	-
		Tulsa	-	-	3	4	6	-	-	-	-	-	25	32	-	-
→		Kranich	1	2	3	-	6	7	8	9	-	17	25	32	-	Amb
→		Warrior 1	1	2	3	4	6	7	-	9	-	17	25	32	Sp	Amb
→		Warrior -	1	2	3	4	6	7	-	9	-	17	25	32	Sp	-
		Oakley/Soltice	1	2	3	4	6	-	-	9	-	17	25	32	-	-
		Oakley + V7	1	2	3	4	6	7	-	9	-	17	25	32	-	-
		autre														

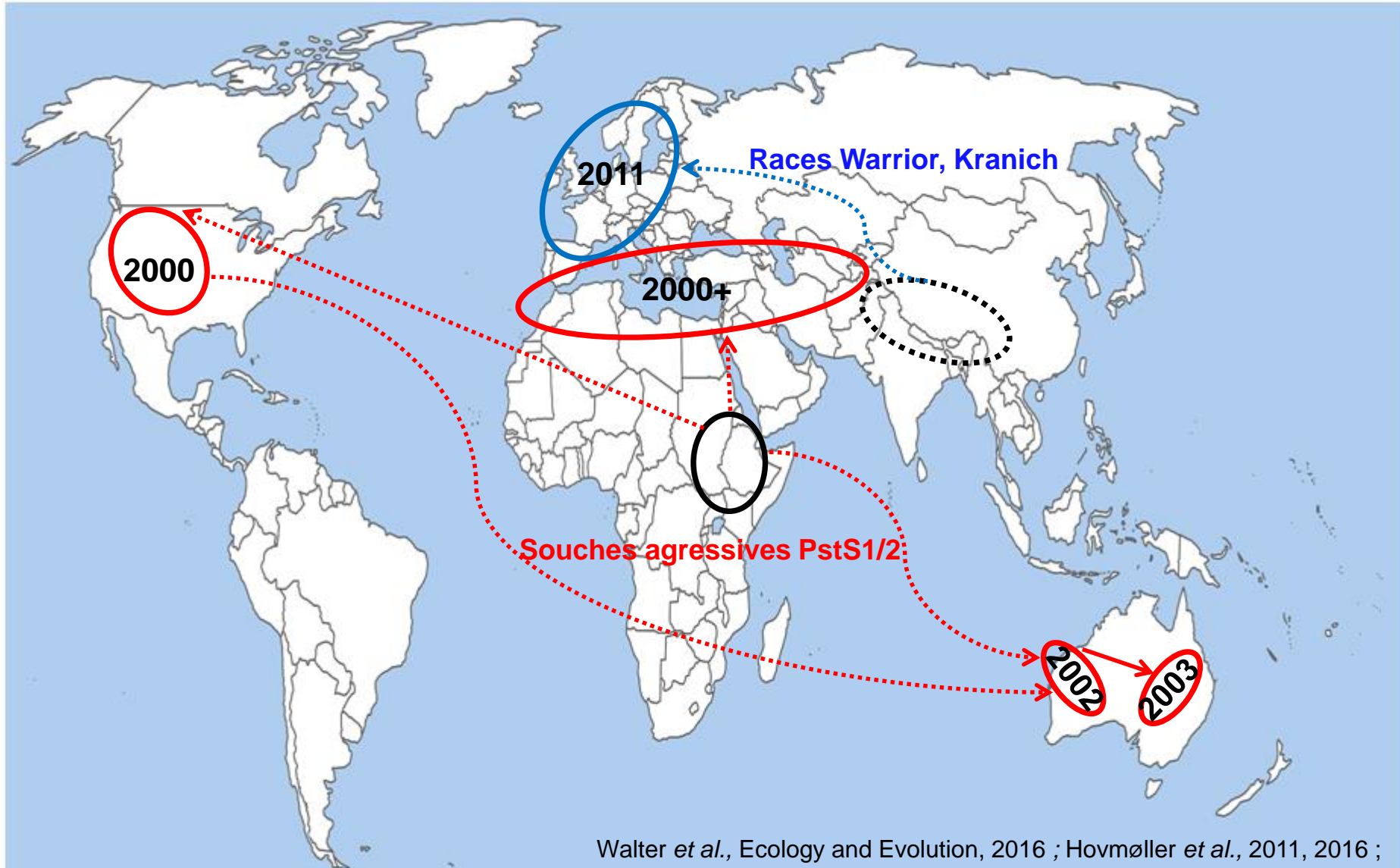
- La même race Warrior(-) domine en Europe depuis 2015
- Nouvelle race PstS14 détectée en 2016 en Italie, Maroc et Scandinavie

# Structure de la population mondiale de *Puccinia striiformis*





## Invasions récentes de jaune du blé (*Puccinia striiformis*)





### 3 Rôle de l'hôte alternant comme source d'inoculum primaire

La rouille noire apparaît en Suède en 2017

1994 : l'éradication du *Berberis* est arrêtée

Été 2017, 1<sup>ère</sup> épidémie sur blé depuis 60 ans

Inoculum : Spores issues de reproduction sexuée



Blé de printemps avec telia, Suède sept 2017  
(photo : A Berlin)

Berlin *et al.*, en préparation



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

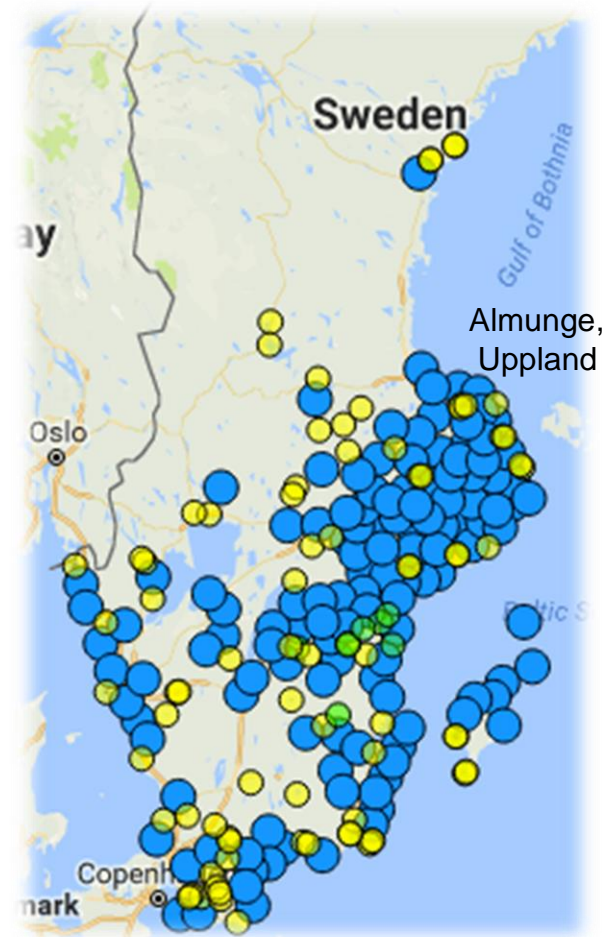
## Distribution des *Berberis* en Suède sensibles *et résistantes* à *Puccinia graminis*



*Berberis vulgaris*

- *Berberis vulgaris* (4000+)
- *Berberis thunbergii* (1300+)
- *Berberis x ottawaensis*
- *Berberis koreana*
- *Berberis julianae*
- *Berberis candidula*
- *Berberis aggregata*
- *Berberis* spp. (29)

> 5 plantes par lieu  
< 5 plantes



[www.artportalen.se](http://www.artportalen.se)

Berlin *et al.*, en préparation

3

## Hôte alternant de la rouille brune (*Puccinia triticina*)



***Thalictrum* avec pycnides**

photo Henriette Goyeau

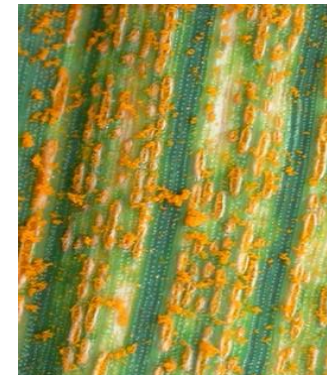
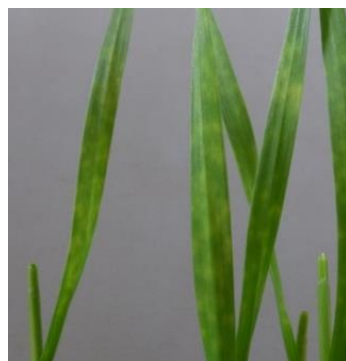
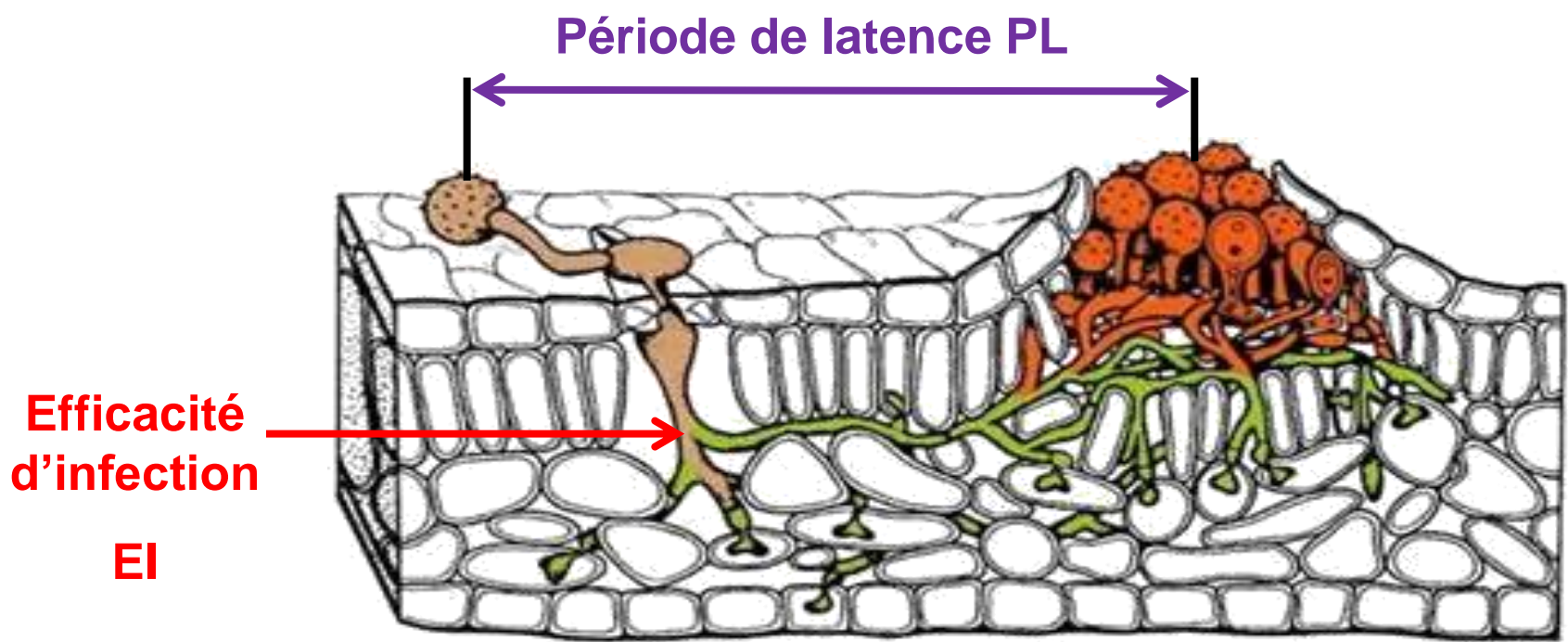
Pas d'incidence épidémiologique en Europe



Est-ce que l'aptitude thermique des souches invasives de *Puccinia striiformis* leur confère un avantage dans le futur ?



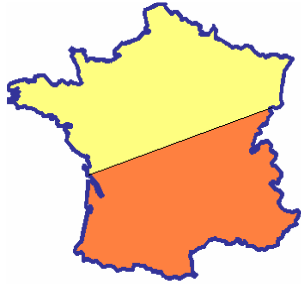
# deux traits du cycle infectieux



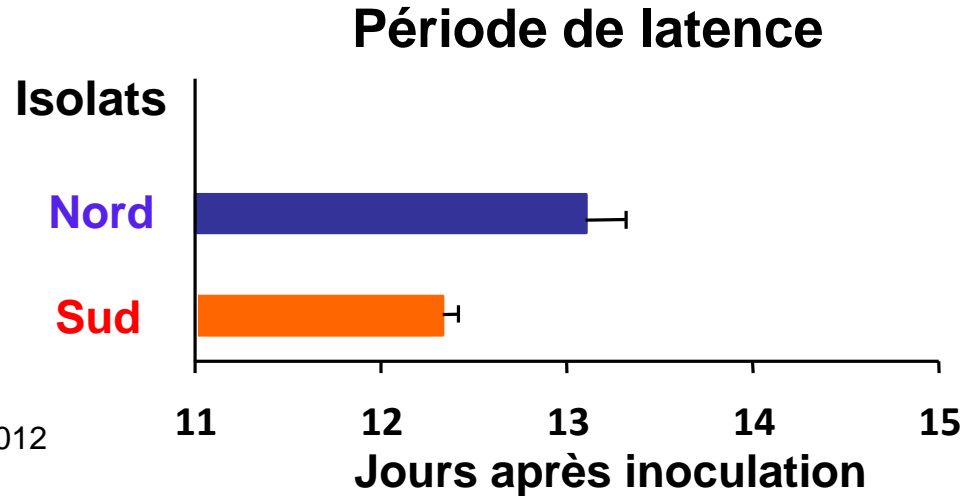


# Adaptation à la température de *Puccinia striiformis*

## Adaptation locale Nord et Sud de la France avant 2004

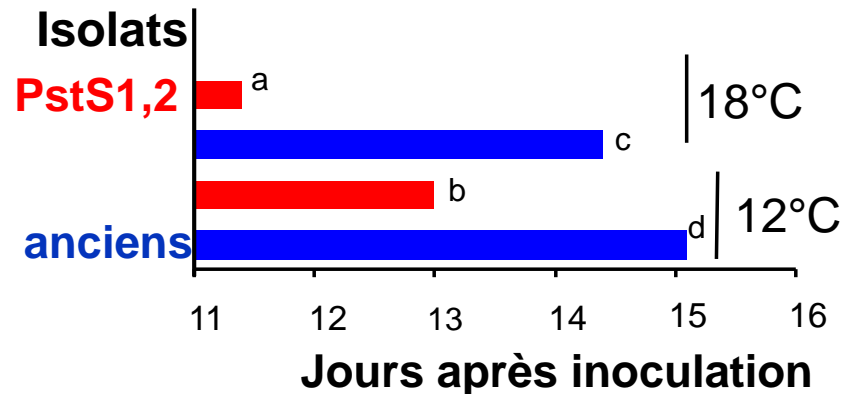


Mboup *et al.*, *Evolutionary Applications*, 2012



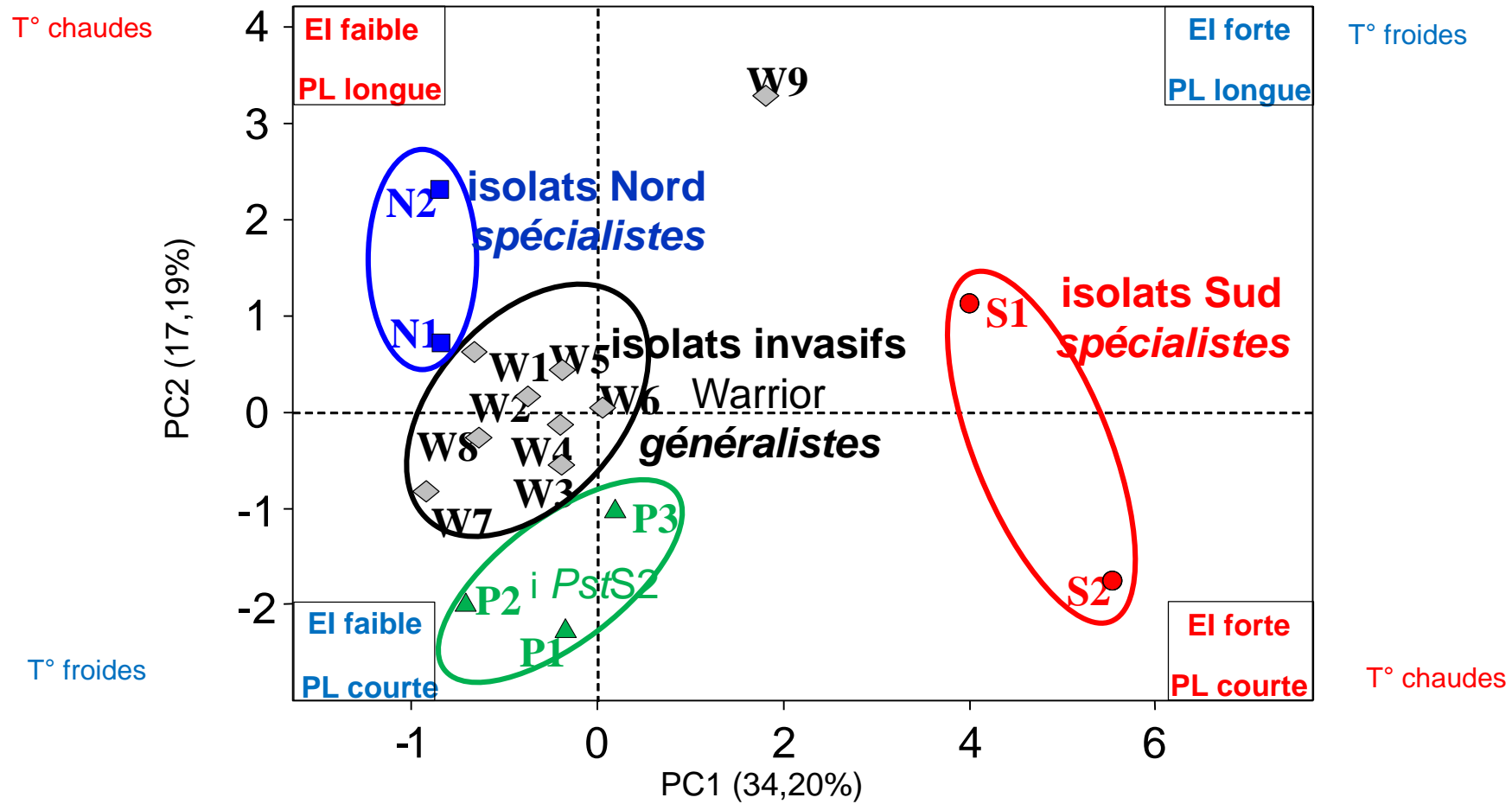
## Adaptation à haute température des souches invasives mondiales

isolats Nord Américains  
avant 2000; après 2000



Milus *et al.*, *Phytopathology* 2009

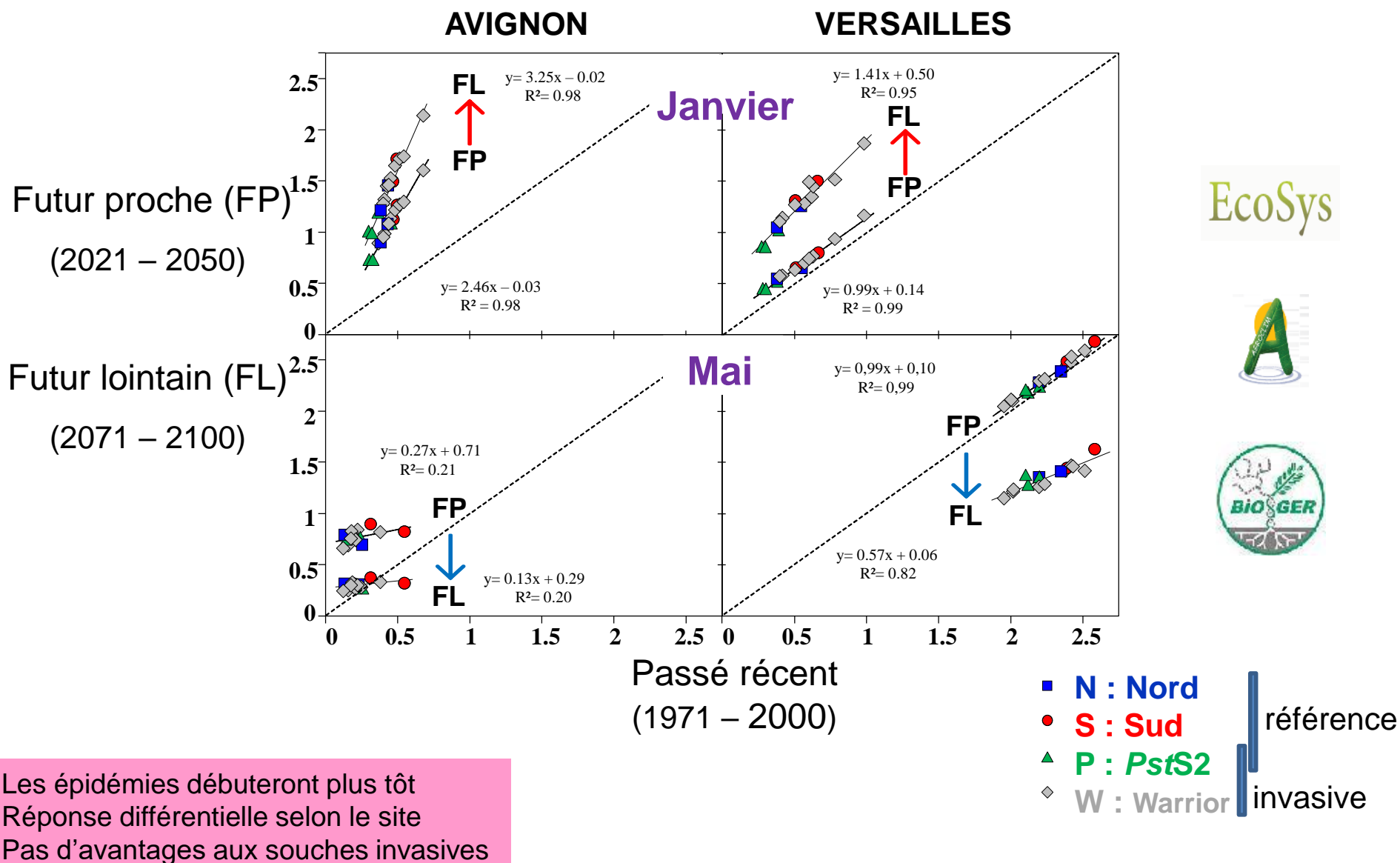
# Aptitude à la température des isolats de rouille jaune du blé



EI efficacité d'infection, PL période de latence

## Prédiction du risque d'infection dans des scénarios climatiques futurs

16 isolats de rouille jaune



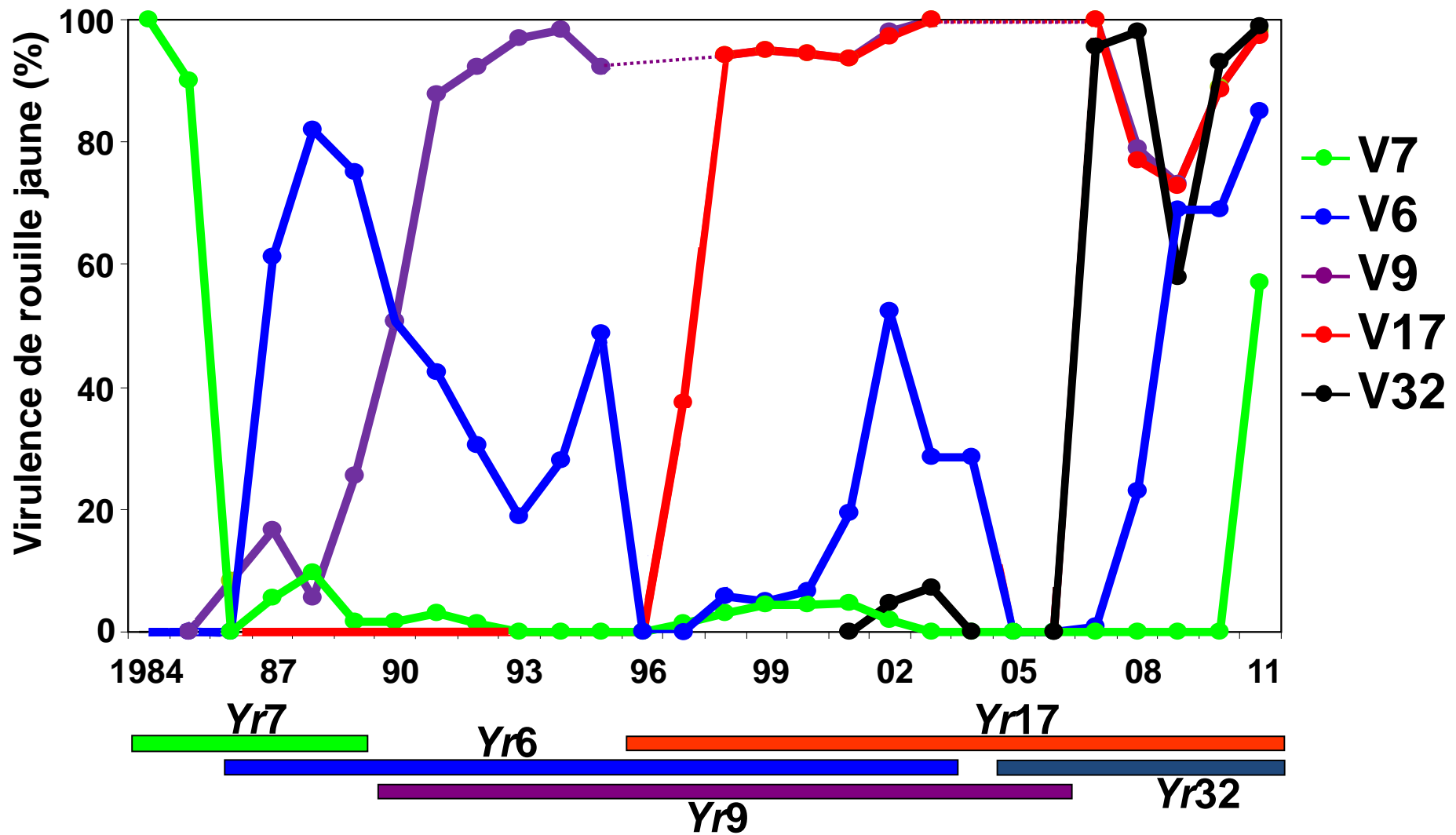
# Conclusions

## Gestion des gènes de résistance

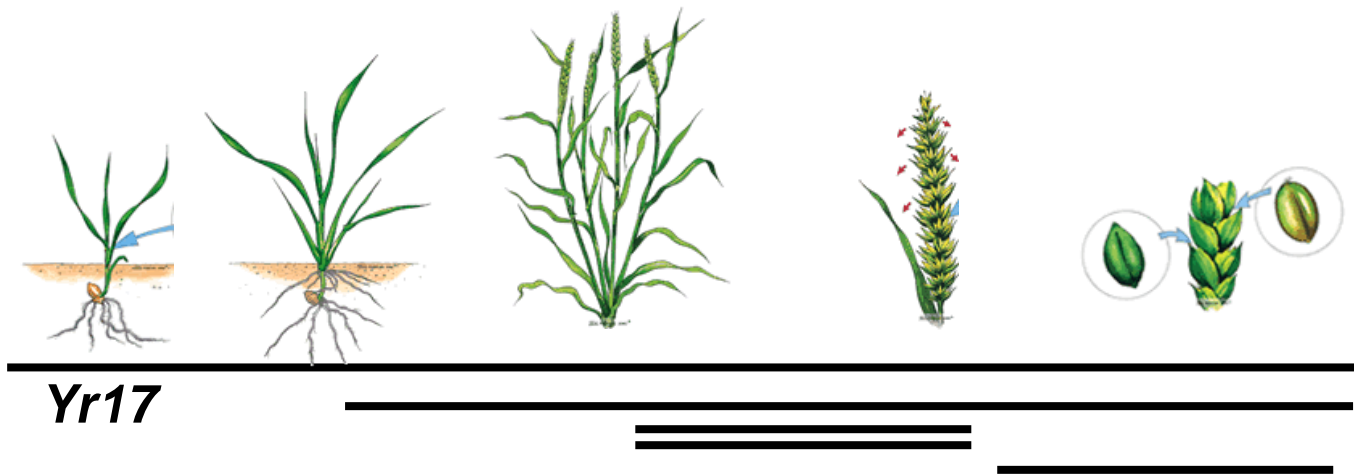




# Des gènes *Yr* de résistance spécifique contournés protègent contre l'invasion mondiale de la souche agressive *PstS2*



# Résistance durable de variétés de blé françaises pour la rouille jaune



cv-Renan (*Yr17*, 4 QTLs), 1989-

(Dedryver *et al.*, 2009)

cv-Camp Rémy (*Yr7*, *Yrsp*, 7 QTLs), 1980- (Mallard *et al.*, 2005, Sørensen *et al.*, 2014)

cv-Apache (*Yr7*, *Yr17*, 1 QTL), 1998-

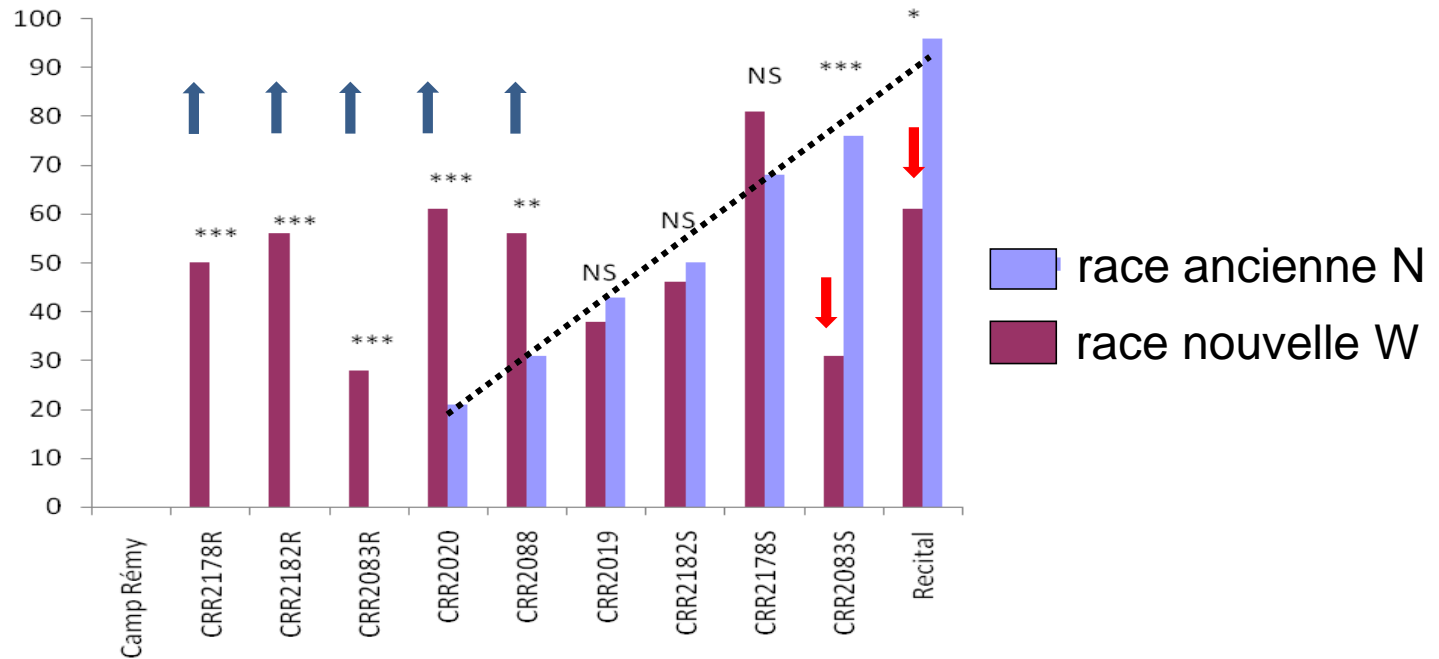
(Paillard *et al.*, 2012)

cv-Soissons (*Yr3*, 7 QTLs), 1988

# Des QTL de résistance quantitative spécifiques des anciennes et nouvelles races

lignées avec différents QTL

% sévérité de rouille jaune



Sørensen *et al.*,  
*Phytopathology*, 2014

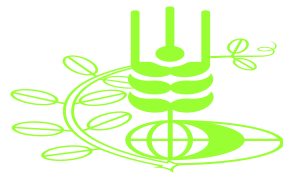
# Conclusion

- Structuration des populations malgré une migration à longue distance
- Aptitude thermique peut structurer les populations
- Importance des résistances spécifiques
- Sources de résistance durable identifiées



# Dispersion à longue distance et évolution des populations pathogènes étudiées par des organisations internationales

L. Guyot  
G. Viennot-Bourgin  
M. Massenot  
F. Rapilly



ICARDA

## *“Rust Never Sleeps”*



Norman E. Borlaug (1914-2009)

Credit: CIMMYT

**UMR INRA-APT BIOGER**  
**Thiverval-Grignon**

Claude de Vallavieille-Pope  
Jérôme Enjalbert  
Henriette Goyeau  
Sajid Ali  
Bohra Bahri  
Mamadou Mboup  
Rola El-Amil  
Marc Leconte  
Angélique Gautier  
Laurent Gérard  
Nathalie Retout



**UMR INRA-APT ECOSYS**  
**Thiverval-Grignon**  
Marie-Odile Bancal  
Laurent Huber  
Olivier Zurfluh

**INRA US Agroclim**  
**Avignon**  
Marie Launay



**Aarhus University,**  
**Flakkebjerg, Danemark**

Mogens Hovmøller  
Annemarie Justesen  
Chris Sørensen

**AgroSolutions, Paris**

Simon Lefèvre





# Rôle de l'hôte alternant chez *P. striiformis*



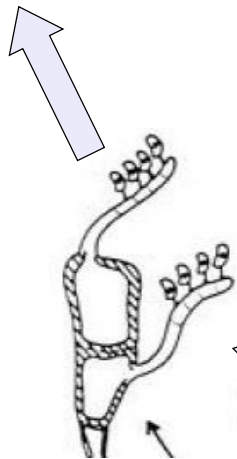
Disponibilité de feuilles  
de *Berberis* spp.



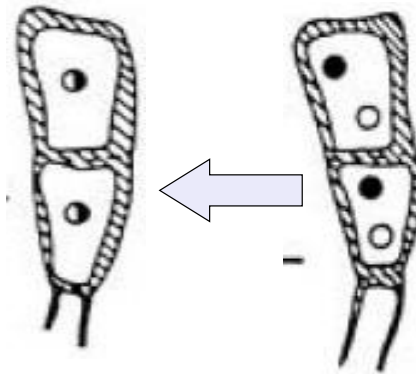
Téliosores sur le blé



Basidiopores (n)



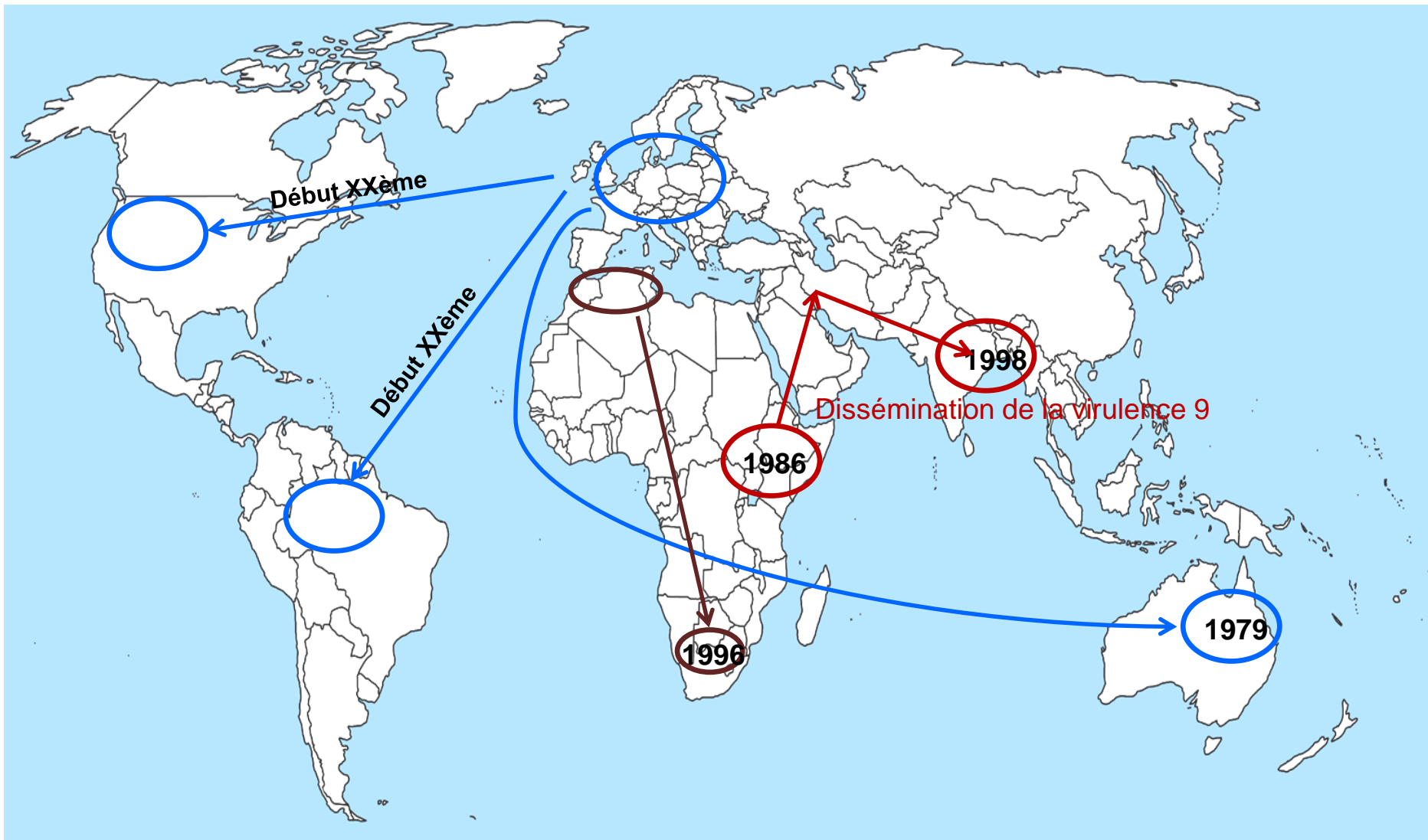
téliospores



Absence de dormance



# Routes de migration de *Puccinia striiformis*



Wellings & McIntosh, 1990; Boshoff *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2004; Ali *et al.*, 2014

Le cumul de 2 nouveaux gènes de résistance dans une variété est la solution la plus durable quand le virulent doit émerger par mutation

