

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

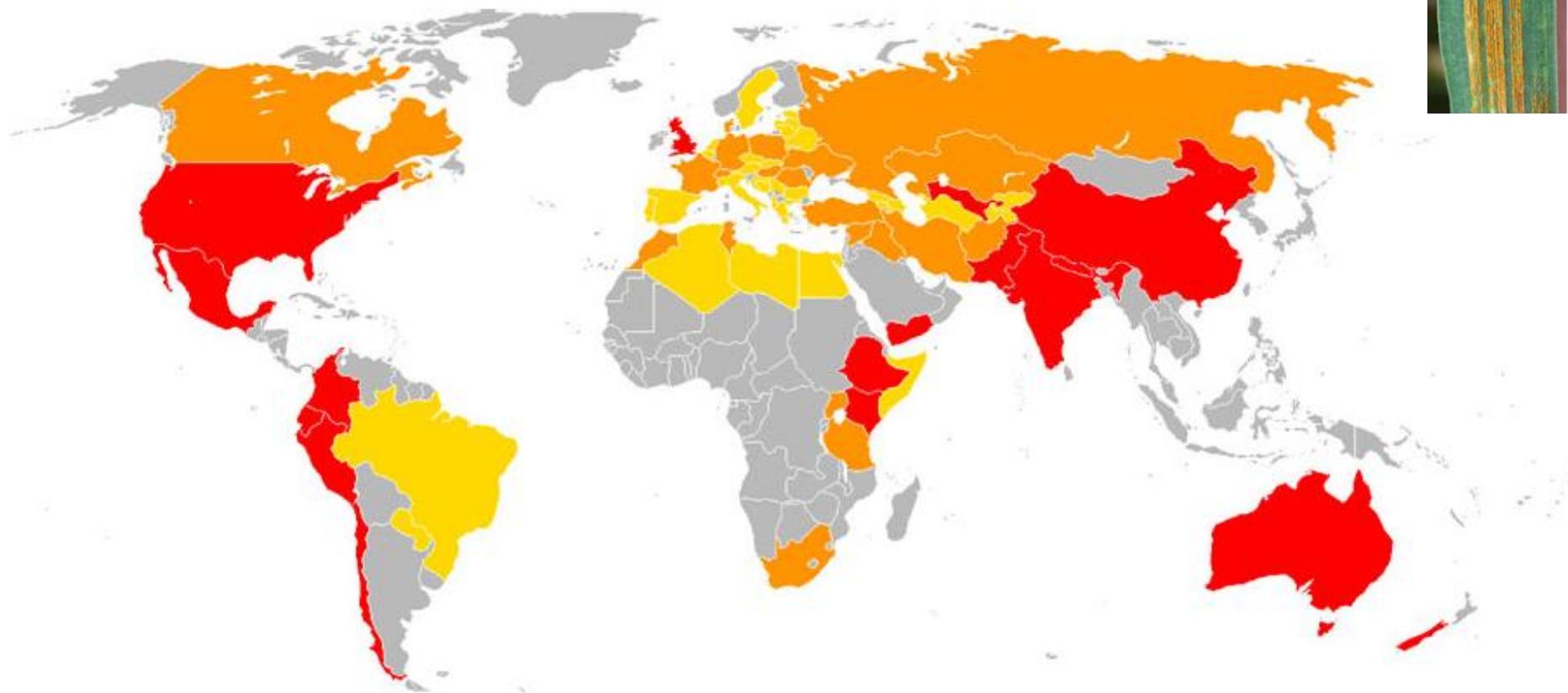


Rouille brune
Puccinia triticina



Rouille noire
Puccinia graminis

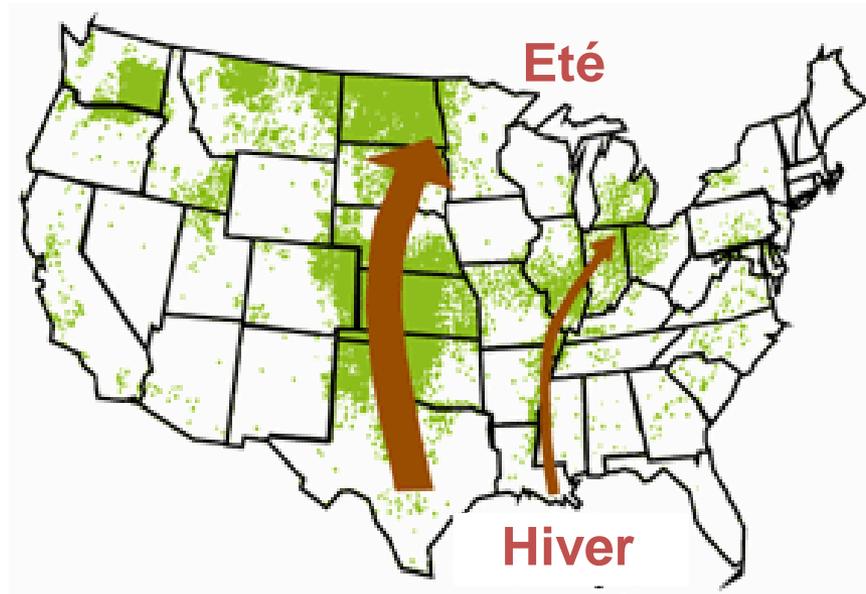
Incidence de la rouille jaune du blé pour la période 2000–2009



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



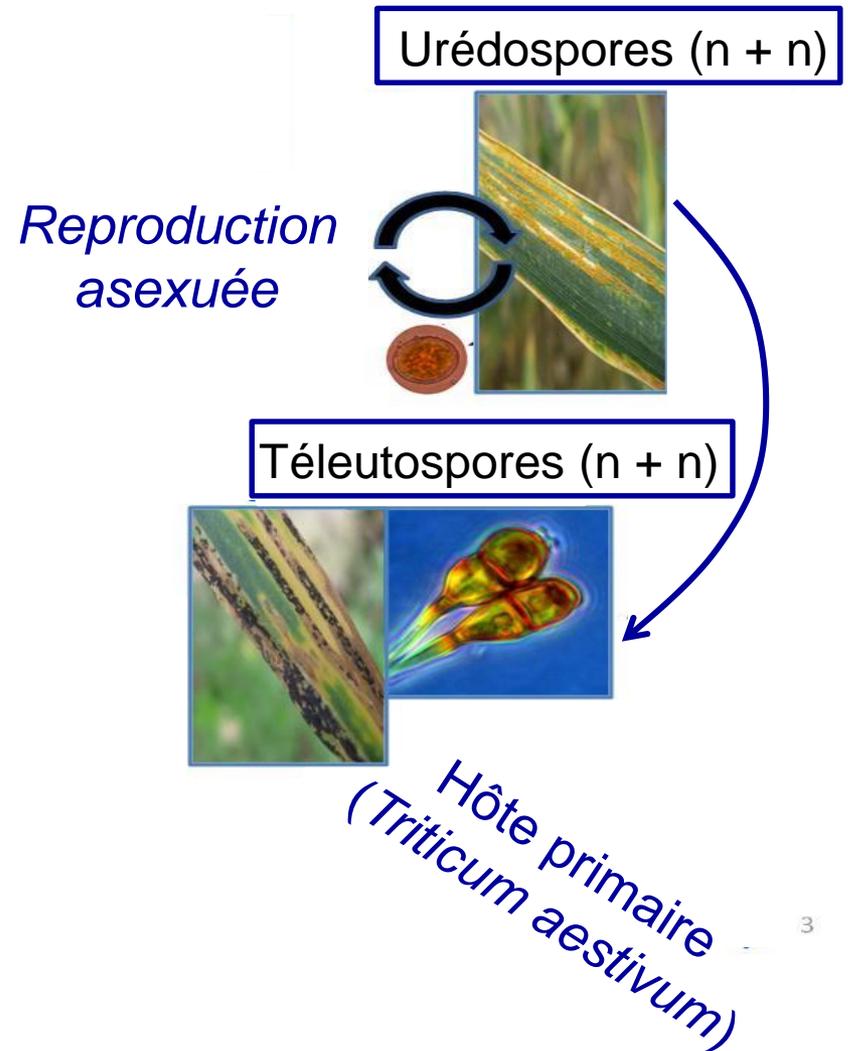
Cereal disease lab, St Paul, MN, USA

Nombreuses sources de gènes de résistance spécifique

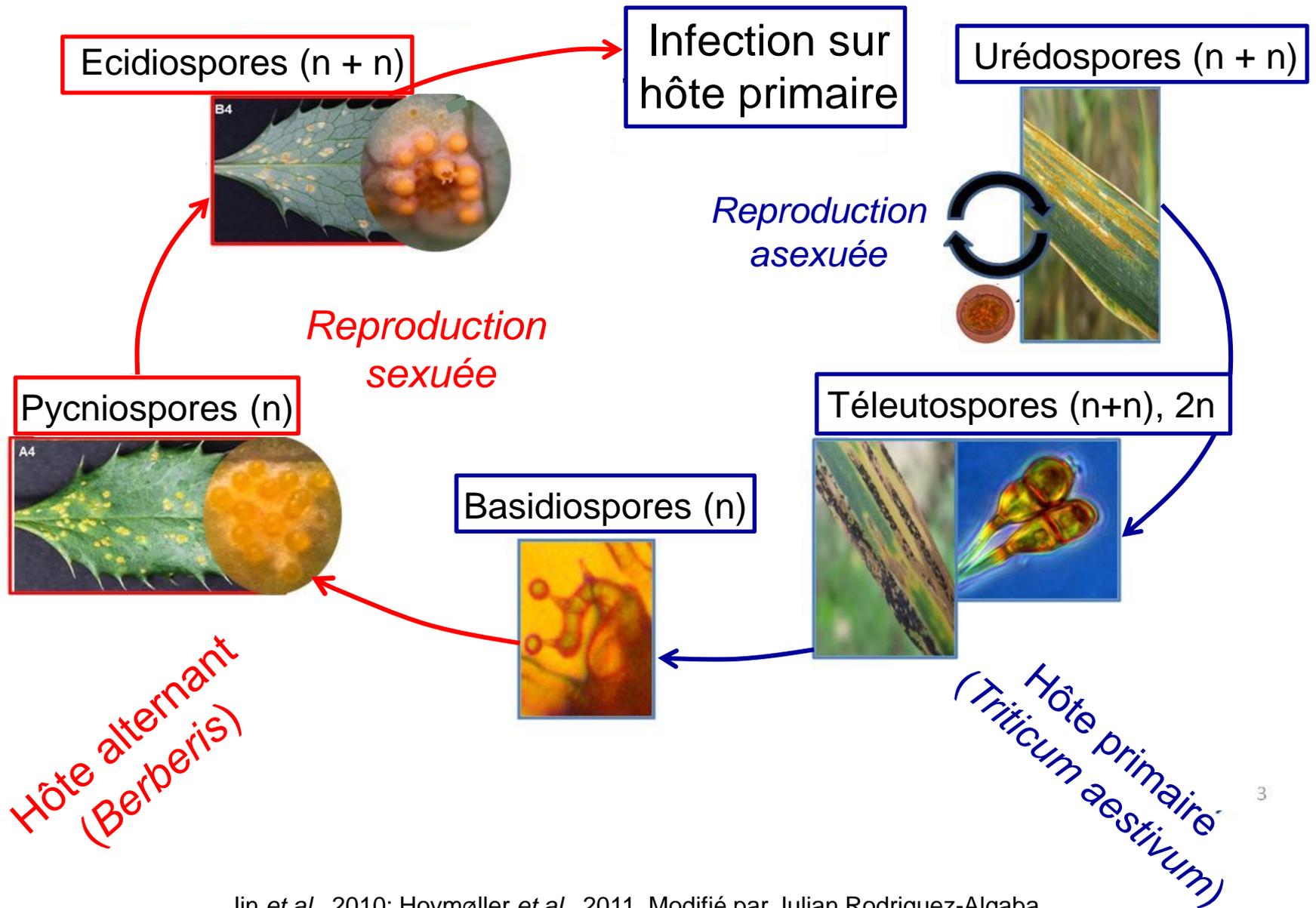
>70 *Yr* >70 *Lr* > 50 *Sr*



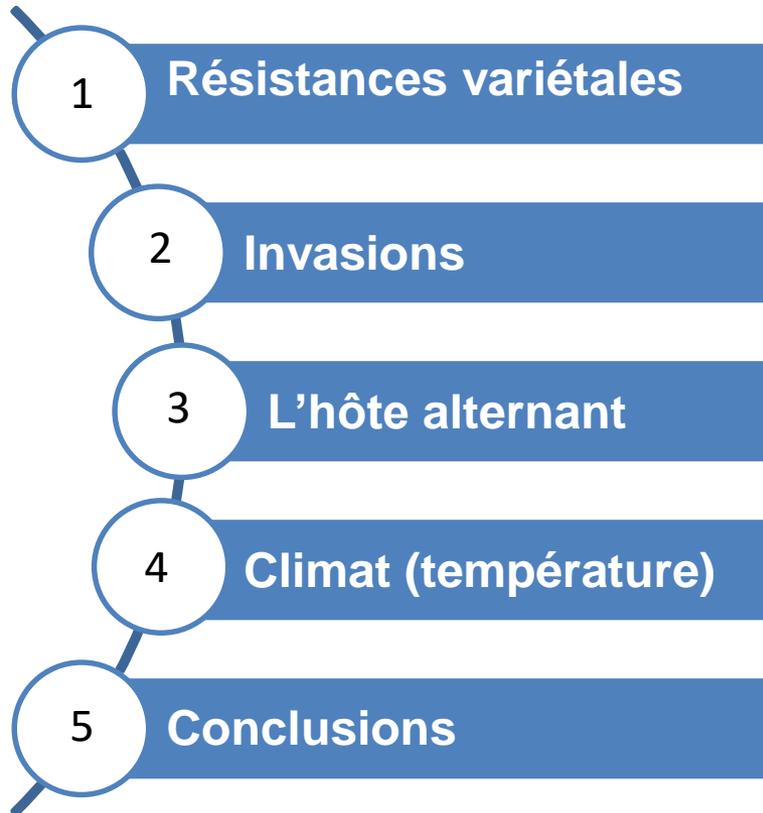
Cycle de vie de *Puccinia striiformis* (rouille jaune)



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



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

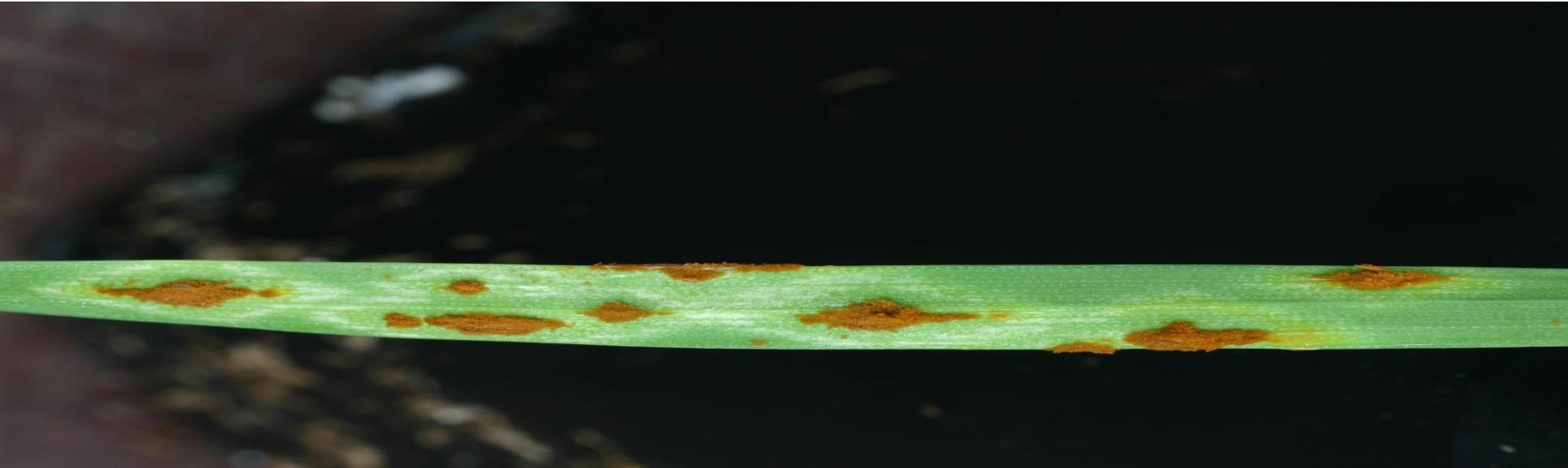


Analyse des races de *Puccinia striiformis*



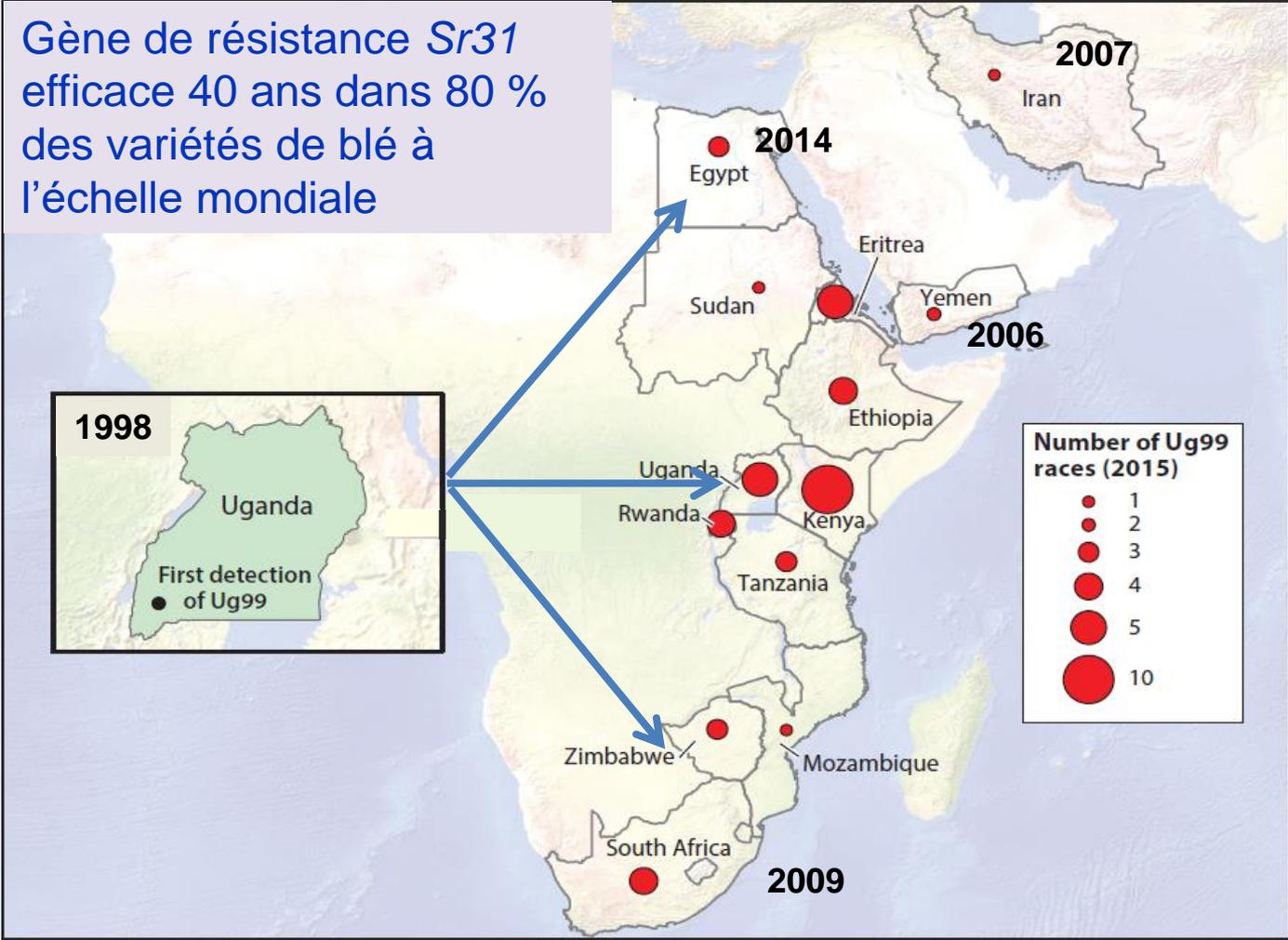
1

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

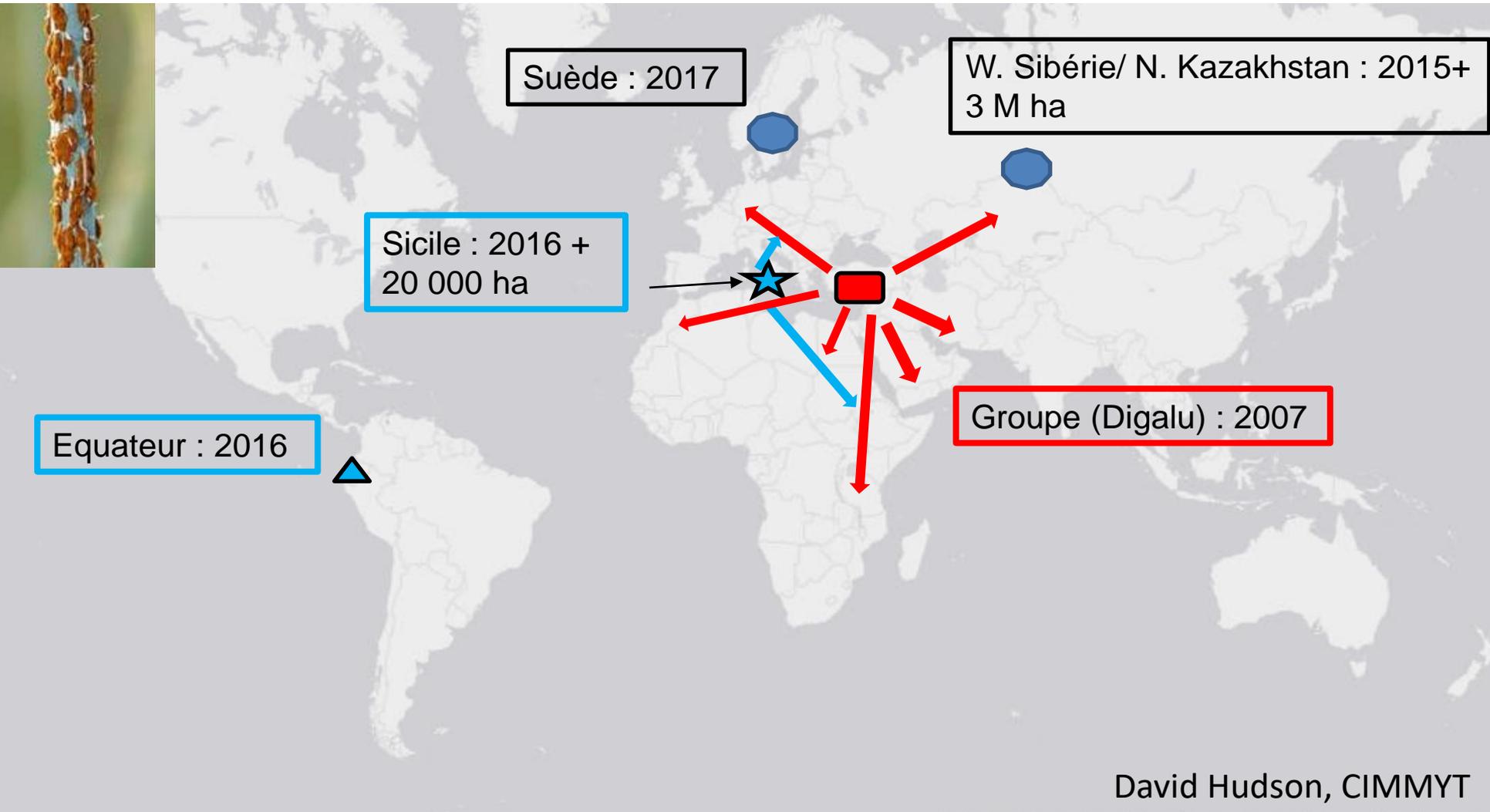


Dispersion de la race Ug99 de la rouille noire du blé : 1998 - 2016

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

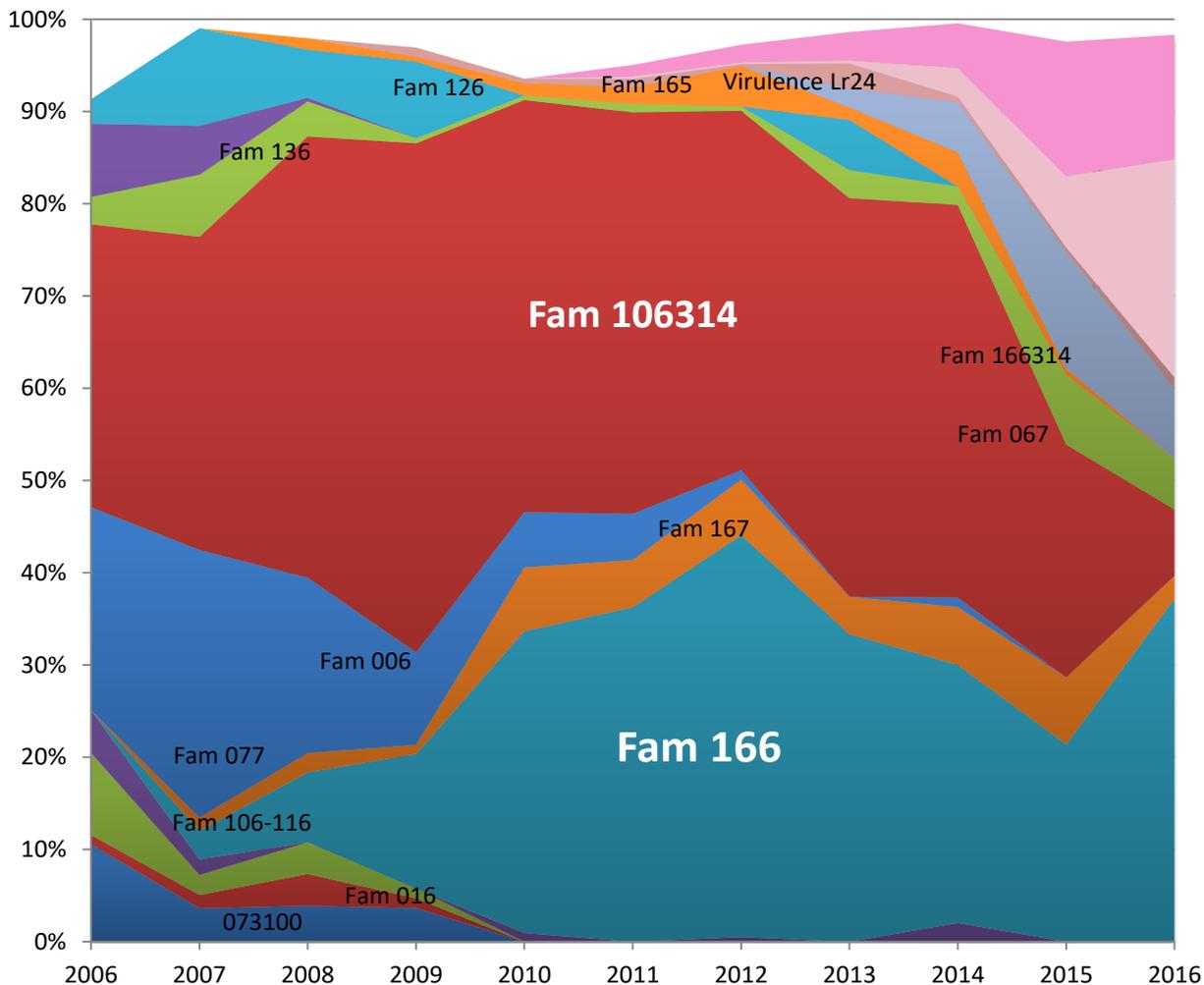
1

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

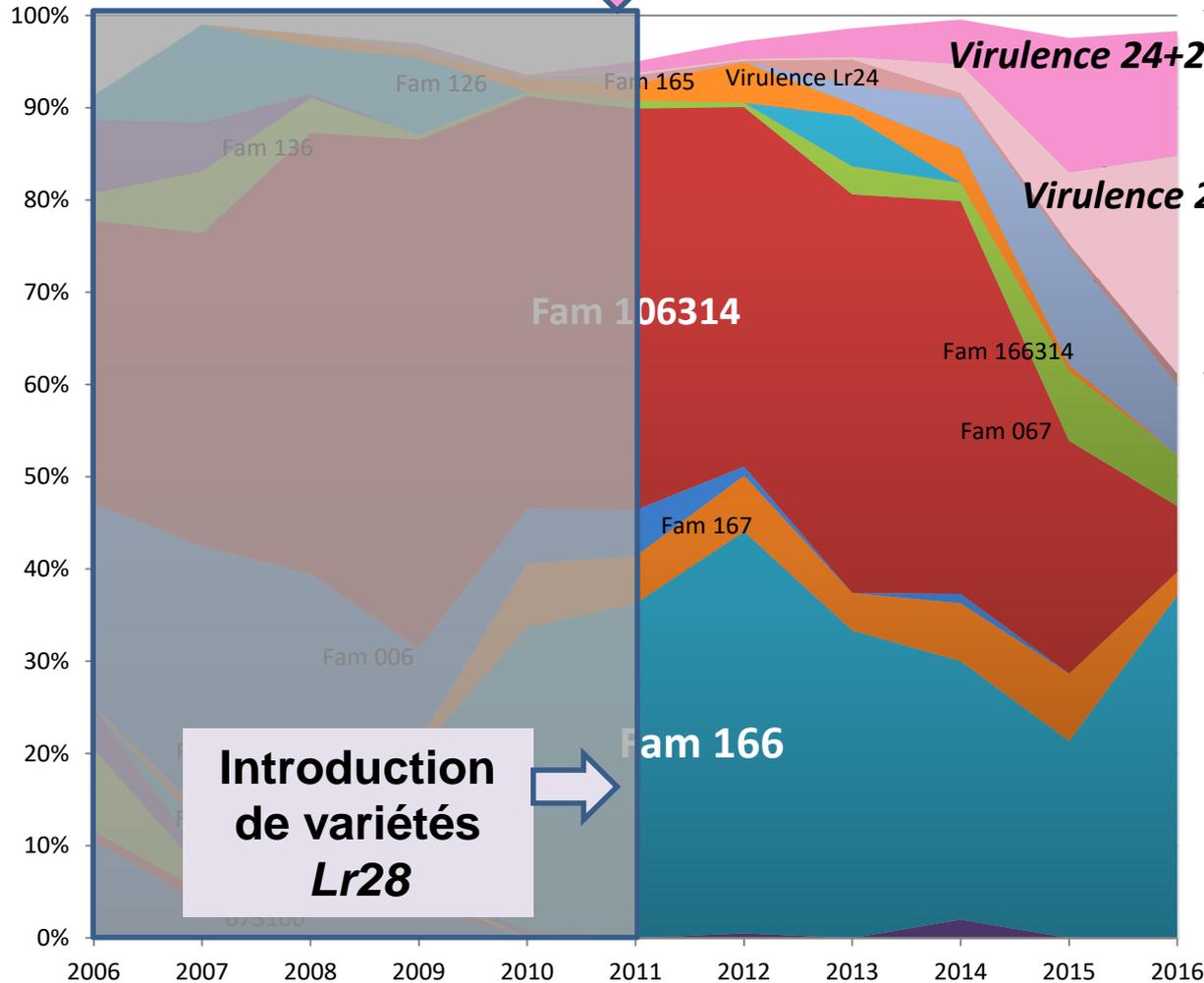


Etoile-sur-Rhône, 2017

Henriette Goyeau, BIOGER

Evolution des familles de races de rouille brune du blé tendre

Détection de la *virulence 28*



7 géotypes SSR
12 races



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

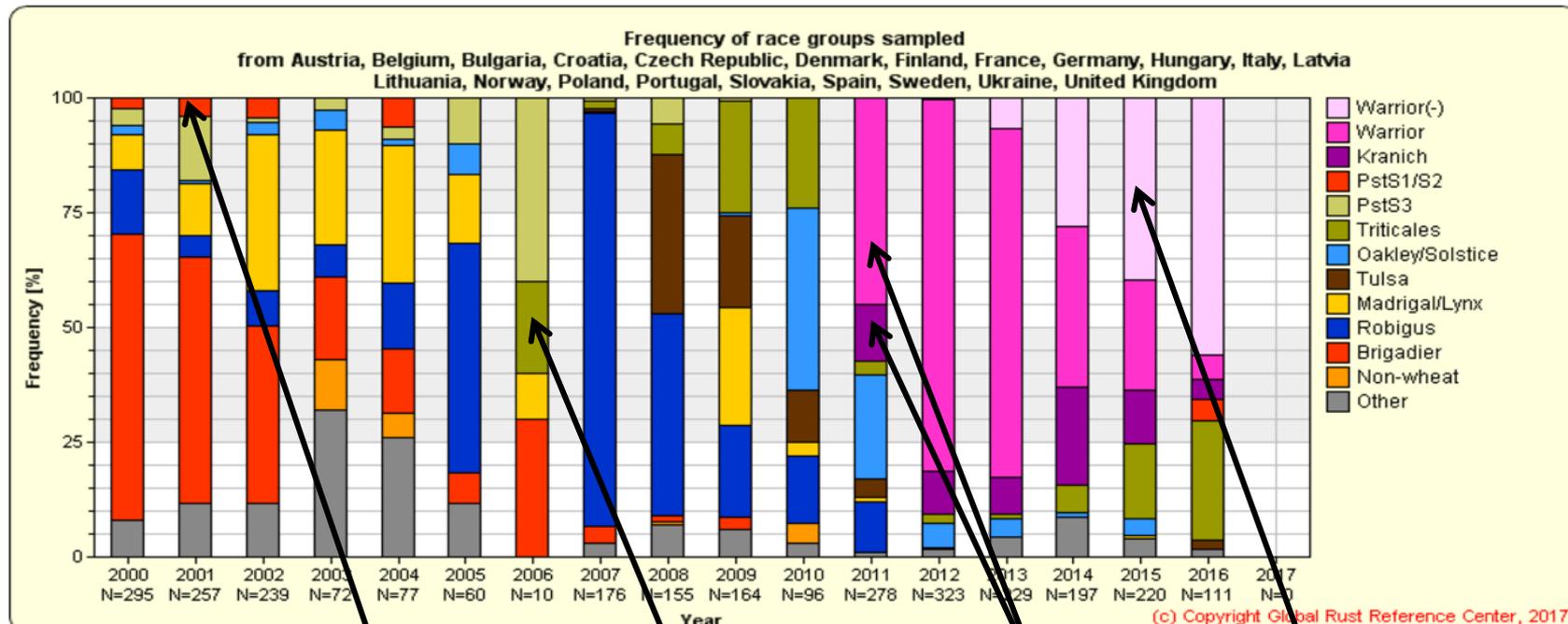
Mode Races Race groups

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 triticales

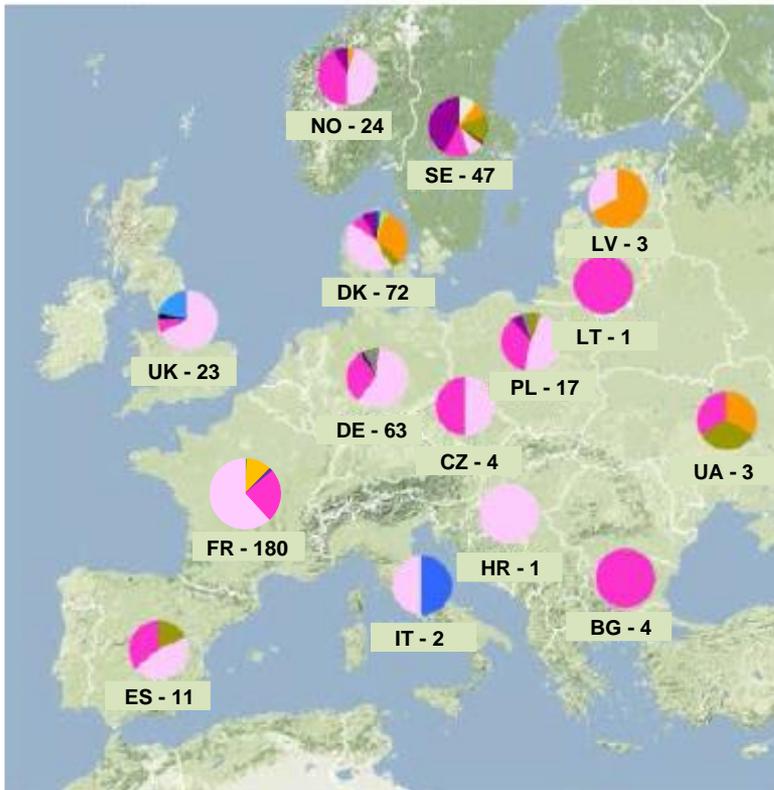
Races Warrior et Kranich depuis 2011

Warrior-

Distribution des races de *P. striiformis* en 2016

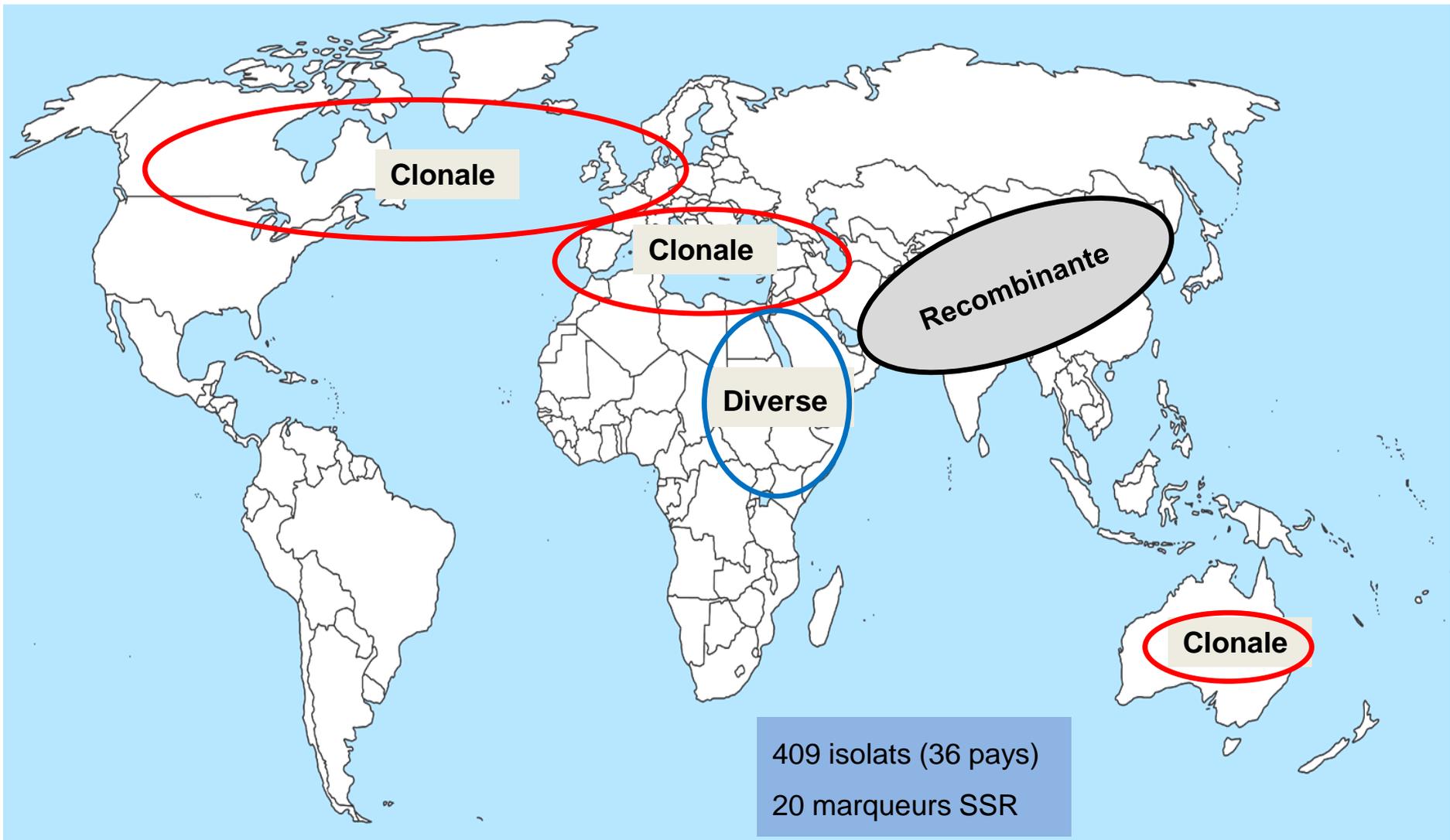
Invasions récentes →

Spectre de virulences



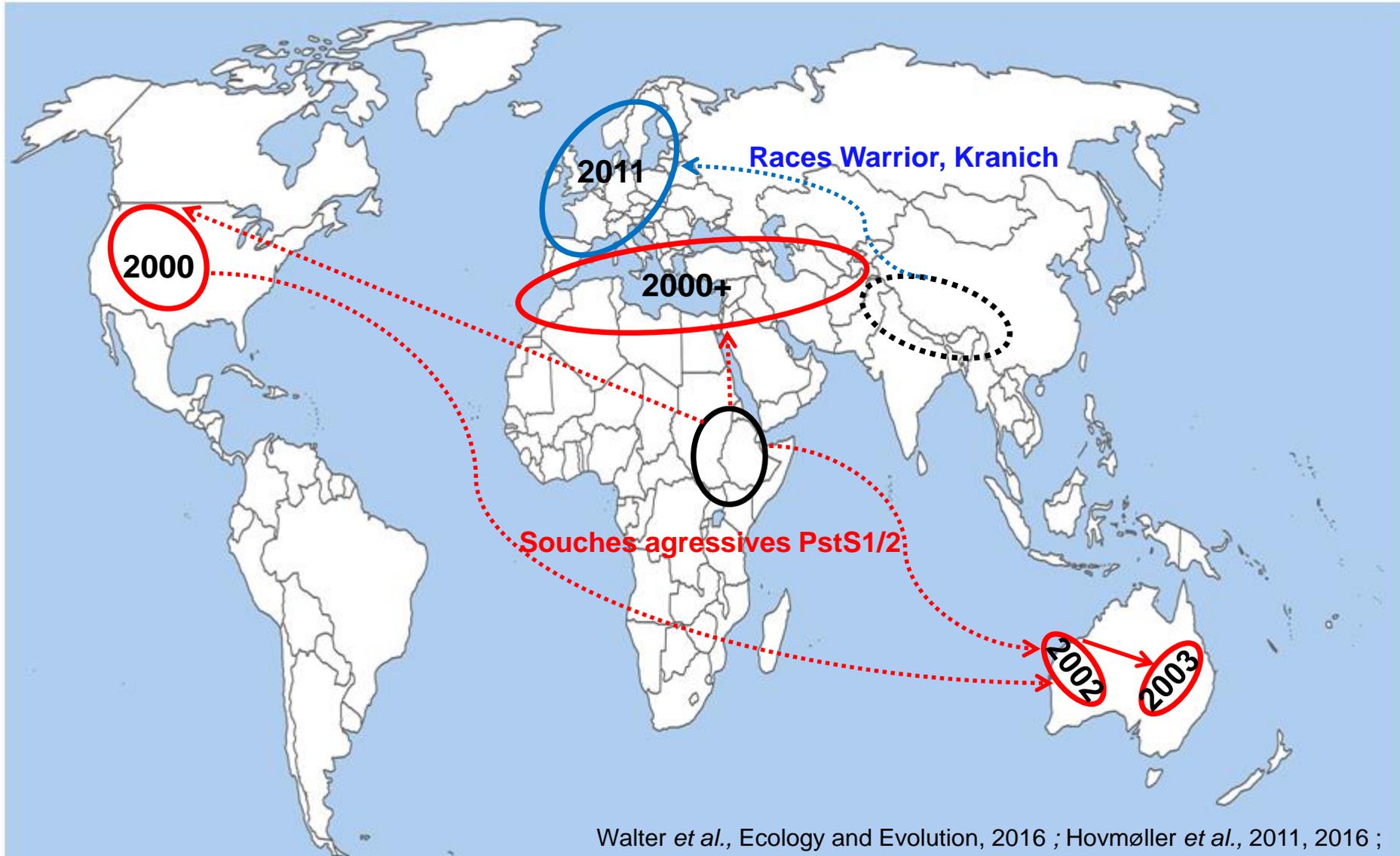
→		PstS14	-	2	-	-	6	7	8	9	-	-	25	32	Sp	-
		PstS3+V2 V25	-	2	-	-	6	7	8	-	-	-	25	-	-	-
		Hereford	-	2	3	-	6	7	8	-	-	-	25	32	-	-
→		Triticale 2006	-	2	-	-	6	7	8	-	10	-	-	-	-	-
→		Triticale 2015	-	2	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-
		Triticale 2016	-	-	-	-	6	-	8	-	-	-	-	-	-	-
		Tulsa	-	-	3	4	6	-	-	-	-	-	25	32	-	-
→		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*

2

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



Walter *et al.*, Ecology and Evolution, 2016 ; Hovmøller *et al.*, 2011, 2016 ; Wellings, 2011 ; Milus *et al.*, 2009 ; Bahri *et al.*, 2009 ; Singh *et al.*, 2016

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^{ère} 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

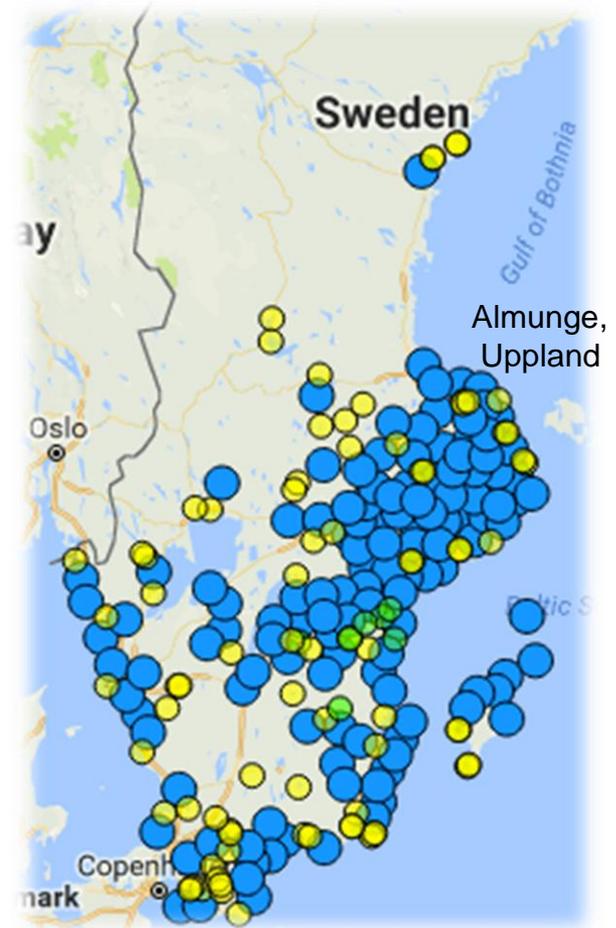
Distribution des *Berberis* en Suède sensibles *et résistantes* à *Puccinia graminis*



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

Berlin *et al.*, en préparation

3

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



***Thalictrum* avec pycnides**

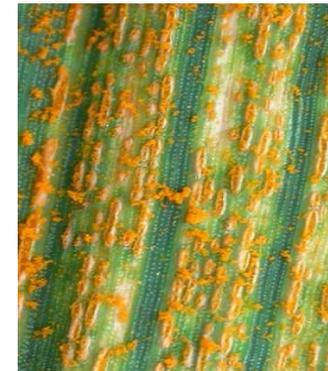
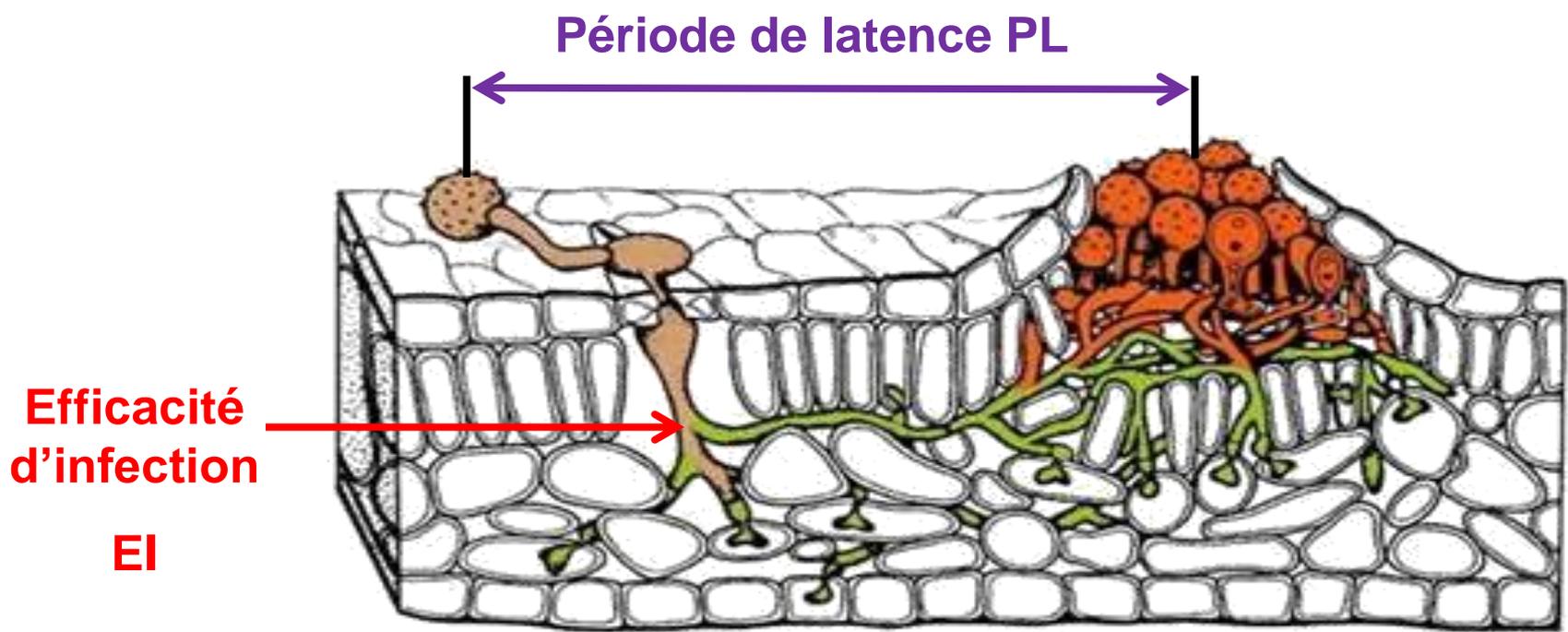
photo Henriette Goyeau

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

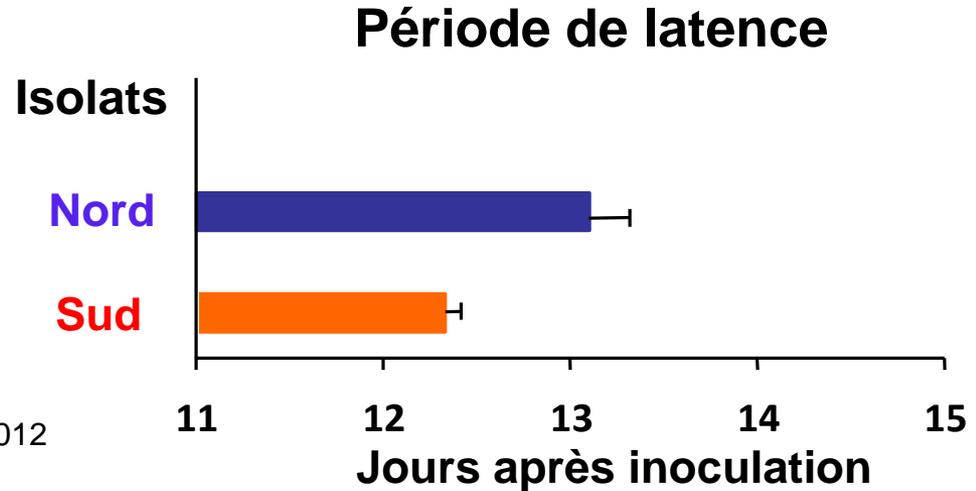


Adaptation à la température de *Puccinia striiformis*

Adaptation locale Nord et Sud de la France avant 2004

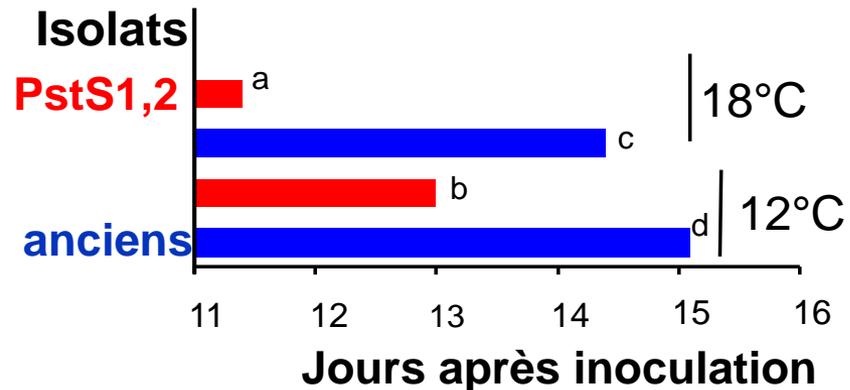


Mboup *et al.*, *Evolutionary Applications*, 2012



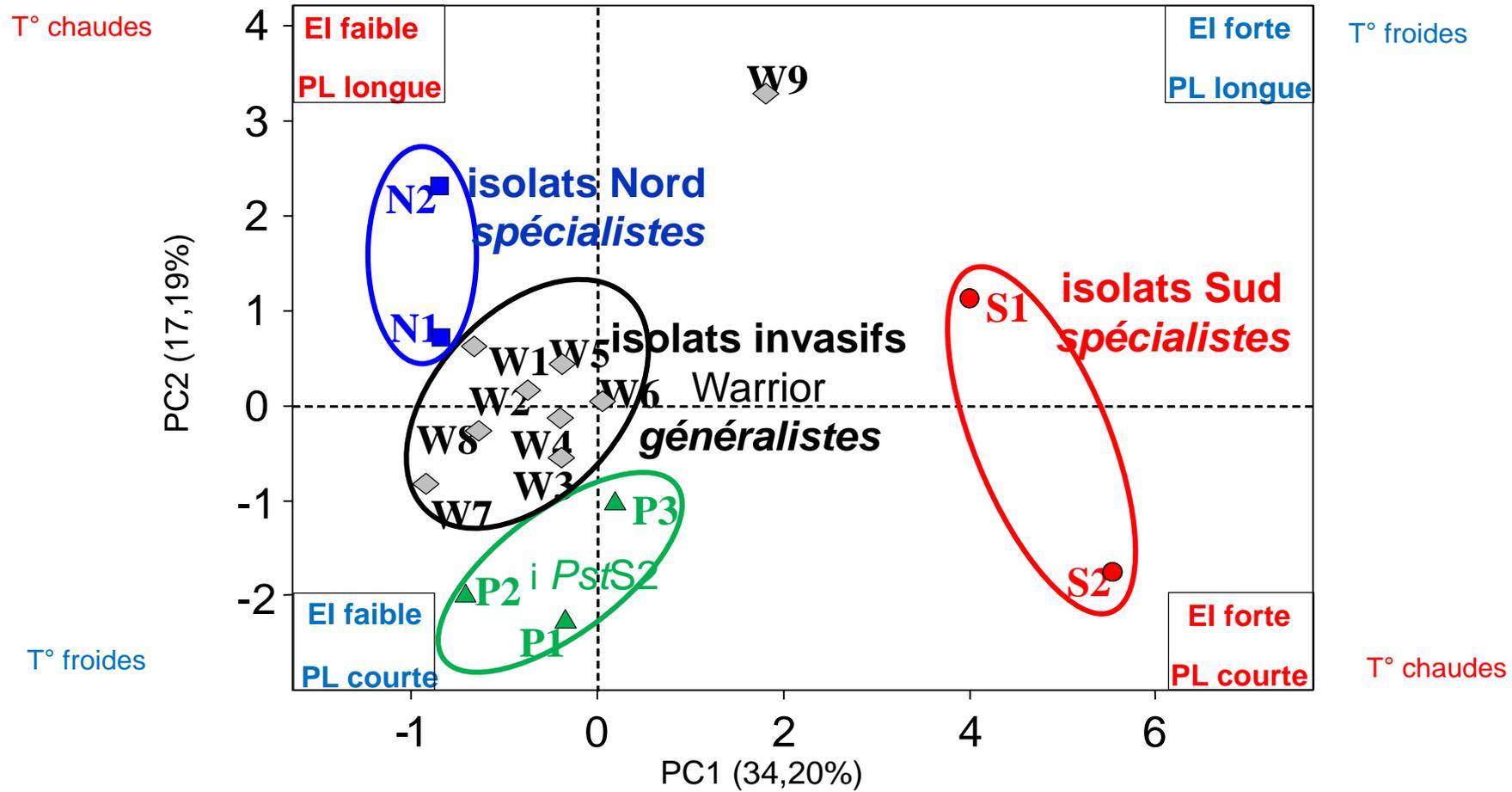
Adaptation à haute température des souches invasives mondiales

isolats Nord Américains
avant 2000; après 2000



Milus *et al.*, *Phytopathology* 2009

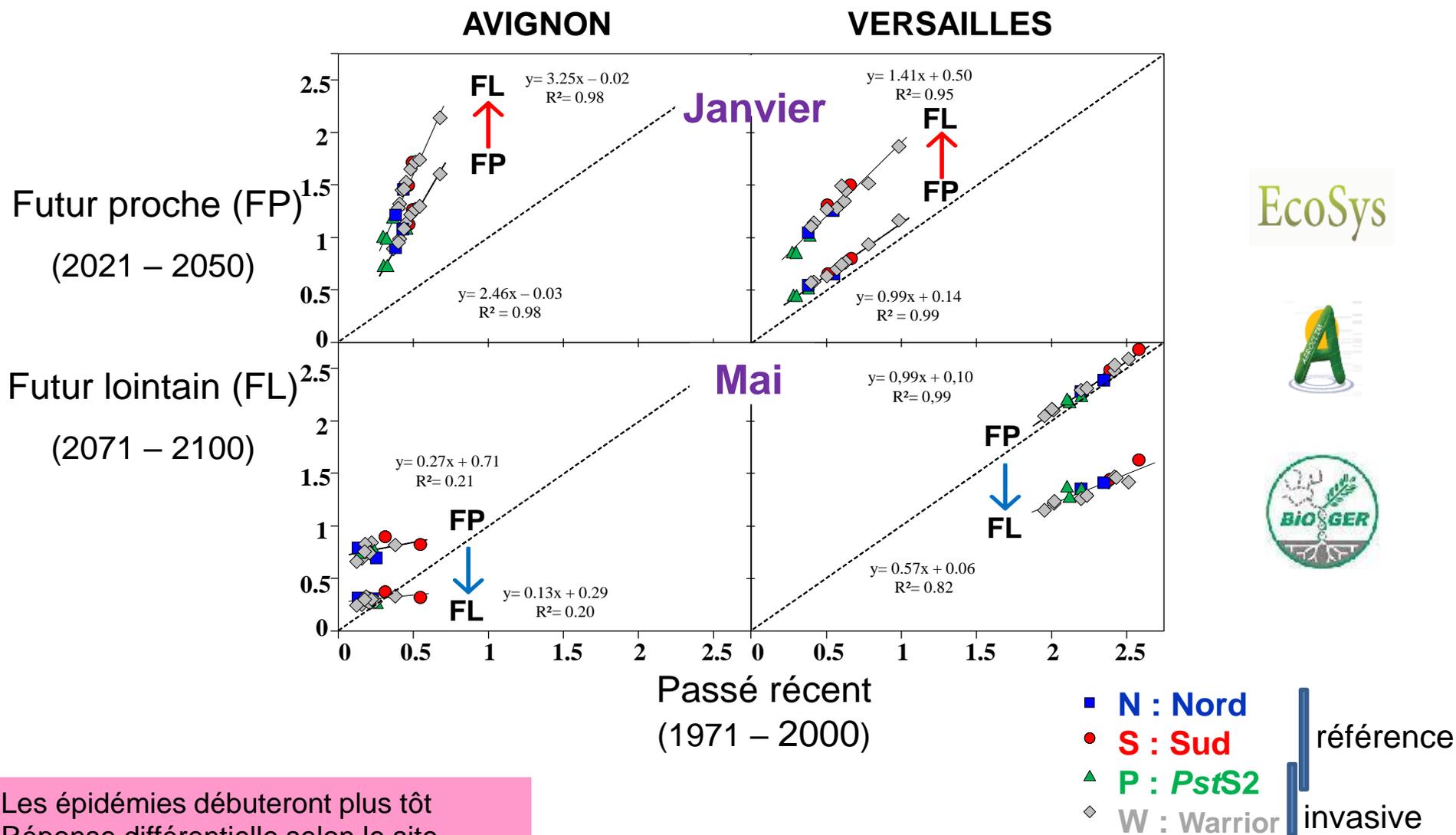
Aptitude à la température des isolats de rouille jaune du blé



EI efficacité d'infection, PL période de latence

Prédiction du risque d'infection dans des scénarios climatiques futurs

16 isolats de rouille jaune



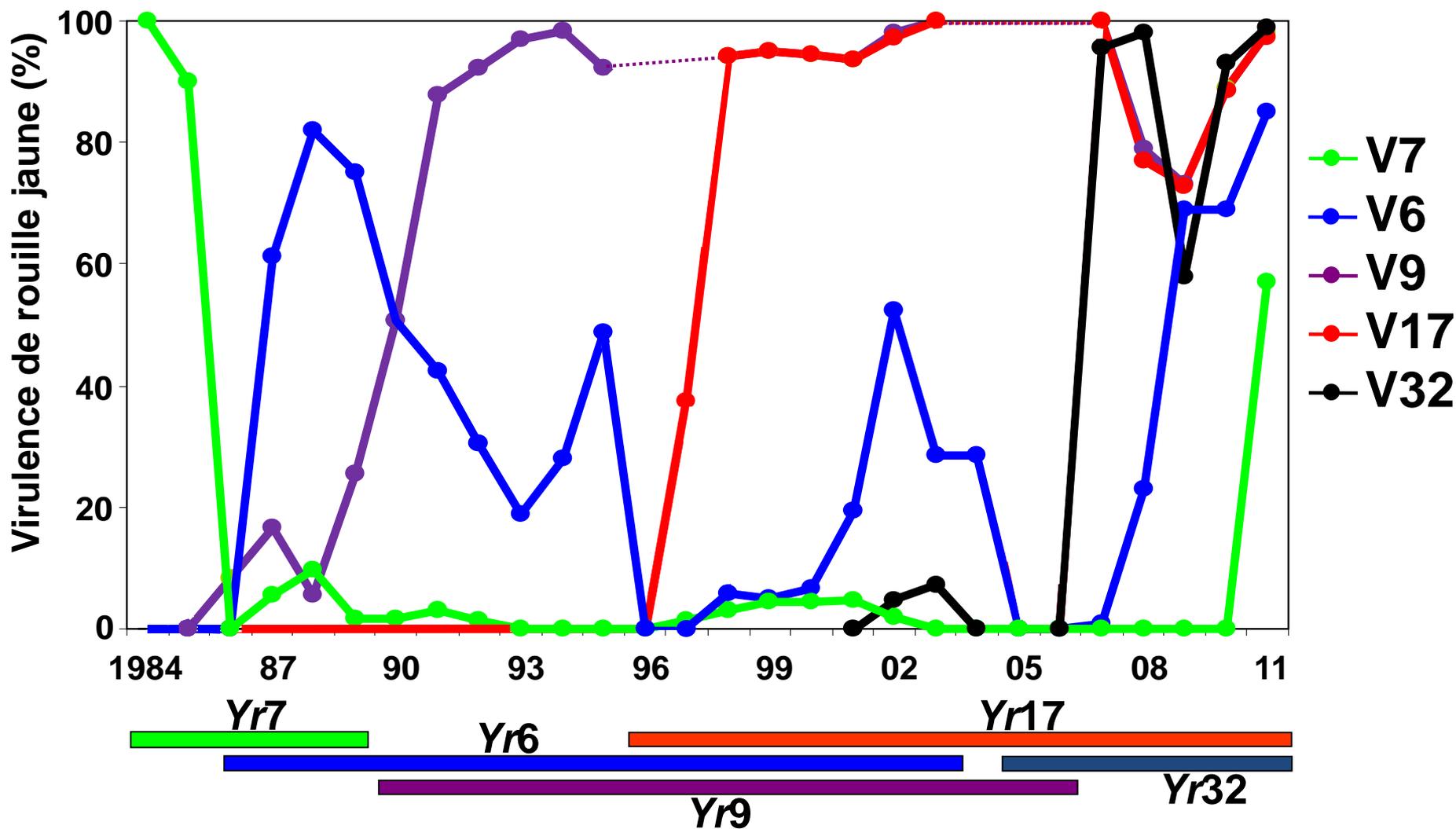
Les épidémies débiteront plus tôt
Réponse différentielle selon le site
Pas d'avantages aux souches invasives

Conclusions

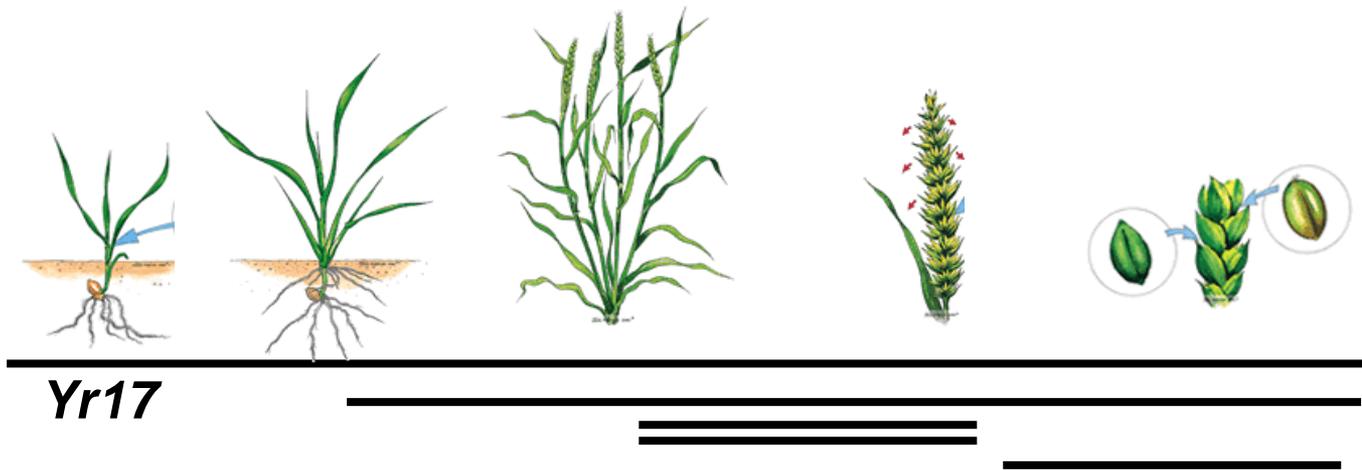
Gestion des gènes de résistance



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-

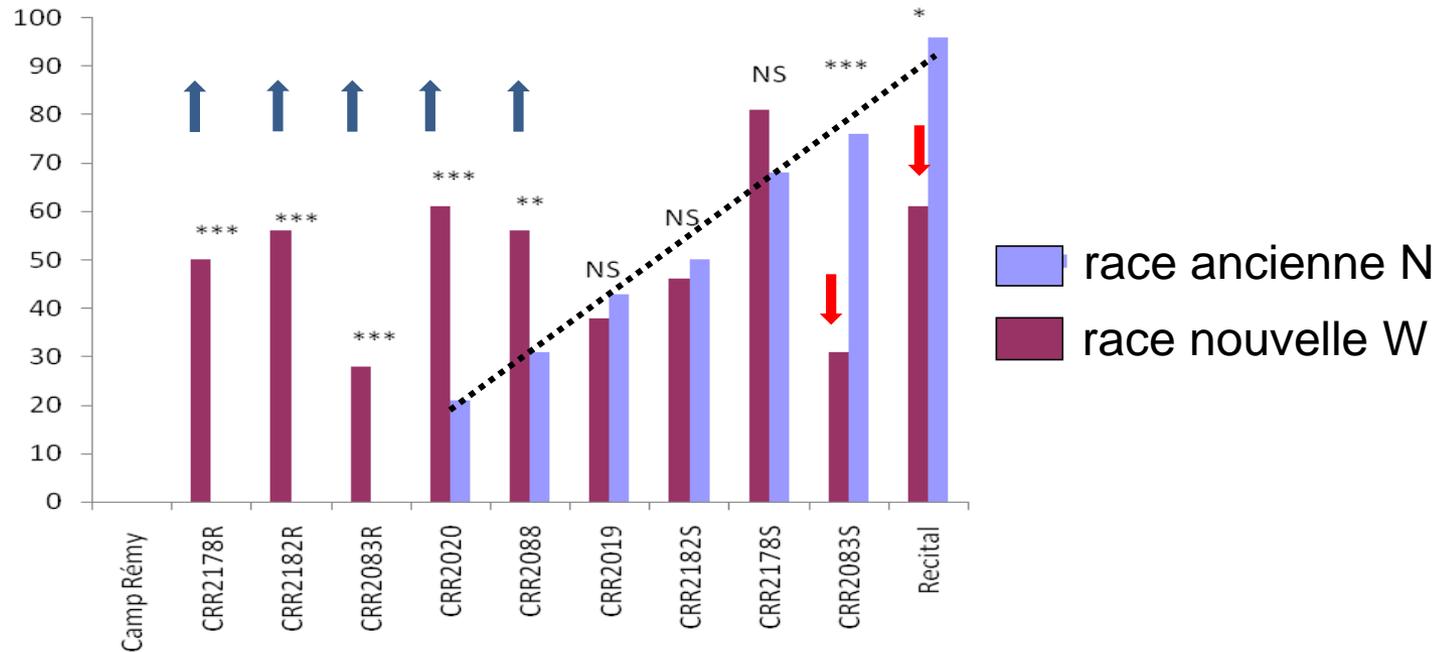
(Paillard *et al.*, 2012)

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*



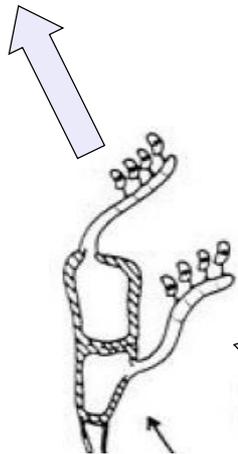
Disponibilité de feuilles
de *Berberis* spp.



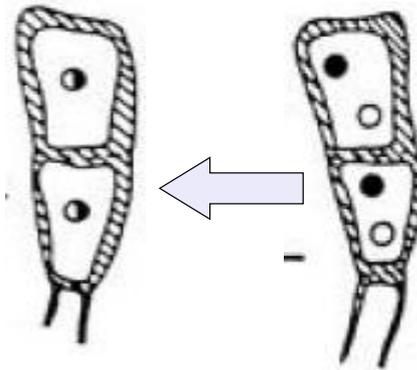
Téliosores sur le blé



Basidiopores (n)

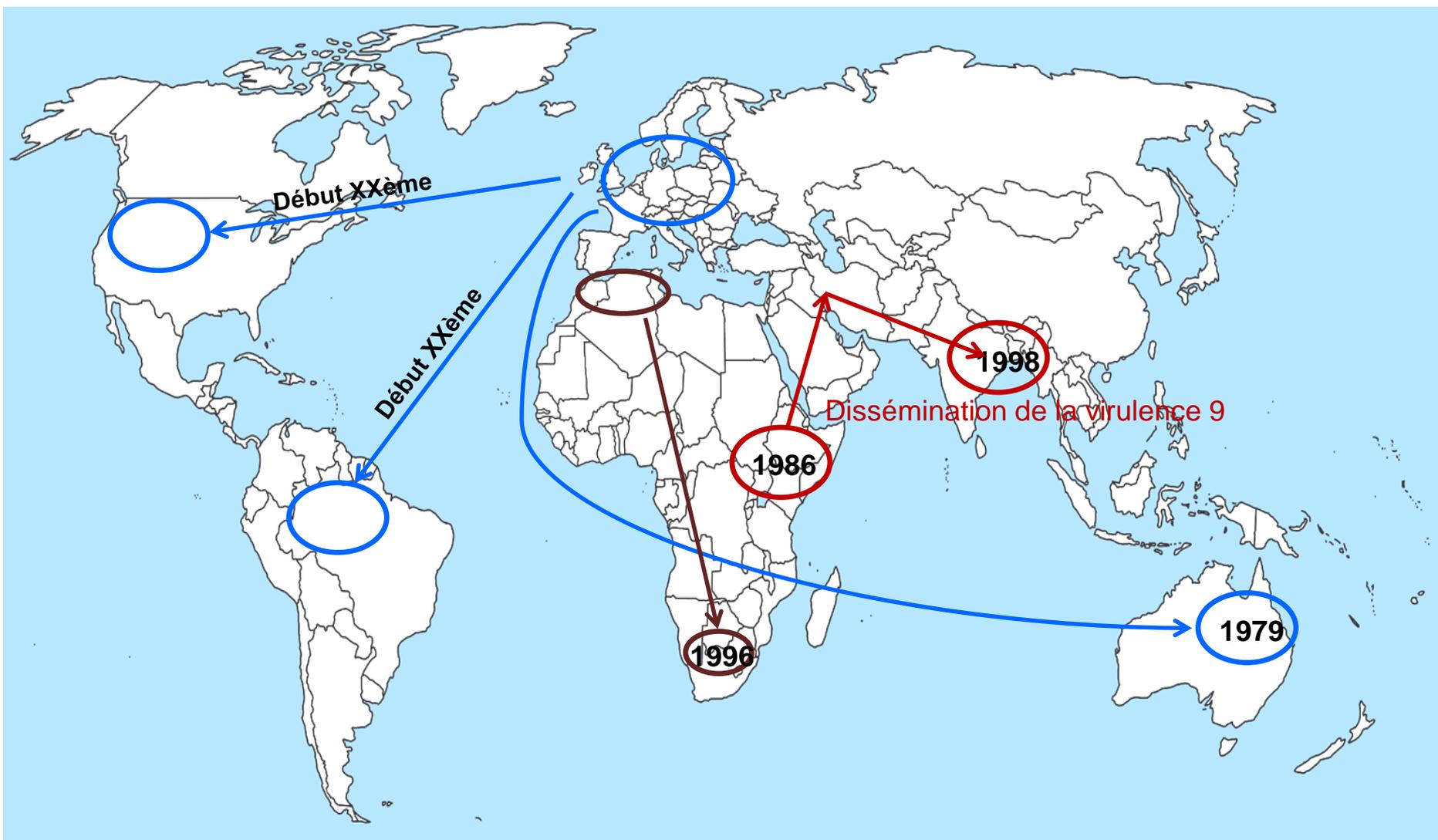


téliospores



Absence de dormance

Routes de migration de *Puccinia striiformis*



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

