

# INRAE



2016-2019



## Recherche de résistances durables à la rouille

### jaune chez le blé dur et le triticale

Fonds de Soutien à l'obtention Végétale



GIE  
*triticale*



ARVALIS  
Institut du végétal



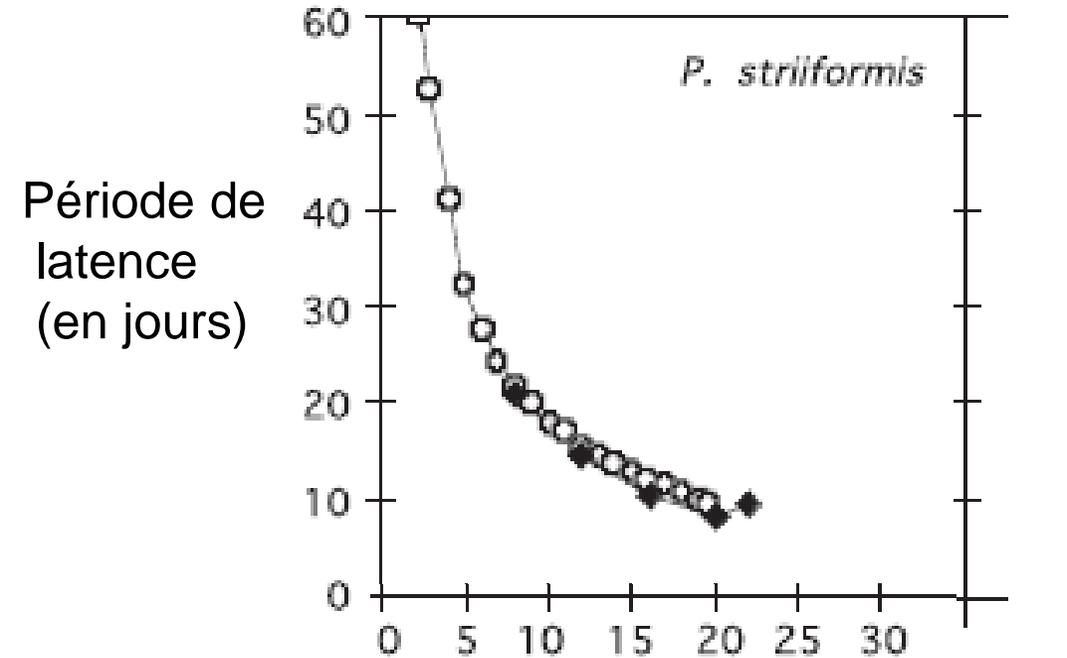
PORTEUR DU PROJET : GIE Blé dur

PARTENAIRES : Florimond Desprez : M. COCHARD, C. JEUDI, V. LAURENT ; Lemaire Deffontaines : E. DELALEAU ; Syngenta seeds : C. ANDRE ; Limagrain : F. LACLOUDRE, C. DUQUE ; RAGT 2n : J-P. LEGOFF, T. LEFEVRE, M. CHAPUS, A. ROULLIER ; Agri-obtentions : F. FANTIN ; INRAE BIOGER : C. POPE, M. LCONTE ; INRAE GDEC, Clermont-Ferrand : A. BOUGUENNEC ; AgroSolutions : S. LEFEVRE ; Arvalis : P. du CHEYRON ; Sicasov : M. LECRIVAIN

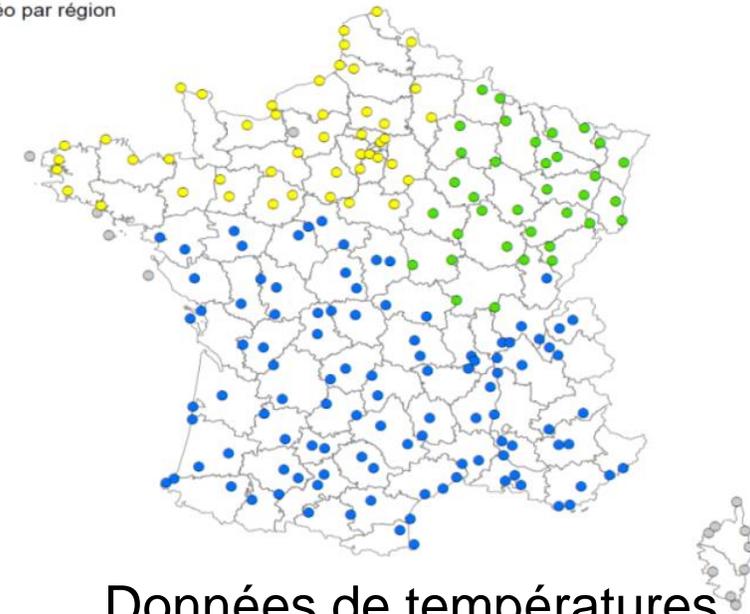
## Questions de recherche

- I - Estimation de l'intensité épidémique les 3 années
- II - Est-ce que les races de rouille jaune diffèrent sur les 3 espèces ?
- III - Identification et stabilité des résistances (variétés, lignées)
  - au stade plantule
  - au stade adulte
    - essais inoculés Arvalis et obtenteurs
    - non inoculés des coopératives, INRAE
- IV - Recherche de QTL de résistance
  
- Livrables / Perspectives

# 1- Estimation de l'intensité épidémique en fonction du climat 2017-2019



Stations météo par région



Données de températures journalières, Météo France

Température journalière moyenne (°C)

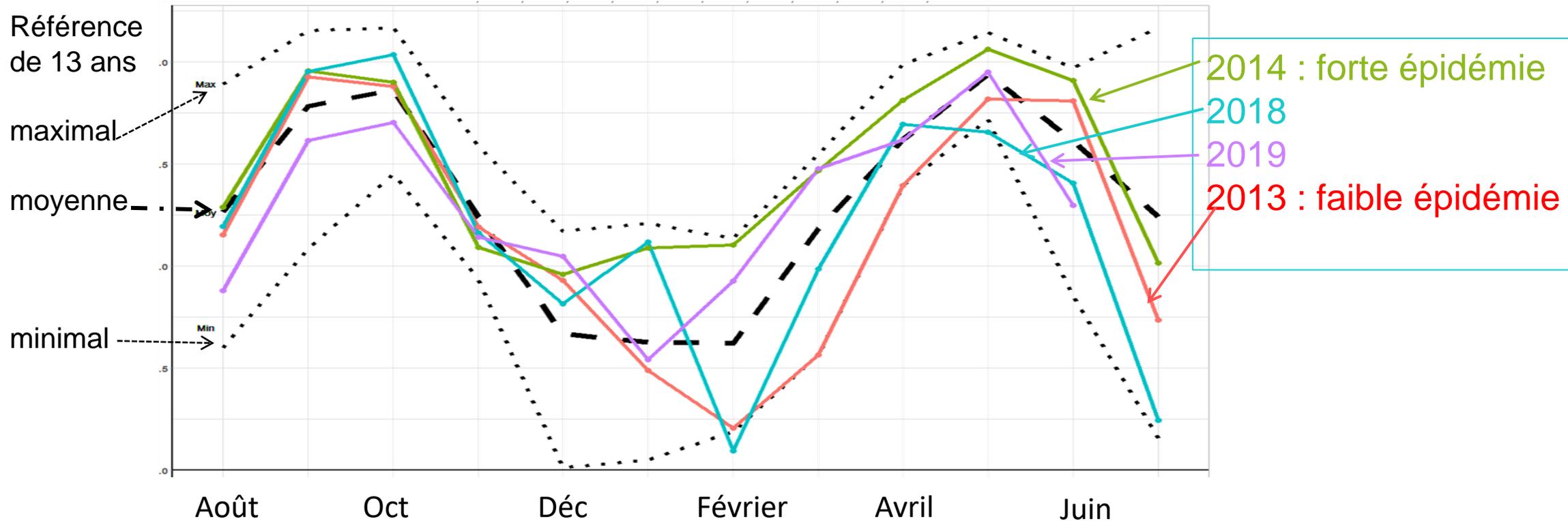
d'après Zadoks (1971) et Rapilly (1976)

***Estimation du nombre de générations mensuelles du parasite***

Lefèvre et al., 2015

# Caractérisation de l'intensité épidémique 2016-19

Nombre de générations mensuelles



Hauts de France et ile de France

 agrosolutions

Lefèvre et al., 2015



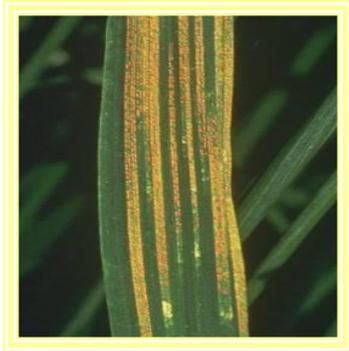
Continuité/ discontinuité d'un climat propice au développement de la rouille jaune

# II- Analyse des populations de *Puccinia striiformis*

## Réception et multiplication des échantillons



### Echantillonnage



JIS 311

Maladie	: Rouille Jaune
N° Département	: 85 (Vendée)
Commune	: LA MATHURIA
Variété	: HYSUN
Personne à contacter (pour l'envoi des résultats)	: Robin Paul
Observateur	: Robin Paul
Organisme	: CAVAC
Date du prélèvement	: 23/06/2015

p.robin@cavac.fr  
06 12 41 31 53

INRAE  
GEVES  
Arvalis  
SRAI / DRAAF  
SDQPV / DGAI  
Chambres d'agriculture  
Sélectionneurs

### Multiplication



Claude Pope, Marc Leconte, Tiphaine Vidal



## II- Répartition variétale des échantillons

### BLE DUR

2016, N = 20 ; 2017, N = 29

2018, N = 11 ; 2019, N = 38

Variété	2016	2017	2018	2019
Miradoux	8	9	5	8
Relief	2	5	2	7
RGT Voilur	2	3	4	11
Luminur	1	3	-	2
Surmesur	-	2	-	1
Casteldoux	-	-	-	3
RGT Anvergur	-	-	-	3

### TRITICALE

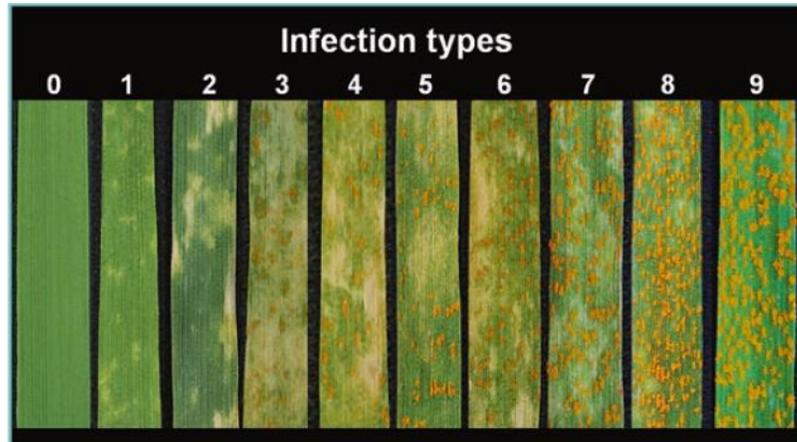
2016, N = 50 ; 2017, N = 39

2018, N = 25 ; 2019, N = 38

Variété	2016	2017	2018	2019
Kaulos	4	8	7	5
Kereon	8	3	2	1
Elicsir	1	3	1	10
Bienvenu	1	2	1	8
KWS Fido	-	2	3	1
Talendro	-	-	2	3
Tribeca	5	-	-	-
Matinal	3	-	-	-
Orval	3	-	-	-
Agostino	2	-	-	-
Bellac	-	-	1	1
Mazur	2	-	-	-
Quatrevent	2	-	-	-
RGT Eleac	-	-	-	2

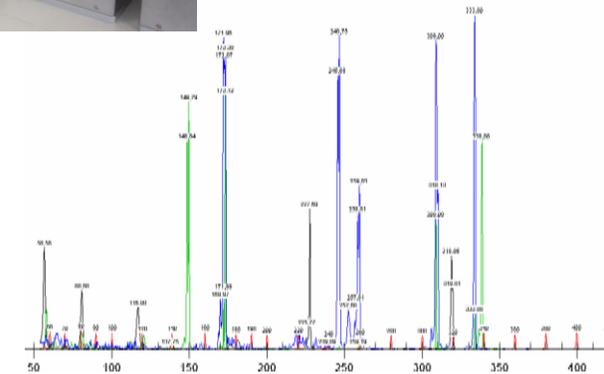
# II- Analyse des populations de *Puccinia striiformis*

## Phénotypage



32 variétés inoculées  
*Races*

## Génotypage



19 Simple Sequence Repeats

*Groupe génétique*



# Races de *Puccinia striiformis*, 2016 - 2019

Groupe génétique

Groupe génétique	Races	Virulences																						
		1	2	3	4	6	7	8	9	10	17	24	25	27	32	SD	SP	Su	Amb	Ster	Aig	Cam	Cre	Ces
<b>PstS7</b>	<b>Warrior1</b>	1	2	3	4	6	7	-	9	-	17	-	25	-	32	Sd (Sp)	Su	Amb	-	Aig	Cam	Cre	-	
<b>PstS10</b>	<b>Warrior(-)V17</b>	1	2	3	(4)	6	7	-	9	-	17	-	25	-	32	Sd	Sp	Su	-	-	-	-	-	Ces
	<b>Warrior(-)A17</b>	1	2	3	(4)	6	7	-	9	-	-	-	25	-	32	Sd	Sp	Su	-	-	-	-	-	Ces
<b>PstS4</b>	<b>Triticale 2006</b>	-	2	-	-	6	7	8	9	10	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PstS13</b>	<b>Triticale 2015</b>	-	2	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-	-	(Sp)	Su	-	-	-	-	-	-
	<b>Triticale 2016</b>	-	2	3	-	6	7	(8)	9	-	-	-	25	-	-	-	(Sp)	Su	-	-	-	-	-	-

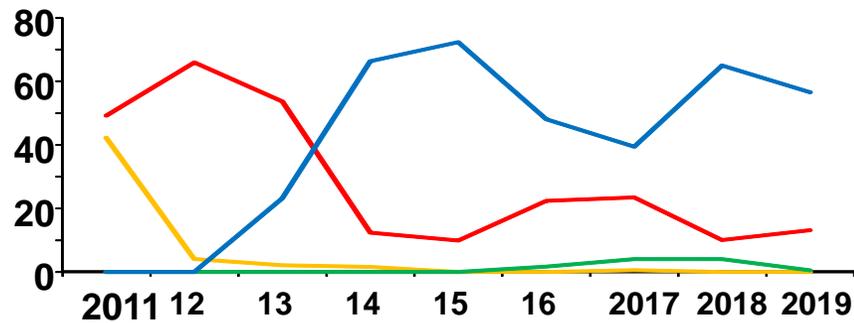
Nemo

SD = Strubes Dickkopf, SP = Spaldings Prolific, Su = Suwon 92 x Omar, Amb = Ambition, Ster = Sterling, Aig = Aigle, Cam = Caméléon, Cre = Creek, Ces= RGT Cesario

## II- Fréquence des races de rouille jaune, 2011 - 2019

Races  
(%)

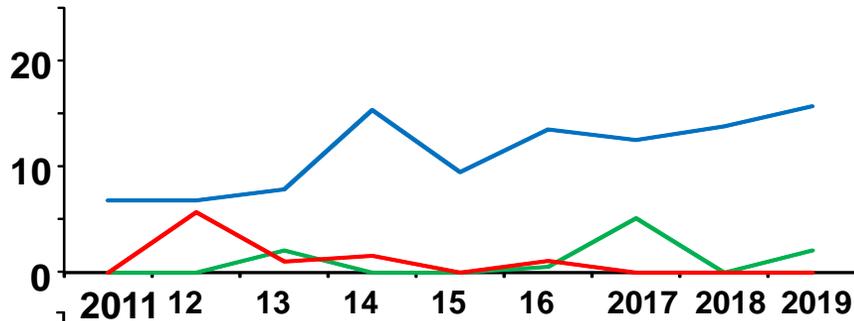
Blé tendre



PstS0 Nord-Europe a disparu

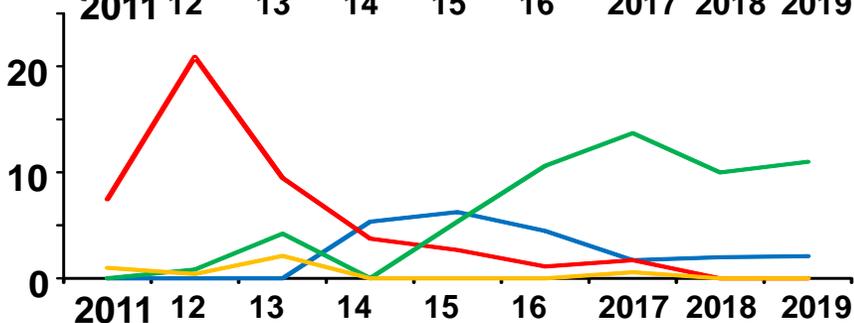
PstS7 W1 a presque disparu

Blé dur



PstS10 W(-) domine sur blé dur et blé tendre  
variants AV17, AV Nemo

Triticale



PstS13 Tri205 domine sur triticale

Années

## II- Aptitude thermique des isolats

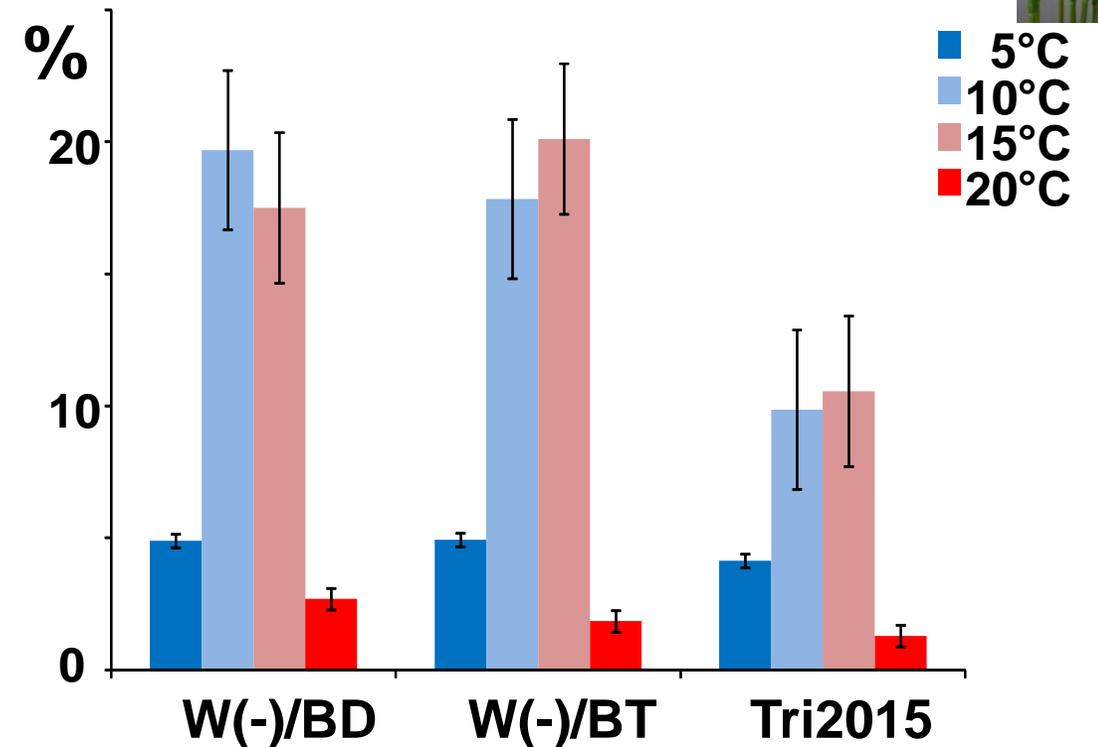
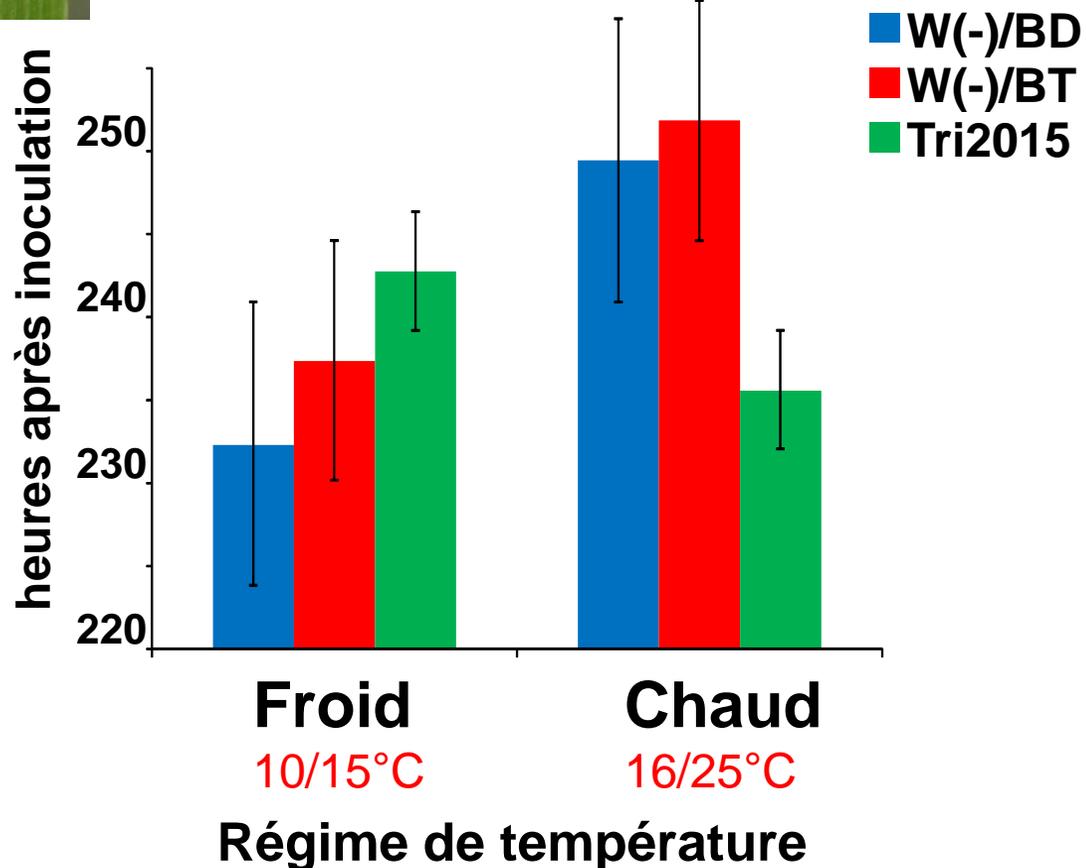


Période de latence : entre inoculation et sporulation    Efficacité d'infection : chloroses / spores inoculées



*Triti2015 plus rapide au chaud*

*W(-) : EI supérieure à 10° et 15°C*



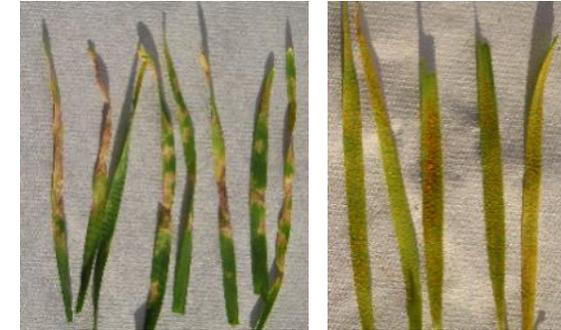
# III- Résistance des variétés de blé dur aux principales races

## Stade plantule – FSOV 2019



### Panel

Variété	Sensible	Résistant	Sensible			Gènes
	à toutes les anciennes races	à toutes les anciennes races	Trit 2015	W1	W-	
					A17 ANémo	
ANVERGUR	-	X	-	-	-	Résistante
CASTELDOUX	-	X	-	-	X	-
FABULIS	-	-	-	X	X	6+
LUMINUR	X	-	X	X	X	-
MIRADOUX	-	-	-	-	X	6+
NOBILIS	-	X	-	-	-	Résistante
PASTADOU	-	-	X	-	X	-
RELIEF	-	X	-	-	-	Résistante
RGT NOMUR	-	X	-	-	-	Résistante
GLUCODUR	-	X	-	-	-	Résistante



13 races *Pst* testées

### Autres variétés

Variété	Sensible	Résistant	Sensible			Gènes
	à toutes les anciennes races	à toutes les anciennes races	Trit 2015	W1	W-	
					A17 ANémo	
HERAKLION	-	X	-	-	-	Résistante
PESCADOU	-	-	-	-	X	-
RGT VOILUR	-	-	X	-	X	-
SURMESUR	-	-	X	-	X	-
TOSCADOU	-	X	-	-	-	Résistante

des variétés résistantes aux anciennes et nouvelles races

# III- Résistance des variétés de triticales aux principales races

## Stade plantule – FSOV 2019



### Panel

Variété	Résistant	Sensible à					Gènes
	à toutes les anciennes races	Trit 2015	W1	W-			
				A17 ANémo	V17 ANémo	A17 VNémo	
ANAGRAM	X	-	-	-	-	-	Résistante
BIENVENU	X	X	-	-	-	-	-
COSINUS	X	-	-	-	-	-	Résistante
GD11CF2	X	-	-	-	-	-	Résistante
KAULOS	-	X	-	-	-	-	6 ou 7+
KEREON	X	-	-	X	X	-	-
MAXIMAL	X	X	-	X	-	-	-
RT 10013	X	X	-	-	-	-	-
SW TALENTO	X	X	X	X	X	X	-
TREFL	X	X	-	-	-	-	Résistante
TRISKELL	X	-	-	-	-	-	Résistante
VUKA	X	-	-	-	-	-	Résistante

variétés résistantes aux anciennes races

### Autres variétés

Variété	Résistant	Sensible			Gènes
	à toutes les anciennes races	Trit 2015	W1	W-	
				A17 ANémo	
BIKINI	X	-	-	-	Résistant
BREHAT	X	-	-	-	Résistant
CARMELO	X	X	-	-	-
ELCSIR	X	-	-	-	Résistant
GD 13TH27	X	-	-	-	Résistant
JOKARI	X	-	-	-	Résistant
KASYNO	X	X	-	X	-
KWS FIDO	X	X	X	-	6 ou 7+
RAMDAM	X	-	-	-	Résistant
RGT BIVOUAC	X	-	-	-	Résistant
RGT ELEAC	X	-	-	-	Résistant
RGT OMEAC	X	-	-	-	Résistant
RGT RUMINAC	X	-	-	-	Résistant
RIVOLT	X	-	-	-	Résistant
TRIBECA	X	X	-	-	-
TRICANTO	X	-	-	-	Résistant
VIVIER	X	-	-	-	Résistant
VOLKO	X	-	-	-	Résistant



# III- Résistances adultes des panels de variétés de blé dur

Notes de sévérité de rouille jaune, en % de la moyenne des variétés sensibles (Victo, Récital, Toisonдор, Talent)

- Blé dur sensible à W1, W(-) et Tri2015
- Nobilis totalement résistant à toutes les races présentes
- Bonne résistance partielle de Casteldoux, Fabulis, Ovidio, Pastadou, RGT Nomur, Glucodur et Anvergur

25 essais

ARVALIS

Institut du végétal

agrosolutions

Arterris

Ocealia

INRAE

GIE Blé dur

 résistant

 sensible

		Races postulées	T15	W-	W1	T15 W1	W1W-Nemo	W1W-
		nb essais	3 essais	7 essais	5 essais	3 essais	5 essais	2 essais
Blé tendre	révélateur	TOISONDOR	82	96	101	105	107	110
		VICTO	120	115	126	131	123	130
		RECITAL	82	100	94	110	89	110
		CREEK	0	2	27	66	18	61
		AMBITION	0	5	69	78	36	90
		NEMO	0	11	2	16	75	32
Panel blé dur	LUMINUR	110	87	64	60	81	50	
	RELIEF	69	48	29	20	52	62	
	MIRADOUX	36	58	28	35	50	59	
	CASTELDOUX	26	32	20	25	19	74	
	FABULIS	26	31	12	20	19	77	
	RGT NOMUR	23	21	11	24	21	52	
	OVIDIO	37	20	11	27	13	42	
	PASTADOU	14	11	5	10	15	52	
	GLUCODUR	13	8	3	8	14	47	
	ANVERGUR	0	10	3	2	12	44	
	NOBILIS	1	0	0	0	2	7	

# III- Résistances adultes des panels de variétés de triticales

Notes de sévérité de rouille jaune en % de la moyenne des variétés sensibles (Victo, Récital, Toisondor, Talent)

- Triticale est peu sensible à W1, mais sensible W(-) et Tri2015
- Triskell et Vuka résistants à toutes les races présentes
- Anagram et GD13th27 sont assez résistants
- Bienvenu est très sensible à Tri2015 mais résistant à W(-)

30 essais



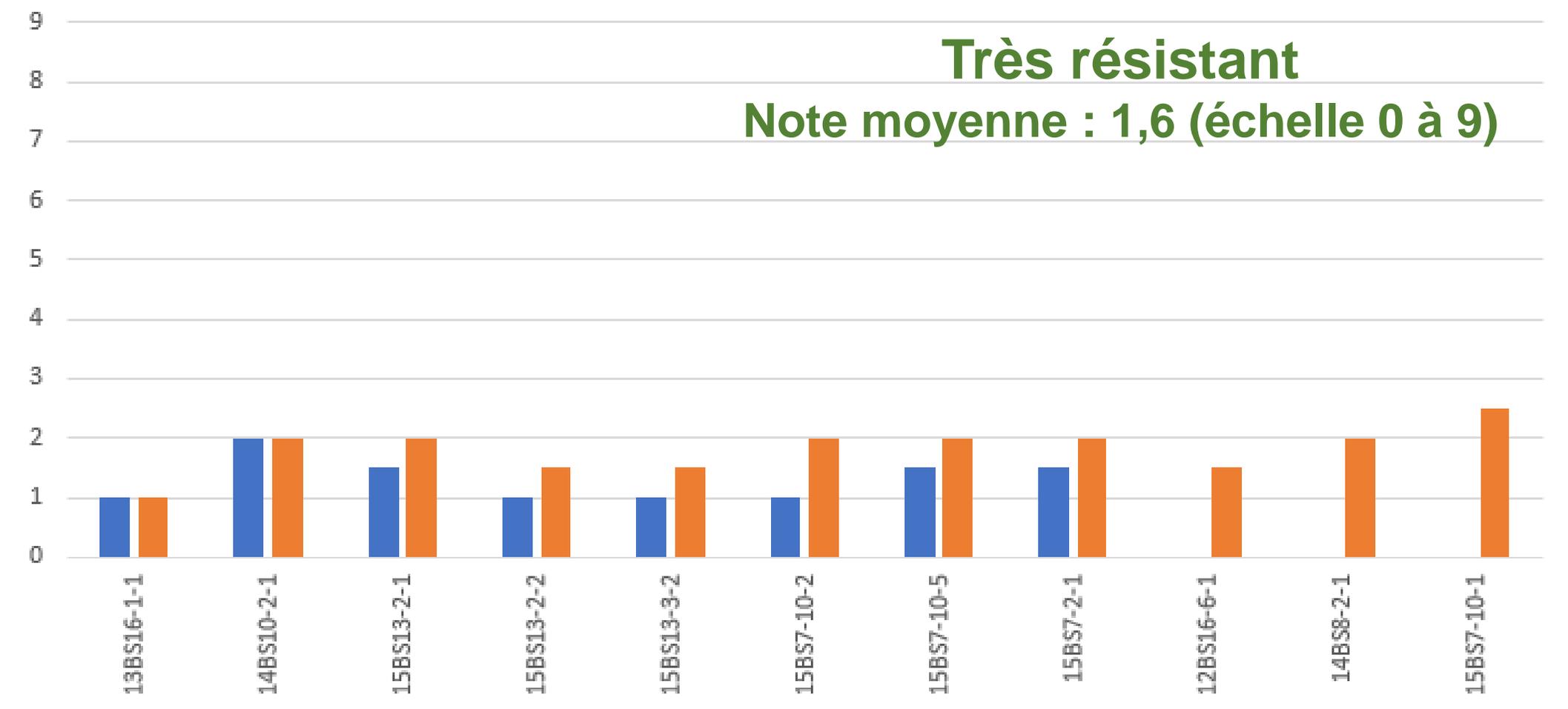
 résistant  
 sensible

Races postulées		T15	W-	W1	T15 W1	W1W-VNémo	T15 W-Nemo
nb essais		11 essais	6 essais	2 essais	7 essais	3 essais	1 essai
<b>Blé tendre révélateur</b>	VICTO	111	126	153	122	138	115
	RECITAL	67	109	96	106	89	99
	TOISONDOR	52	104	132	89	124	71
	CREEK	0	1	48	50	17	5
	AMBITION	1	4	102	66	60	16
	NEMO	1	9	0	29	91	71
	TALENT	10	53	71	65	42	77
<b>Triti. révé.</b>	SW TALENTRO	157	62	20	83	49	115
	BIENVENU	117	6	0	55	9	99
<b>Panel tritricale</b>	KAULOS	97	36	15	66	27	82
	RT 10013	110	42	0	60	19	88
	COSINUS	37	30	0	60	11	55
	KEREON	35	22	13	45	11	55
	MAXIMAL	18	16	0	49	9	77
	TREFL	46	17	0	31	5	55
	ANAGRAM	30	3	0	22	2	38
	GD13th27	14	4		8	2	11
	VUKA	3	1	0	2	0	5
	TRISKELL	0	0	0	3	0	0



# III- Phénotypage des triticales primaires au champ

Sévérité à la rouille jaune



■ Tri2015      ■ W1

# IV- Recherche de QTL de résistance chez le Triticale

Christophe Jeudi (GIE triticale) et les obtenteurs :  
Florimond Desprez, Lemaire Deffontaines,  
RAGT2n, Agri Obtentions  
Annaig Bouguennec, INRAE GDEC

Génotypage : Valérie Laurent, Florimond Desprez



## IV- Phénotypage au champ des populations de triticales

- 4 populations de lignées recombinantes, Résistante x Sensible, issues de Single Seed Descent ou HaploDiploïdisation

Maximal x Sw Talentro (HD) (INRAE)

Vuka x Kaulos (SSD) (R2n)

Vuka x RT10013 (SSD) (R2n)

Vuka x Trefl (SSD) (AgriObtentions)

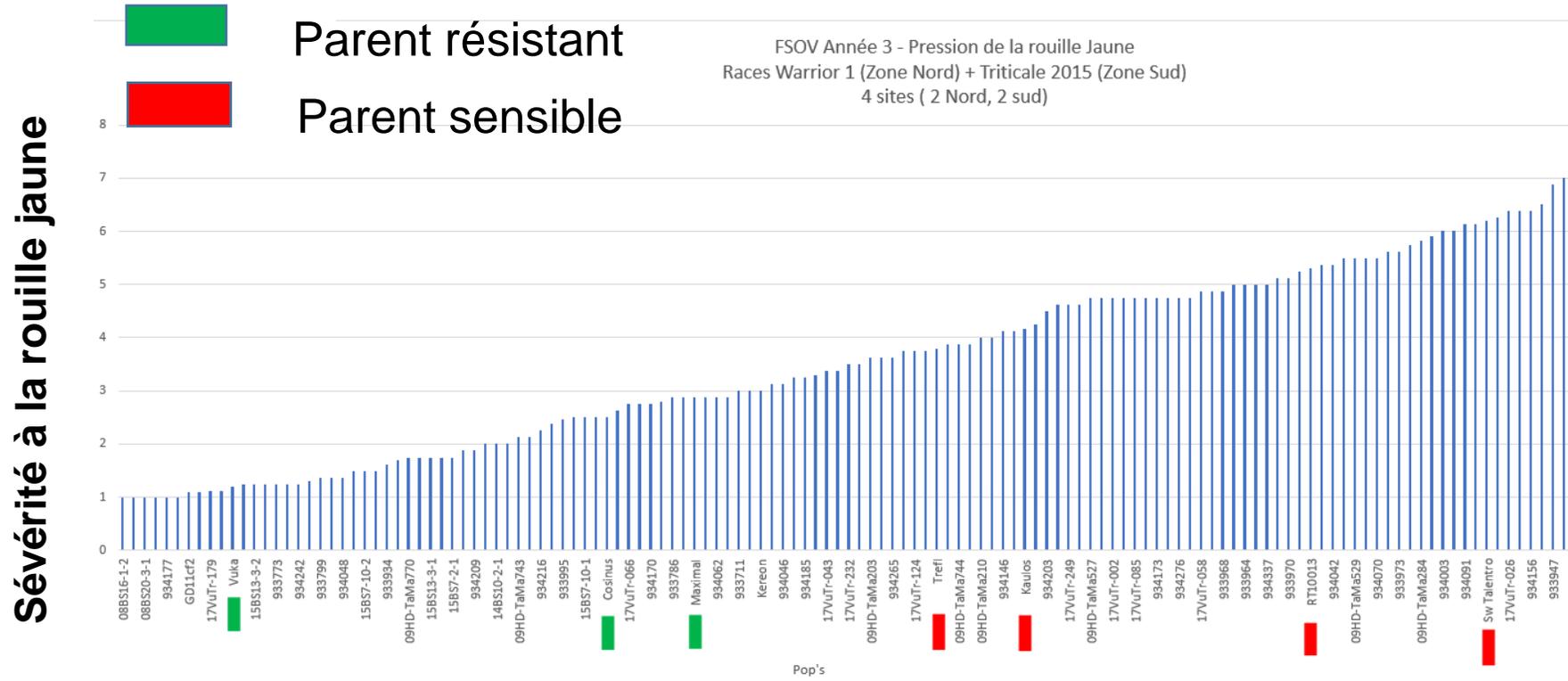
- 200 descendants /population
- 3 races , 1 race / essai
- 4 lieux par population, 2 années

Implantation des essais de résistance adulte des populations de triticales

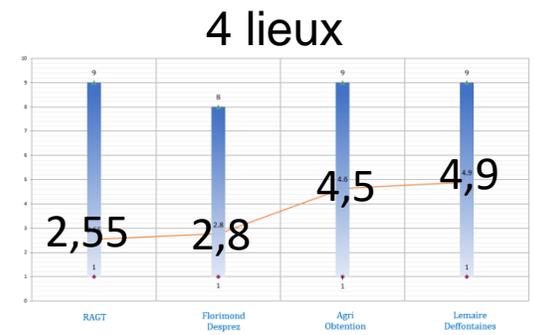
Sites	Zone	Dept	Année 1	Année 2
Cappelle en Pévèle	Nord	59	Warrior 1	Warrior 1
Auchy Lez Orchies	Nord	59	Warrior 1	Warrior 1
Druelle	Sud	12	Warrior -	Tri 2015
Clermont Ferrand	Sud	63	W1 et W-	Tri 2015

# IV- Phénotypage des populations de triticales au champ

## Exemple de ségrégation sur feuilles : résistance quantitative



2019, 4 populations inoculées par W1 (2 sites Nord) et par Tri2015 (2 sites Sud)



# IV- QTL de résistance à la rouille jaune - triticale

## ○ Carte

- 4 cartes de marqueurs DaRT présentant une bonne colinéarité entre elles

## ○ QTL

- **1 QTL majeur sur le chromosome 6R** explique jusqu'à 52,7 % de la résistance au niveau des feuilles (LOD 35) et 57% de la résistance au niveau de l'épi
- identifié sur les 4 populations les 2 années dans les 4 lieux
- donneurs du QTL : **Vuka et Maximal**, avec des effets de -3,9 et -2,32 pour la note de résistance des feuilles et de -4,2 et -1,63 pour la note de résistance de l'épi
- Confirmation par génétique d'association

## IV- Recherche de résistances chez le blé dur

Michael Cochard (GIE blé dur) et les obtenteurs :  
Florimond Desprez, Limagrain, R2n et Syngenta

Génotypage : Valérie Laurent, Florimond Desprez



## IV- Recherche de QTL de résistance chez le blé dur

4 populations Résistante X Sensible

Nobilis x Fabulis (*Limagrain*)

RGT Nomur x Miradoux (*R2n*)

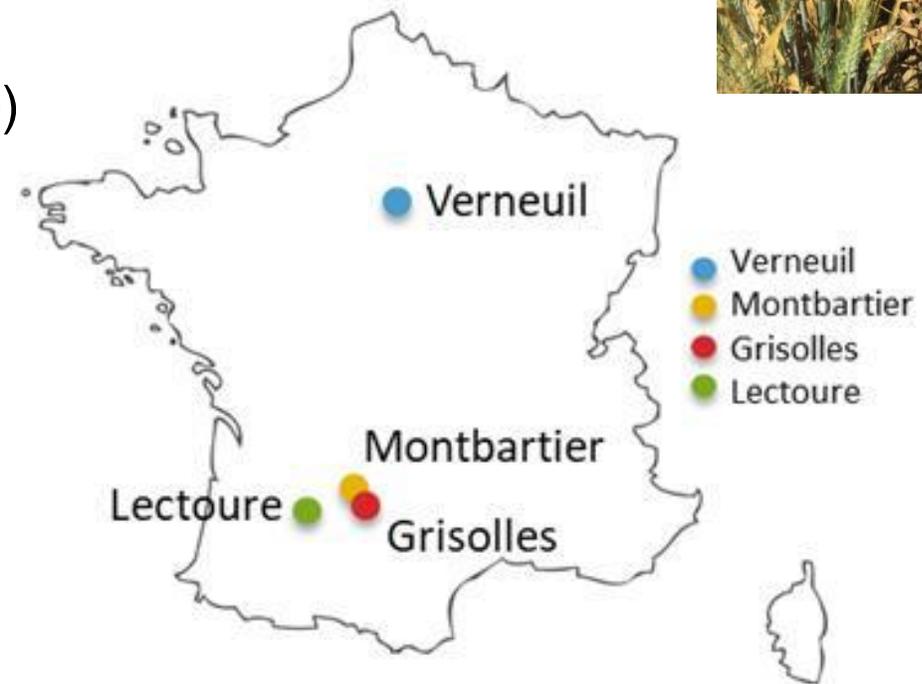
Pastadou x Miradoux (*Florimond Desprez*)

Ovidio x Glucodur (*Syngenta*)

4 sites

chaque site inoculé par les races W1 et/ou W(-)

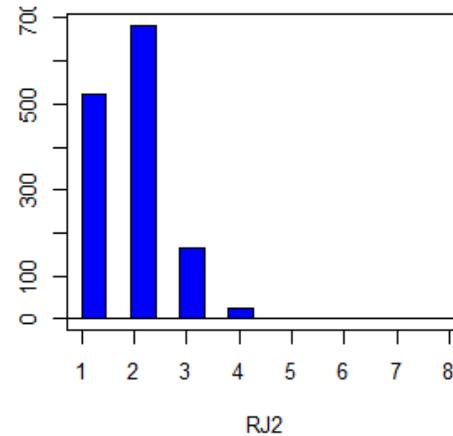
chaque population dans 2 sites par race



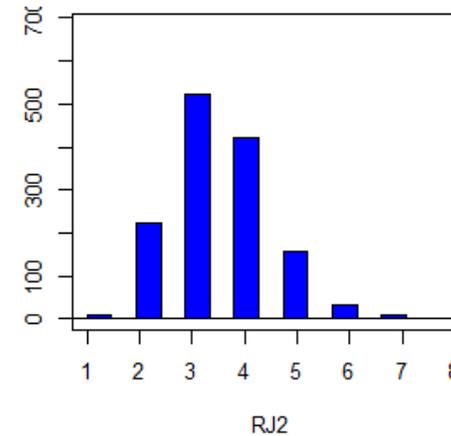
# IV- Sévérité de rouille jaune dans les populations de blé dur

Fréquence (%)

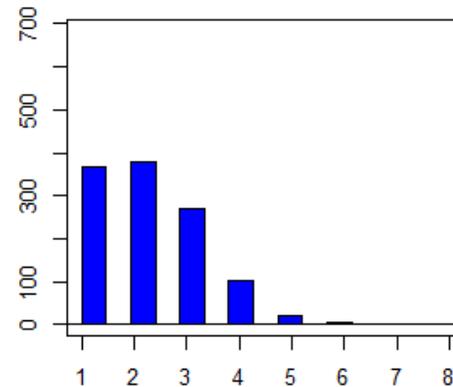
Ovidio x Glucodur



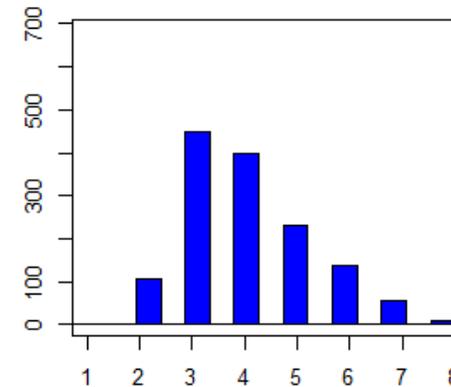
Pastadou x Miradoux \*



Nobilis x Fabulis \*



RGT Nomur x Miradoux \*



Sévérité de rouille jaune

Note de 1 : indemne/ résistant à 9 : très touché/sensible



## IV- QTL de résistance à la rouille jaune - blé dur

- 1 carte de marqueurs SNP AXIOM 35K de la population RIL F<sub>6</sub> Nomur x Miradoux
- 9 QTL mis en évidence
- Un **QTL majeur sur le chromosome 1B** de la population **Nobilis** x Fabulis
  - LOD max 26,1 et 48,2% d'explication de l'AUDPC
  - multi-lieux (Verneuil, Montbardier, Lectoure) et multi-années (2017 à 2019)

	QTL	pops	lieux	années	% AUDPC max	effet max AUDPC	donneur
<b>metaQTL1B</b>	<b>11</b>	<b>NF</b>	<b>MVL</b>	<b>17, 18, 19</b>	<b>48.20%</b>	<b>-15</b>	<b>Nobilis</b>
meta QTL 7B	11	PM et NM	M, V, L	17 et 18	11.90%	-3.97	Miradoux
meta QTL 5B	7	PM et NM	M, V	17 et 18	11.10%	-4.1	Pastadoux et Nomur
meta QTL2B	7	PM	MVL	17, 18	9.80%	-4.27	Miradoux
meta QTL 4A	8	NM et NF	GVML	17;18	8.20%	-3.5	Nomur et Nobilis
metaQTL 6B	6	NM et NF	GMV	17,18	7.80%	-3.4	Nomur et Nobilis
	QTL 7A	NF	Monbardier	2019	8.40%	-4.4	Nobilis
	QTL2A	PM	Verneuil	2017	6.92%	-0.39	Pastadoux

- QTL 1B confirmé par génétique d'association



## Livrables

- Races spécifiques de *Puccinia striiformis* chez le blé dur et le triticales :  
différents groupes génétiques, virulences et aptitudes thermiques
- Des résistances totales au stade plantule chez le blé dur, le triticales et des triticales primaires. Croisements réalisés avec variétés élites.
- Résistances adultes chez les 2 espèces avec quelques contournements
- Un QTL majeur de résistance chez le blé dur (1B) et chez le triticales (6R)

# Perspectives

- Poursuite du suivi des races de rouille jaune du blé tendre
- Evaluation des nouvelles inscriptions et variétés contournées de blé tendre, *INRAE BIOGER*, Tiphaine Vidal
- Projet FSOV TritiRJ : Identification et exploitation de sources de résistance à la rouille jaune chez le triticales
- Projet FSOV Durable : Spécificité des résistances du blé dur aux maladies foliaires du blé : cartes, marqueurs et gènes



*Merçi !*

**INRAE**

Claude POPE  
Marc LECONTE  
Tiphaine VIDAL



Annaig BOUGUENNEC



**FLORIMOND  
DESPREZ**

Michael COCHARD  
Christophe JEUDI  
Valérie LAURENT



Frédéric FANTIN



Eric DELALEAU



*Fonds de Soutien à l'obtention Végétale*



Franck LACOUDRE  
Céline DUQUE



Carine ANDRÉ



Toutes les semences pour demain



Jean-Paul LEGOFF  
Thierry LEFÈVRE  
Marion CHAPUS  
Anthony ROULLIER



Simon LEFÈVRE



Marc LECRIVAIN



Philippe du CHEYRON