

TRAVAUX SUR L'OÏDIUM SUITE À SON ÉMERGENCE SUR L'ESPÈCE TRITICALE



INTRODUCTION

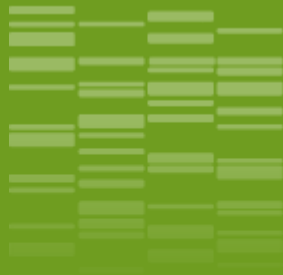
- ❖ Triticale indemne d'oïdium pendant plus de vingt ans
- ❖ Emergence dans les années 2000 dans plusieurs pays d'Europe
- ❖ Plusieurs variétés très sensibles

Objectifs :

- ❖ Caractériser les populations d'oïdium sur triticale
- ❖ Identifier des triticales résistants
- ❖ Identifier des QTL de résistance chez les triticales
- ❖ Identifier les gènes connus chez le blé qui sont efficaces contre les souches triticale
- ❖ Introduire de nouvelles résistances dans l'espèce

Deux programmes 2008-2011 et 2012-2014

INRA – GIE TRITICALE – ARVALIS Institut du végétal
financés le Ministère en charge de l'Agriculture



_01

L'OÏDIUM SUR TRITICALE

L'oïdium des céréales

- ❖ Réduit la qualité et le rendement des céréales
- ❖ Augmente avec une forte fumure et l'humidité
- ❖ Causé par un champignon ascomycète *Blumeria graminis* (=Erysiphe graminis)
 - biotrophe obligatoire
 - Formes spéciales pour chaque espèce de céréales à paille :
 - Blé : *B. graminis* f. sp. *tritici*
 - Seigle : *B. graminis* f. sp. *secalis*
 - Orge : *B. graminis* f. sp. *hordei*
 - Avoine : *B. graminis* f. sp. *avenae*

Quelle forme spéciale attaque le triticaire ?

- ❖ Comment gérer ce problème sur triticaire ?
 - Agronomie
 - Résistances génétiques :
 - Résistances qualitatives / résistances quantitatives
 - Un seul gène / plusieurs gènes
 - Résistance au stade jeune plante / au stade adulte

Feuille et épi de blé contaminés



Conidiospores sur feuille de blé



Copyright A. Walker (INRA)

L'oïdium sur triticales

Premiers avertissements précoces !

❖ Linde-Laursen 1974, 1976, 1977:

- *Bg tritici* (*Erysiphe*) peut attaquer le triticales
 - À la fois sur jeunes plantes et adultes chez les octoploïdes (ABDR)
 - Sur jeunes plantes pour les hexaploïdes (ABR)
- Gènes de résistances du seigle contre *Bg tritici* : ni absolus et ni différents de ceux du blé

⇒ **“with more widespread cultivation of triticales the resistance of the latter to wheat mildew may be expected to break down”**

L'oïdium sur triticales

Apparition et épidémies

- ❖ 2001 : Quelques variétés touchées
- ❖ 2004-2005 : Epidémies d'oïdium en Europe
- ❖ Début des collectes de souches d'oïdium sur triticales pour études
 - France : INRA Bioger (INRA – GIE Triticale – Arvalis)
 - Pologne : National Research Institute (Radzikow)
 - Allemagne : Julius Kuhn Institute, Université d'Hohenheim
 - Belgique : Université de Gand

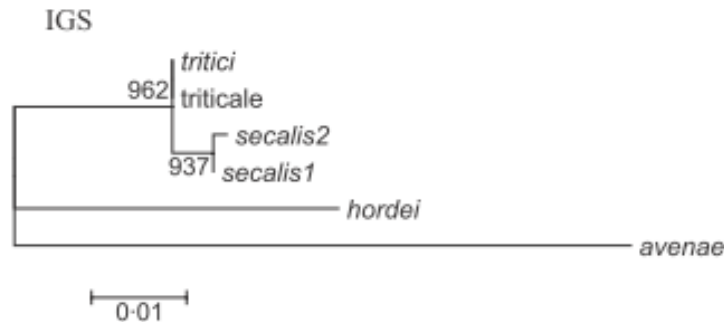
L'oïdium sur triticale

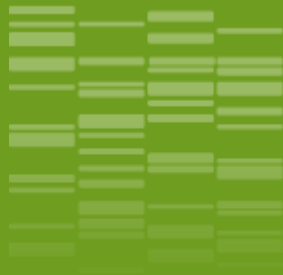
Premiers travaux INRA

Walker *et al* 2009 Phytoma 629, 21-25

Walker *et al* 2011 Plant Pathology 60(2), 207-220

- ❖ Oïdium Triticale => **nouveaux spectres de virulence** par rapport à ceux observés chez les autres formes spéciales
- ❖ pas de résistance aux fongicides pour l'instant
- ❖ Probablement dû à **une extension d'hôte du blé au triticale** (*Blumeria graminis* spp. *tritici*)
 - *Bg tritici*, *Bg secalis* et oïdium triticale sont très proches
 - oïdium triticale plus proche de *Bg tritici* d'après marqueurs IGS





_02

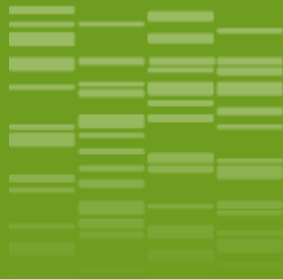
PROGRAMME OÏDIUM TRITICALE

INRA-GIE TRITICALE- ARVALIS Institut du végétal

Programme Oïdium-triticale

INRA – GIE TRITICALE – Arvalis Institut du végétal

- ❖ Evaluation de génotypes pour leur résistance à l'oïdium (variétés, triticales dérivés de triticales primaires octoploïdes, ressources génétiques)
- ❖ Utilisation d'hôtes différentiels blé pour caractériser les populations d'oïdium en France et identifier les gènes de blés efficaces chez le triticale
- ❖ Etudes génétiques de résistances à l'oïdium
 - Recherche de QTL
 - deux croisements: Tricolor x Bellac and SW Talentro x Maximal
 - ~200 marqueurs SSR
 - Génétique d'association sur population de pre-breeding en gestion dynamique
 - Marqueurs blé de gènes *Pm* pour tenter d'identifier les gènes présents dans les variétés de triticale
- ❖ Associations variétales



_03

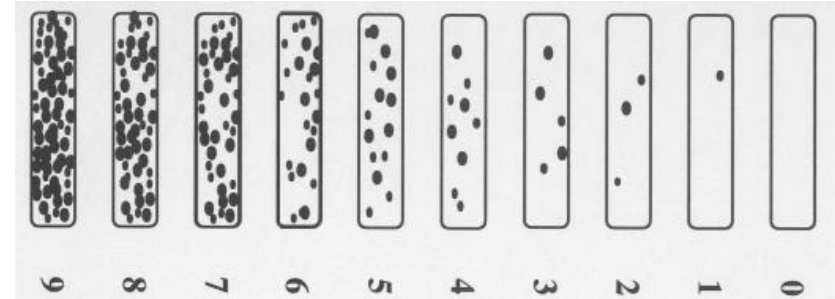
MATERIEL ET MÉTHODES

Méthodes

Expérimentation

❖ Premier programme :

- 3 campagnes 2009-2010-2011
- 16 lieux in France
- 34 hôtes différentiels blé
- 9 variétés de triticales (3 sensibles, 3 intermédiaires et 3 résistants au stade adulte)
- Contamination de jeunes plantes (2-3 feuilles) :
 - sous parcelle de variétés sensibles (majoritairement Ampiac, Triskell, Tricolor)
 - 1 ou 2 dates
- Après 10-15 jour d'incubation, note sur une échelle de 0 à 9



❖ Second programme :

- 3 campagnes 2012-2013-2014
- 5 lieux
- 34 blés + 41 triticales (Collection nationale, quelques triticales supposés résistants et les 9 variétés précédentes)
- Résistance au stade adulte de ces triticales évalués au champ dans plusieurs lieux

Lieux

② Nombre de lieux
par département

⇒ Un peu partout en France



Méthodes Hôtes différentiels

Cultivar	Resistance gene or factor	Localisation
Alchemy	(Pm2+Pm4b)	(5DS+2AL)
Amigo	Pm17 (allèlique de Pm8)	1RS+1AL
Apollo	Pm2+Pm4b+Pm8	5DS+2AL+1RS.1BL
Aquila	Pm5b	(7B)
Aristide	Pm3g (=Mlar)	1AS
Armada	Pm4b	2AL
Axona	Pm2+Pm3d+Mld / MlAx	(5DS)+1AS+(4B)
Barbee	none	
Brimstone	Pm2+Pm6	5DS+2B
Brock	Pm2 + MITa2 / Pm2+Tal	5DS+?
Broom	Pm3d	1AS
Cerco	none	
Chopin	Pm1.+9	7A+7A
Chul	Pm3b	1AS
Clement	Pm8	1RS.1BL
Disponent	Pm8	1RS.1BL
Glasgow	unknown	
Maris Dove	Pm2+Mld	5DS+4B
Mascot	unknown	(5DS+2AL+2B)
Mercia	Pm5a + MITa2	7BL+(7B)
Mission	Pm4b+Pm5b	2AL+(7B)
Normandie	Pm1a+Pm2+Pm9	7AL+5DS+7A
RE8714	Pm4b (=Mle)+ Mlre	2AL+6AL
Renan	Pm4b	2AL
Rendezvous	Pm2+Pm4b+Pm6	5DS+2AL+2B
Robigus	unknown	
Shamrock	unknown	
Sicco	Pm5a+ MISi2	7BL + ?
Soissons	Pm3g / MISs	1AS+?
Talent	Pm5.+? / Tal	
Tonic	MITo (=Pm3d + ?)	1AS + ?
Transec	Pm7	4BS.4BL-2RL
Transfed	Pm7	4BS.4BL-2RL
Wembley	MISo (Pm12?)	? (6B)

❖ Témoins : 2 blés sensibles
sans gènes de résistance

❖ Plusieurs blés ont plusieurs gènes

❖ Allèles pas toujours connus

❖ Certains blés ont des gènes **inconnus**

❖ 2 blés peuvent avoir le même gène

❖ Localisation pas toujours connues

Pm1a	Pm1.	
Pm2		
Pm3b	Pm3d	Pm3g
Pm4b		
Pm5a	Pm5b	pm5.
Pm6		
Pm7		
Pm8		
Pm9		
Pm17		

13-15 allèles Pm

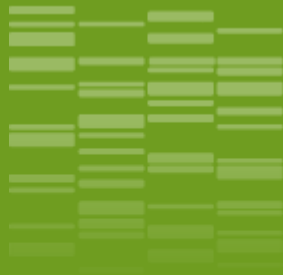
7 facteurs de
résistance

Mld	Axona
MITa2	Mercia Brook
MISi2	Sicco
MISo	Wembley
MISs	Soissons
MITo	Tonic
MlRe	RE8714

Méthodes

Analyses des résultats

- ❖ Pour chaque série (34 hôtes dans un environnement) :
 - Infection suffisante ou non : observation de Barbee et Cerco
 - Dédutions pas à pas
 - **Blé sensible** (note de 7 à 9) = **gène(s) contournés**
=> reporté dans tous les blés qui contiennent ce gène
 - Idem pour les blés à réaction intermédiaire (note de 4 à 6)
 - **Blé indemne** (note 0) ou **blé résistant** (note de 1 à 3) avec un seul gène = **gène efficace** => reporté dans tous les blés ayant ce gène
 - Vérification de la cohérence globale
- ❖ Comparaisons entre séries
- ❖ Identification de génotypes résistants



_04

RESULTATS

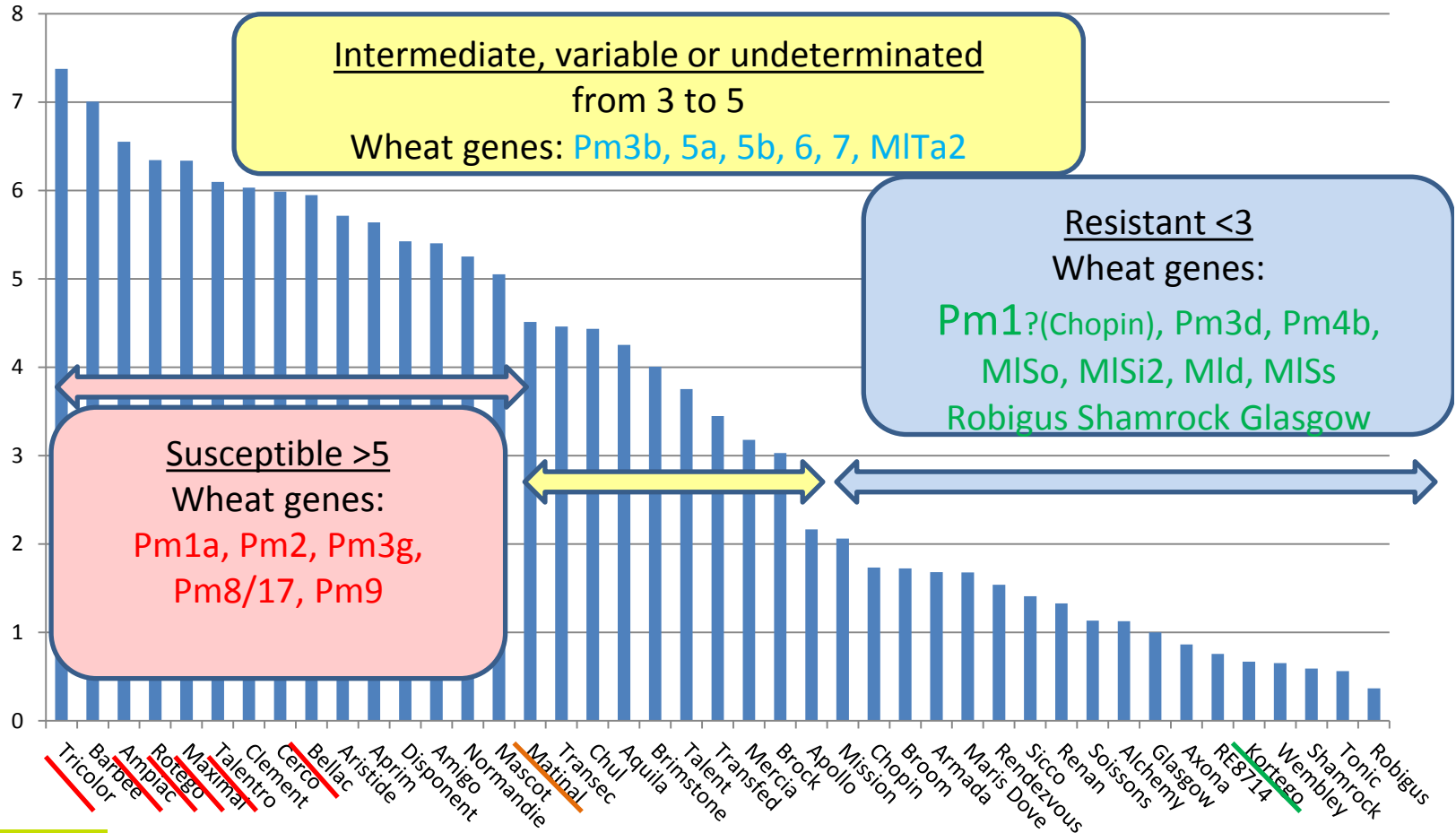
Résultats sur blés

Classification des gènes de blé

- ❖ 76 séries (1 série = notations des 34 hôtes différentiels et des 9 triticales dans un environnement)
 - 30 avec contamination insuffisante (note de Cerco et/ou Barbee < 5)
 - ⇒ Nécessité d'avoir un fort niveau d'infection au champ et de bonnes conditions d'incubations
- ❖ généralement bonne cohérence du classements des gènes par déduction pas à pas à l'intérieur d'une série (seulement une série non cohérente)
 - Cependant de nouvelles hypothèses ont dû être faites :
 - Transfed et Transec supposés avoir *Pm7* tous les 2 réagissent différemment
 - ⇒ Transfed a probablement un gène de résistance supplémentaire
 - Idem pour Disponent et Clement *Pm8*
 - ⇒ Disponent a probablement un gène de résistance supplémentaire
- ❖ grandes similitudes aussi entre séries (c'est à dire entre environnements)

Compilation des résultats de 2009 à 2012

Note moyenne sur 46 séries (20 dans Ampiac)



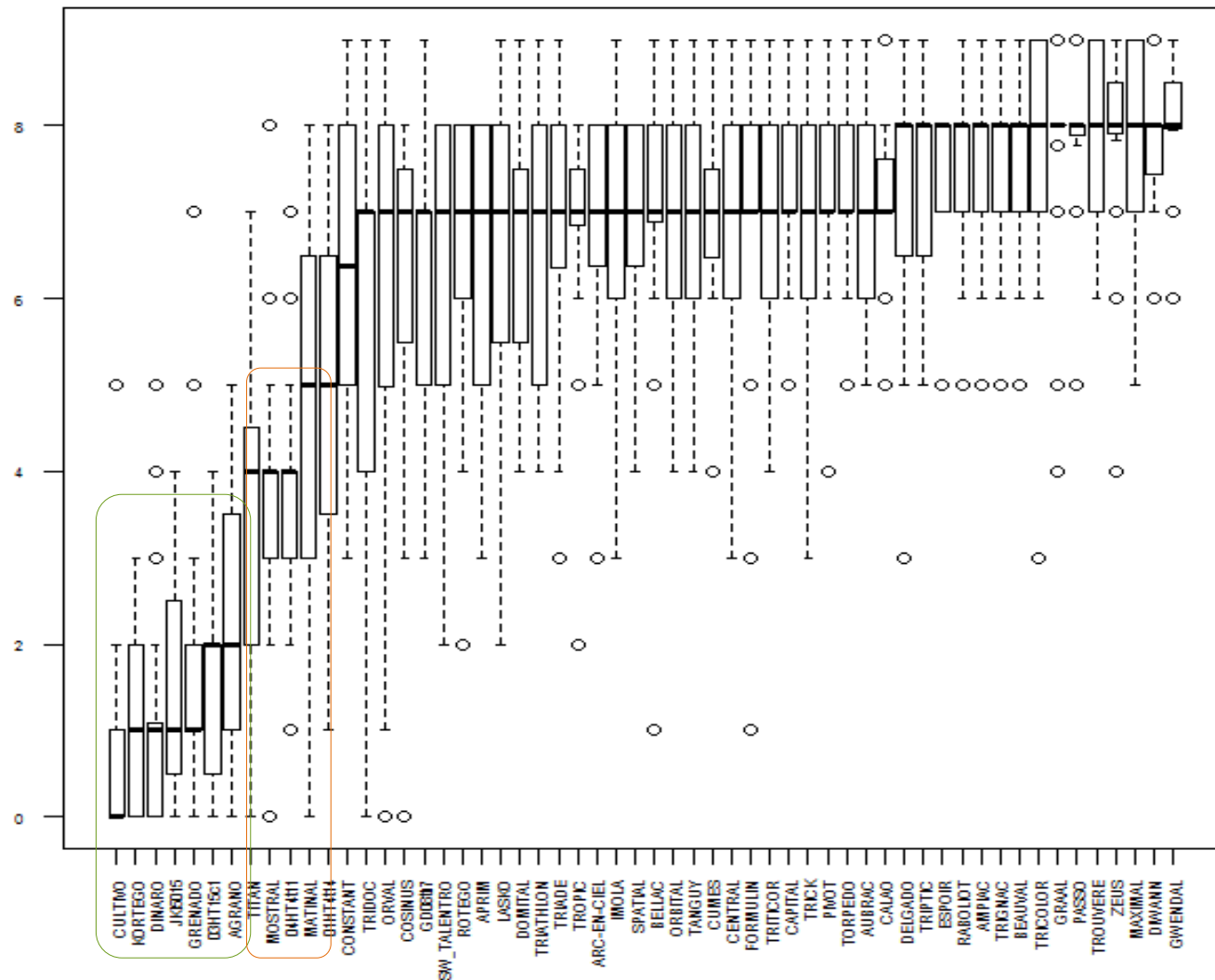
Résultats sur triticales

Résistance des variétés de triticales

- ❖ 32 séries (3 années, 5 lieux, contaminants : Maximal, Ampiac, Tricolor et matériel de sélection, 1 ou 2 dates)
- ❖ 17 utilisables (contamination suffisante)
- ❖ peu de variations annuelles



Résultats sur triticale



Résultats

Relations entre stade jeune et adulte

❖ Génotypes répartis en 3 groupes :

- Sensibles au stade **jeune** et sensibles au stade **adulte** :

⇒ Pas de résistance

- Résistants au stade **jeune** et résistants au stade **adulte** :

⇒ Gènes majeurs à identifier (venant du blé ou du seigle) :

Cultivo Kortego Dinaro JKI5015 Grenado 03HT15c1 Agrano

Titan Mostral 04HT4t11 Matinal 01HT4t14

- Sensibles au stade **jeune** mais résistants au stade **adulte** :

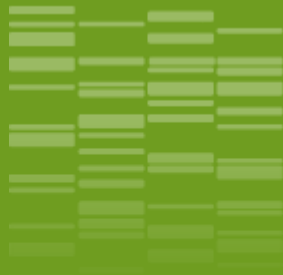
⇒ résistances intéressantes ? (multigéniques, plus durables ?)

Raboliot Torpedo Tridoc Domital Lasko Tropic (variétés anciennes)

GD08th7 (dérivées de 8x)

Aprim Bellac Rotege SW_Talentro

(variétés plus récentes, dont la résistance se maintient)



_05

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Conclusions (1)

❖ Classification de gènes cohérente :

- permet d'identifier des gènes contournés :
Pm2, *Pm3g*, *Pm8*, *Mascot*
- et aussi des gènes efficaces (dans un contexte blé) :
Pm4b, *Pm3d*, *Pm1.*, *MISo*, *MISs* (*MISi2*, *MITa2*, *Mld*)
Robigus Shamrock Glasgow

en accord avec Kowalczyk *et al* 2011 pour l'efficacité de *Pm4b*, Czembor *et al* 2014 pour *Pm3d+4b* efficaces et *Pm2*, *Pm8* contournés.
Pm6 variable.

en accord avec les fréquences d'isolats virulents sur chaque gène de résistance de Troch *et al* 2013 :

- Faible % pour *Pm3d* *Pm4b*
- Fort % pour *Pm7* *Pm8* *Pm17* (venant du seigle)

❖ Pas ou peu de différences entre environnements pour les virulences contre les gènes *Pm* globalement

en accord avec Troch *et al* 2013 : pas de différences de profils de virulence entre isolats de Belgique, France et Pologne
(mais différences locales de distribution de pathotypes Czembor *et al* 2014)

Conclusions (2)

❖ Génotypes intéressants repérés :

- Kortego quasiment toujours indemne de 2009-2014, et aussi de 2012 à 2014 : Cultivo Dinaro JKI5015 Grenado 03HT15c1 Agrano
- Peu touchés : Mostral 04HT4t11 01HT4t14 (dérivés de triticales primaires 8x) Titan Matinal

Seul Grenado indemne pour Czembor *et al* 2014 et Klocke *et al* 2014

- ❖ Moins lourd que le maintien de collections de souches mais importance de bonnes conditions pour réussir ces tests (Infection souvent insuffisantes d'après réaction de Barbee et Cerco)
- ❖ Complémentarité avec les autres études (différents gènes *Pm* testés, populations d'oïdium / isolats)

Perspectives

- ❖ Tester les génotypes résistants avec des isolats pour identifier si possible les gènes *Pm* présents dans le triticales (en cours à l'université de Gand)
- ❖ Améliorer la liste d'hôtes différentiels :
 - Nouveaux génotypes blés
 - Meilleure connaissance de leur gènes de résistance
 - Etablir une liste d'hôtes différentiels triticales => fait par Klocke *et al* 2014
- ❖ Utiliser les marqueurs identifiés (en cours)
- ❖ Mieux prendre en compte les gènes seigle
- ❖ Introduire de nouvelles résistances dans l'espèce triticales

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



GIE TRITICALE



MERCI A MES COLLÈGUES

Maxime TROTTET
Alex GIRAUD
Bernard ROLLAND et les expérimentateurs

Philippe Du CHEYRON et les expérimentateurs

Philippe LONNET (Florimond-Desprez)
Pierre BLANC et Christophe JEUDI (F-Desprez)
Eric DELALEAU (Lemaire-Deffontaines)
Jean-Paul LE GOFF (RAGT 2n)
Frédéric FANTIN (Agri-Obtentions)
Hubert HAVEGEER (Serasem)
et les expérimentateurs