

Activités de phénotypage actuelles et en développement pour l'évaluation de la résistance aux bioagresseurs des Céréales à paille dans le cadre de l'inscription des variétés au Catalogue français

GEVES

**Groupe d'Etude et de contrôle
des Variétés Et des Semences**



Valérie Cadot, Jean-Philippe Maigniel, Rodolphe Vadaine

contact : valerie.cadot@geves.fr



GEVES

Expertise & Performance

09 avril 2015, groupe Céréales, INRA Clermont Ferrand

Sommaire

1. Missions du GEVES
2. Focus sur les activités Bioagresseurs
3. Le phénotypage actuel pour les Bioagresseurs Céréales à paille
 - a) Maladies foliaires
 - b) Piétin Verse
 - c) Fusariose
4. Nouvelle méthode de phénotypage par imagerie multispectrale pour évaluer la résistance variétale à la fusariose



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

1. Missions du GEVES

Les missions du GEVES

Expertise et recherche méthodologique



Sur les nouvelles variétés végétales

En vue de :

- **L'inscription** au Catalogue Officiel français)
- de la **protection** juridique du droit des obtenteurs



Sur les semences

Appui à la filière semences
(notamment en vue de la **certification** des semences)

Le GEVES étant organisé en
3 secteurs :

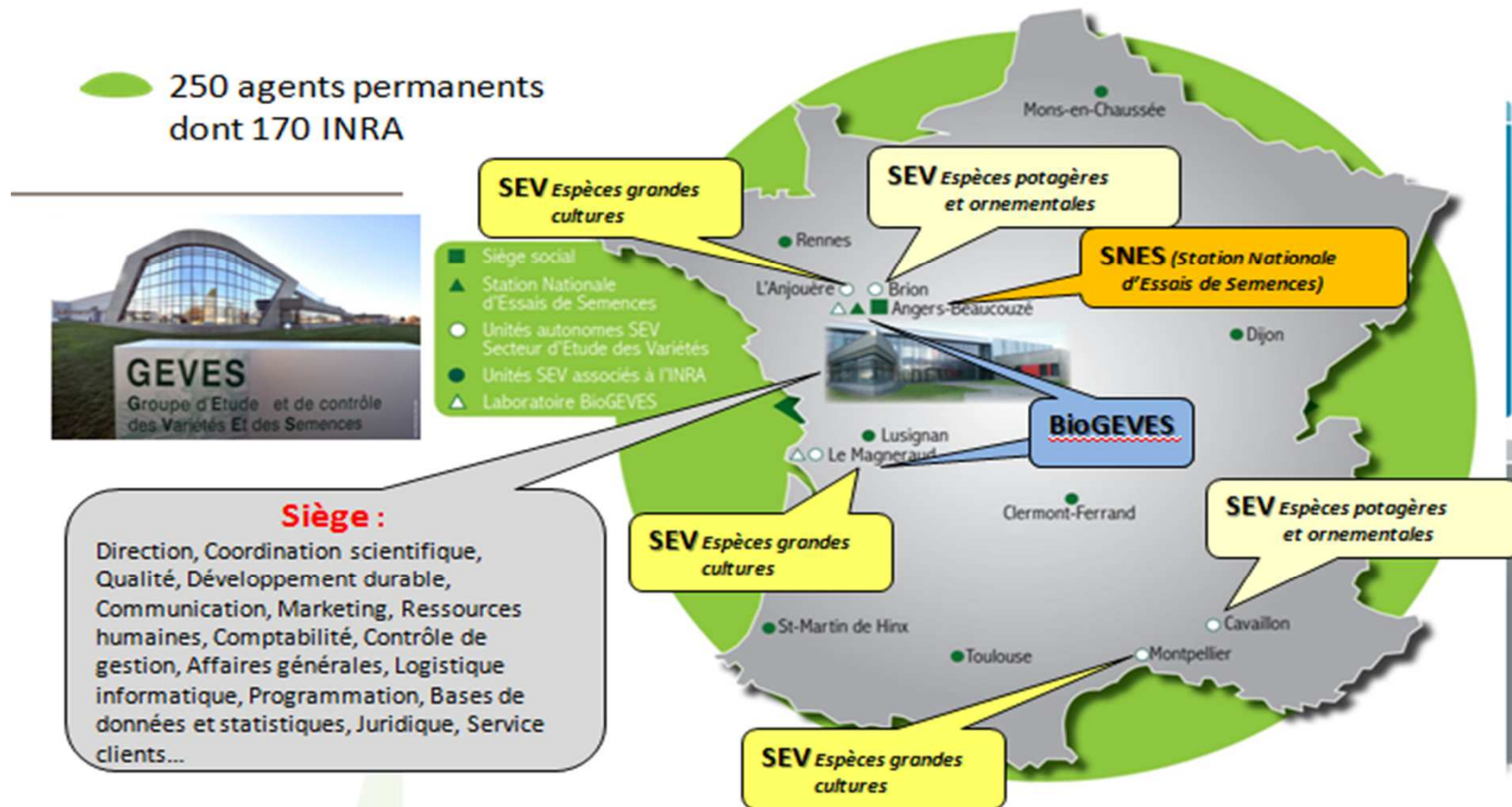
Le **Secteur d'Etude des Variétés (SEV)**

BioGEVES
(Biologie moléculaire)

La **Station Nationale d'Essais de Semences (SNES)**

Le GEVES

Un Groupement d'Intérêt public (GIP) depuis 1989 :
INRA, MAP, GNIS



Un organisme officiel et unique en France, certifié ISO 9001⁵ : 2008



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Attendus de la recherche sur le phénotypage au GEVES

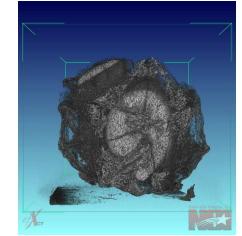
Dépasser les capacités humaines (débit, précision, volume des données) par des méthodes automatisées utilisant l'imagerie, les mesures spectrales ou les capteurs physiques

→ **Intégration dans les méthodes et protocoles**

→ **Nouvelles offres de prestation**

- **SNES : offre PHENOSEM sur la plateforme Phenotic à Angers**

- Tomographie : offres de prestations
- Videometer : exemple de quantification des kystes de nématodes
- Test rapide de germination (banc de germination)

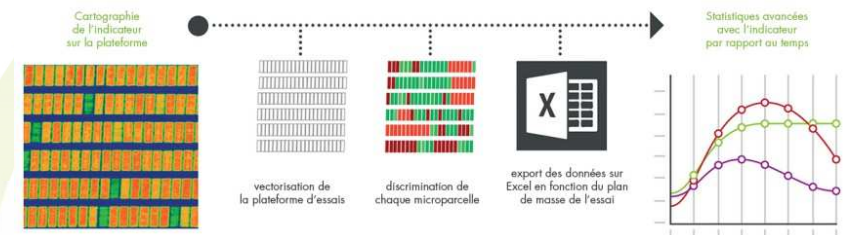


- **BIOGEVES**

- chromatographie, spectrophotométrie, NIRS

- **SEV**

- Imagerie numérique conventionnelle
 - Mesure automatique des organes,
 - Pouvoir couvrant
- imagerie multispectrale : Evaluation de la résistance variétale des céréales à la fusariose
- Drones : Evaluation des potentialités (début d'étude, location)



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

2. Focus sur les activités Bioagresseurs



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Evaluation de la résistance des variétés aux bioagresseurs : dans quel cadre ?

- Un cadre réglementaire:
 - **DHS : Distinction-Homogénéité-Stabilité**
 - Pour l'inscription des variétés au Catalogue
 - Pour la protection des variétés
 - En se basant sur : Protocoles OCVV, UPOV ou national
 - **VATE : Valeur Agronomique Technologique et Environnemental**
 - pour l'inscription variétale au Catalogue des espèces de grandes cultures
 - En se basant sur : Protocoles GEVES
- Pour les obtenteurs, instituts de recherche, autres professionnels de la filière semences



GEVES

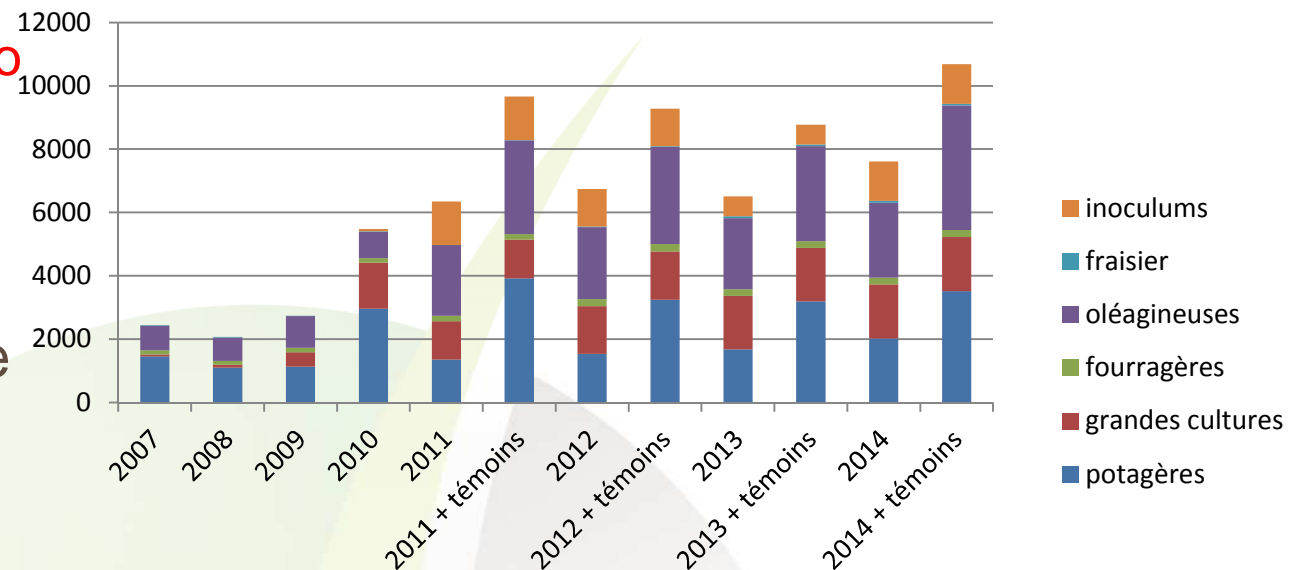
Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Evaluation de la résistance aux bioagresseurs

En laboratoire à la SNES

- Bio agresseurs:
 - 58 couples hôte/bio agresseur
 - 91 couples hôte/race/bio agresseur
- 10745 tests en 2014
- Une activité majoritairement tournée vers les **potagères et oléagineuses**

Evolution de l'activité tests de résistance



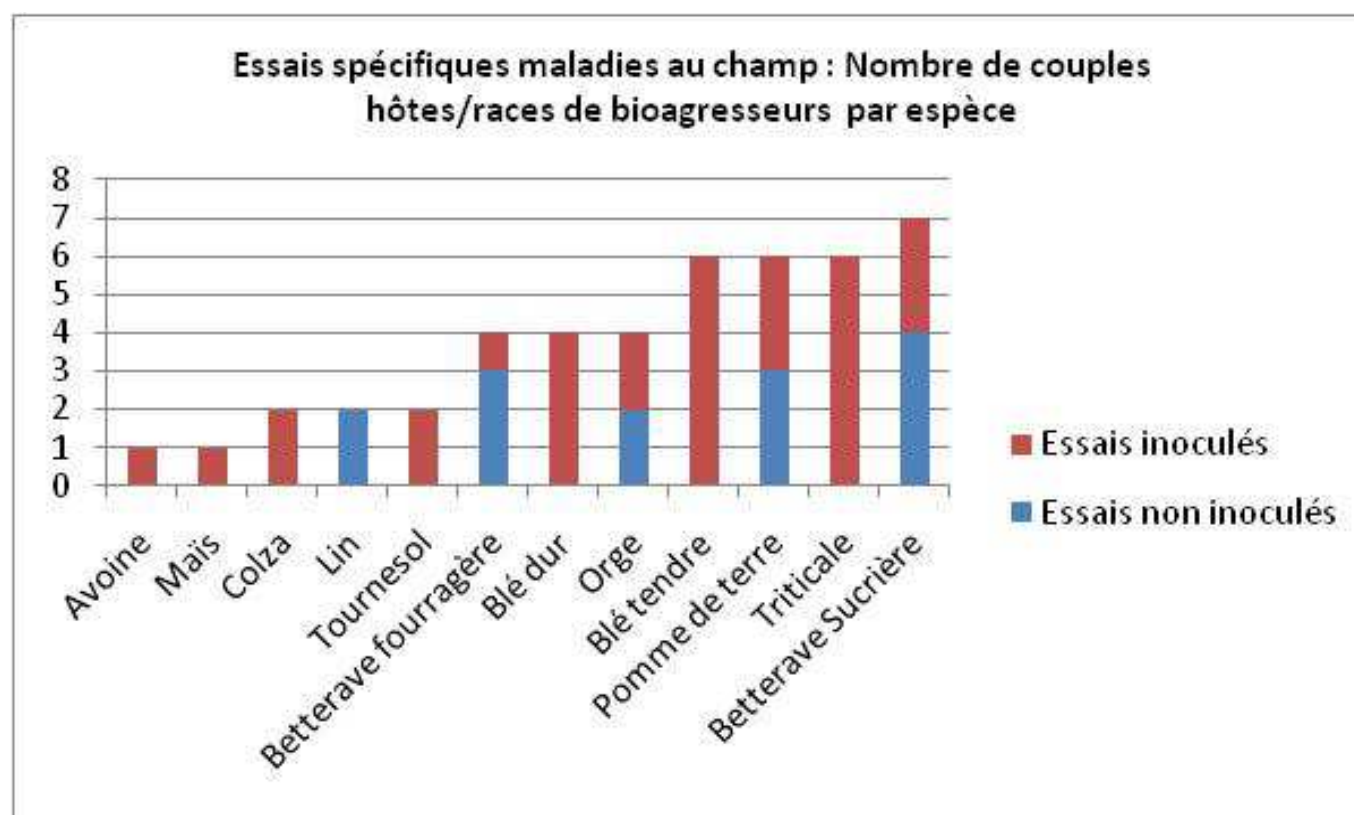
GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

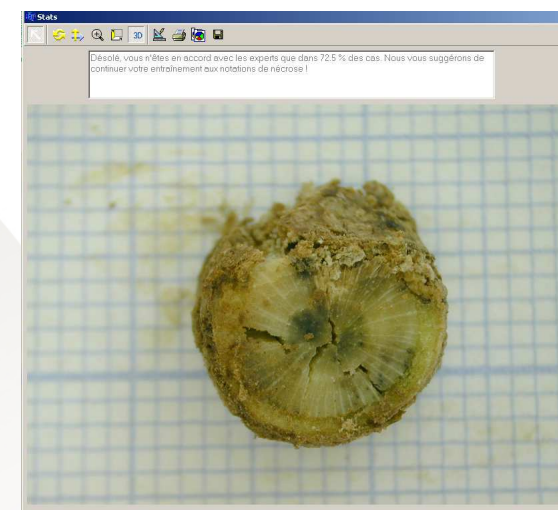
Evaluation de la résistance aux bioagresseurs

Essais spécifiques au champ

45 couples hôtes/pathogènes dans des essais spécifiques,
dont 31 essais inoculés



Phomopsis tournesol



Phoma du colza



GEVES

SIVAL 2012

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

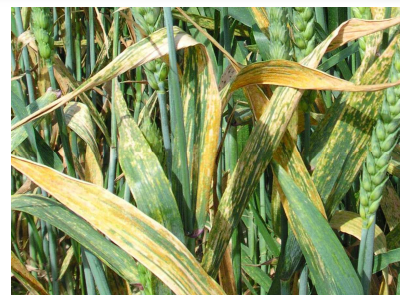
Evaluation de la résistance aux bioagresseurs CAP



*Fusarium
graminearum*



Piétin-verse



Rouille jaune



Rouille brune
(& couronnée)



Septoria tritici

Essais spécifiques
(inoculés /contamination renforcée)

Essais spécifiques inoculés ou
essais en contamination naturelle



Helminthosporiose
/Orge



Rhynchosporiose/Orge



Rouille naine/Orge



Oïdium



Ramulariose/Orge

Essais uniquement en contamination naturelle



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Présentation des 2 réseaux d'évaluation

❑ Réseau bioagresseurs (contamination artificielle ou renforcée) :

- Notations
 - **qualitatives ordinales** : notation visuelle de 1 à 9
 - **quantitatives** : **mesures** (date de floraison, % : fusariose, Piétin-verse)
- Témoins FRR choisis pour couvrir la gamme de sensibilité
- Souches ou races : proposées par l'INRA et choix des prédominantes par les experts bioagresseurs (RJ, RB, Septoriose)
- Intérêt : Pression homogène, évaluation précise et complète des variétés en étude/souches et virulences majoritaires en France
- + caractères difficiles à évaluer en conditions naturelles (Fusariose, piétin-verse..)

❑ Réseau VATE (contamination naturelle) :

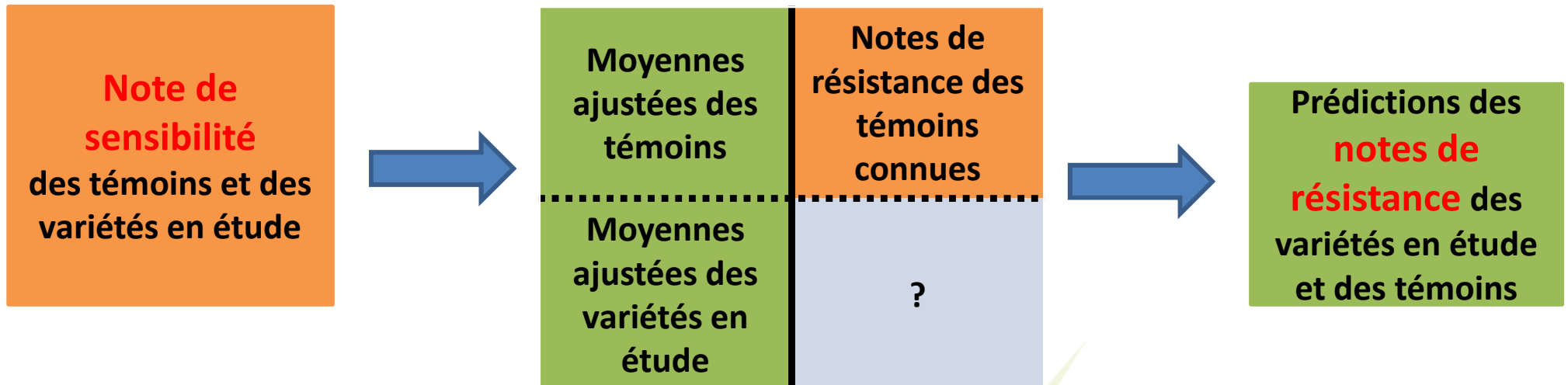
- Notations
 - **qualitatives** : notation visuelle de 1 à 9
 - **quantitatives** : **mesures** (hauteur, épiaison)
- Témoins VATE +/- bonne amplitude selon les choix de la commission
- Souches ou races : en mélange



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Méthode de cotation en blé tendre depuis octobre 2014 (TROCADERO)



Modèle mixte pour corriger de l'effet environnement

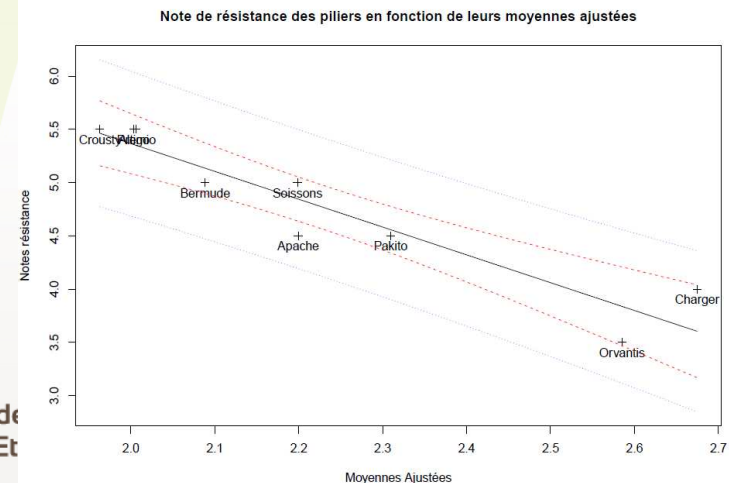
Régression linéaire simple des notes de résistance des témoins sur les moyennes ajustées des témoins

Les moyennes des variétés doivent être corrigées d'un effet lieu et d'un effet année.



GEVES

Groupe d'Étude
des Variétés Et



3 modèles statistiques retenus

Pluriannuel, sans stade physiologique, par type de réseau (FRR, VATE)

1. Modèle général

$$\text{Sensibilité}_{ijk} \sim \text{Var}_i + \text{An}_j + (1|\text{Env}_k) + \varepsilon_{ijk}$$

2. Modèle spécifique Septoriose

$$\text{Sensibilité}_{ijk} = \text{Var}_i + \text{An}_j + \text{Préco}_{ijk} + (1 + \text{Préco}_{ijk} | \text{Env}_k) + \varepsilon_{ijk}$$

Précocités manquantes estimées par année et par zone, à partir du modèle:

$$\text{Pour l'année } k : \text{Préco}_{ij} = \text{Var}_i + (1|\text{Env}_j) + \varepsilon_{ij}$$

3. Modèle spécifique Fusariose :

$$\begin{aligned} \% \text{EpilletsFusariés}_{ijkl} = & \text{Var}_i + \text{TypeNote}_j + (1|\text{Rép}_i \% \text{in} \% \text{Env}_k) \\ & + \text{Flo}_{ijkl} + (1 + \text{Flo}_{ijkl} | \text{Env}_k) \\ & + \text{Temp}_{ijkl} + (1 + \text{Temp}_{ijkl} | \text{TypeNote}_j : \text{Env}_k) + \varepsilon_{ijkl} \end{aligned}$$



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Grille bonifications/pénalités : Blé tendre

Notes de résistance :

1 = très mauvaise

9 = très bonne

R = résistante

X = caractère évalué dans
le cadre de l'expérimentation
V.A.T.E. classique

X = caractère évalué dans
le cadre d'expérimentations
spécifiques

(X) = caractère évalué dans
le cadre d'une expérimentation
V.A.T.E. spéciale à la demande
et aux frais du déposant

				RESISTANCE (Bonus / Malus selon l'appréciation Insuffisante ou Intéressante)		
CARACTERE				INSUFFISANTE considérée comme ayant dans le contexte actuel des conséquences		INTERESSANTE
	Hiver Nord	Hiver Sud	Printemps	Très Graves (- -)	Graves (-)	(+)
FROID	X		-	Note = 1	1 < Note ≤ 3	Note ≥ 8
VERSE	X	X	X	Note ≤ 3	3 < Note ≤ 4	Note ≥ 8
ROUILLE JAUNE <i>Puccinia striiformis</i>	X	X	X	-	Note ≤ 3	-
ROUILLE BRUNE <i>Puccinia tritici</i>	X	X	X	-	Note ≤ 2	-
PIETIN VERSE <i>Pseudocercospora tritici</i>	X	X	-	-	Note = 1	Note ≥ 6
OIDIUM <i>Blumeria graminis</i>	X	X	X	-	Note ≤ 4	-
SEPTORIOSE <i>Septoria tritici</i>	X	X	X	-	Note < 2	Note ≥ 7
FUSARIOSE <i>Fusarium discolor</i>	X	X	-	-	Note < 3	Note ≥ 6
MOSAIQUES V.M.B. et V.S.F.B.	(X)	(X)		-	-	R
CECIDOMYIE ORANGE	(X)	(X)				



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

La réglementation CTPS : un outil qui a favorisé l'inscription de variétés résistantes

- Depuis 30 ans, la **section CTPS « Céréales à paille »** a orienté la sélection vers des variétés plus résistantes aux bioagresseurs et autres facteurs abiotiques (résistance au froid, verse) :

- Depuis 1984 : Attribution de **Bonus / Malus** en fonction des résultats de chaque facteur de régularité du rendement étudié,
- depuis 1985 : **50 % de la cotation VATE** issue des résultats d'essais RNE en condition **Non traitée Fongicide**,
- Depuis 1988 : Attribution de **Bonus / Malus** en fonction des **écarts de rendements Traité / Non traité fongicide** (bonus pour les faibles écarts de rendement et malus si fort écart)

Pour le blé tendre d'hiver :

Seuil requis = Seuil technologique - Solde des bonus malus (PS + RDT/PROT + bioagresseurs + TNT)

Vers un meilleur niveau de résistance
mais aussi une diversification des gènes de résistance



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Plaquettes VATE : www.geves.fr

BLÉ TENDRE HIVER	Auckland	Cameleon	Collector	Costello
Inscription Liste A N° CTPS	Octobre 2014 4051046	Octobre 2014 4051158	Octobre 2014 4051092	Octobre 2014 4051176
Obtenteur	Limagrain Europe (FR)	Saaten Union Recherche (FR)	Florimond Desprez Veuve et Fils (FR)	KWS UK (GB)
Mainteneur	Limagrain Europe (FR)	Saaten Union Recherche (FR)	Florimond Desprez Veuve et Fils (FR)	KWS UK (GB)
Productivité				
ZONE NORD				
% du Témoin CTPS (1)	104.9		107.5	105.4
ZONE SUD				
% du Témoin CTPS (2)		117.9		
Qualité technologique				
Qualité boulangère	BPS	BAU	BPS	BP
PS	78	78	77	79
Plage du W	186 - 212	93 - 154	134 - 167	145 - 174
Protéines	5	6	6	5
Zélny	37.4	25.2	31.4	34.8
Viscosité potentielle éthanolique	2.4	2.0	2.5	2.5
Classe de dureté	Medium Hard	Medium Hard	Medium Hard	Medium Hard
Facteurs de régularité du rendement				
Alternativité	3	3	2	2
Précocité d'épiaison	6.5	7.5	6.5	5
Hauteur	3.5	3.5	3.5	3
RÉSISTANCE				
- au froid	-	-	-	-
- à la verse	6	5.5	7	7
- à la germination sur pied	-	-	-	-
- à la rouille brune	5	8	5	4
- à la rouille jaune (feuilles / épis)	5 / (7)	7 / (8)	8 / (7)	8 / (8)
- à l'oïdium	5		5	8
- au piétin verse	4	4	3	5
- à la fusariose	5.5	5	5	4.5
- à la septoriose S. Tritici	6	6.5	6	5.5
- aux mosaïques	-	-	-	R
- à la oëcidomyie orange	R	-	-	-
(1) Témoins rendement 2014 : RUBISKO + AREZZO + APACHE + BERMUDE Témoins rendement 2013 : APACHE + ALTIGO + PAKITO + BERMUDE				
(2) Témoins rendement 2014 : SOLEHIO + APACHE + AREZZO + SY MOISSON Témoins rendement 2013 : APACHE + SOLEHIO + AUBUSSON + AREZZO				

3. Le phénotypage actuel pour les bioagresseurs Céréales à paille




GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Echelle de notation visuelle Rouille jaune/Rouille brune

Maladies foliaires sauf (*Septoria tritici*)

Précision notation = +/- 1 point



Note de sensibilité	Plantes affectées	Surface foliaire attaquée
1	Absence de dégât	
2	Traces	
3	25 % à 50 %	10 %
4	>=50 %	25 %
5	100 %	50 %
6	100 %	60 %
7	100 %	75 %
8	100 %	90 %
9	Maximum possible	

- Planches de photos illustrées dans les protocoles VATE et Bioagresseurs (rouille jaune, rouille brune)
- Entraînement possible sur la plate-forme Quantipest (didacticiel en ligne)



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Tests spécifiques de résistance à la rouille jaune (essais inoculés)



- 4 essais spécifiques en contamination artificielle en zone favorable au développement de la maladie (Ouest et Nord)
- Variétés implantées dans 4 groupes de précocité avec gamme de témoins sensibles à résistants
- Dispositifs parcelles (maladie à foyer) - Randomisation sans répétition
- Inoculation :
 - Races Oakley-Solstice et Warrior-Ambition (fonds génétique différent)
 - Repiquage d'au moins une plantule de chaque race dans chaque parcelle sur 1 ligne de variétés contaminatrices au stade fin tallage
- Irrigation après inoculation en cas de temps séchant
- Notations selon une échelle de 1 à 9 / parcelle correspondant à un % de surface foliaire nécrosée sur les 3 dernières feuilles, stade montaison à grain jaune



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Tests spécifiques de résistance à la rouille brune (essais inoculés)



- 4 essais spécifiques en contamination artificielle :
2 essais Nord France (dpts 59,35) + 2 essais Sud (dpts 31,34)
- Variétés implantées dans 4 groupes de précocité
avec gamme de témoins sensibles à résistants
- Dispositifs parcelles - Randomisation sans répétition
- Inoculation :
 - Pathotypes 166317 (1, 3, 3bg, 10, 13, 14a, 15,17, 26, 37), 106314 (1, 10, 13, 14a, 15, 17, 37) et **167337 3** possédant notamment les virulences sur Lr24 et Lr28
 - Pulvérisation en plein d'une solution huile/mouillant + spores stade début montaison
- Irrigation après inoculation notamment pour les essais Sud
- Notations selon une échelle de 1 à 9 / parcelle correspondant à un % de surface foliaire nécrosée sur les 3 dernières feuilles, stade épiaison à grain jaune

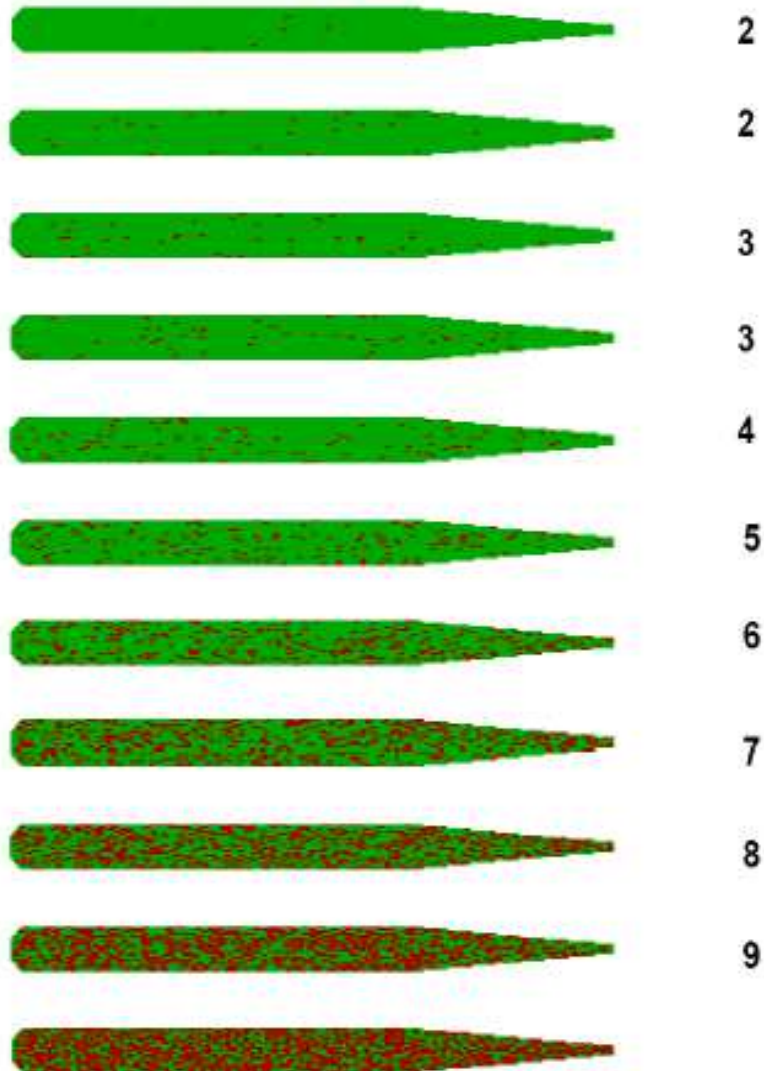


GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Rouille jaune/rouille brune - Echelle de notation visuelle

Echelle de notations



Rouille jaune

Notation basée sur le % de surface foliaire nécrosée sur les 3 dernières feuilles : stade montaison à grain jaune



Rouille brune

Notation basée sur le % de surface foliaire nécrosée sur les 3 dernières feuilles : stade épisaison à grain jaune



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Tests spécifiques de résistance à la septoriose (essais inoculés)



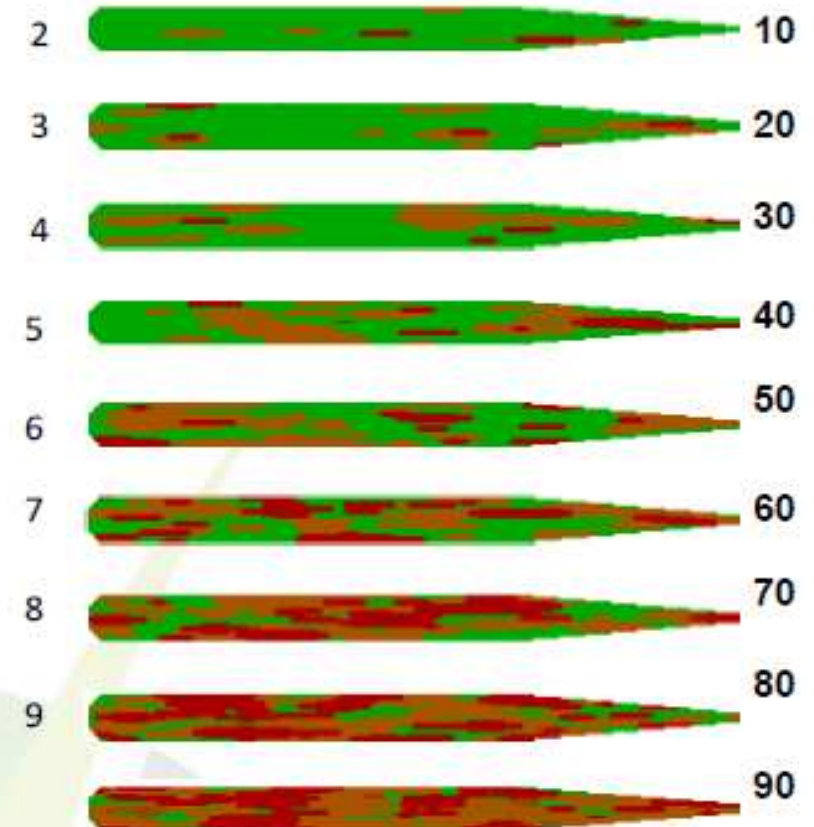
- 3 essais spécifiques en contamination artificielle en zone favorable au développement de la maladie (Ouest dpts 35,49,76)
- Variétés implantées dans 4 groupes de précocité avec gamme de témoins sensibles à résistants
- Dispositifs lignes ou poquets - Bloc à 3 répétitions
- Inoculation :
 - Souche S.Tritici IPO-09415.MS1 multi virulente par rapport aux virulences prédominantes en France : sur 6, 7, 9, 13+14, 15 ($c = 1.10^{-6}$ spores/ml)
 - Pulvérisation de spores au stade gonflement-dernière feuille étalée /gpes précocité
- Irrigation périodique après inoculation
- Notations selon une échelle de 1 à 9 / parcelle correspondant à un % de plantes touchées et un % de surface foliaire nécrosée sur F1 et F2 :
 - 1^{ère} notation : 25-30% de surface nécrosée sur la F1 du témoin sensible du groupe de précocité
 - 2^{ème} notation : 60 à 65% de surface nécrosée sur F1 du témoin sensible du groupe de précocité (environ 2 semaines après la 1^{ère} notation)



Septoria tritici

Sur les 2 derniers étages foliaires attaqués :

% de plantes affectées	% de surface foliaire attaquée	Note
0	0	1
25	< 10%	2
25	$10 < S < 20$	3
50	$20 < S < 30$	4
100	$30 < S < 40$	5
100	$40 < S < 50$	6
100	$50 < S < 60$	7
100	$60 < S < 70$	8
100	> 70	9



- Echelle de notation illustrée avec des photos dans les protocoles VATE/BIOAG
- Entraînement possible sur la plate-forme Quantipest (didacticiel en ligne)



Quelle note de sensibilité à la septoriose donneriez-vous à cette variété ? Voici la série de photos représentant une même variété. Pour agrandir cliquer sur les photos.

(Click on the photos to magnify them)

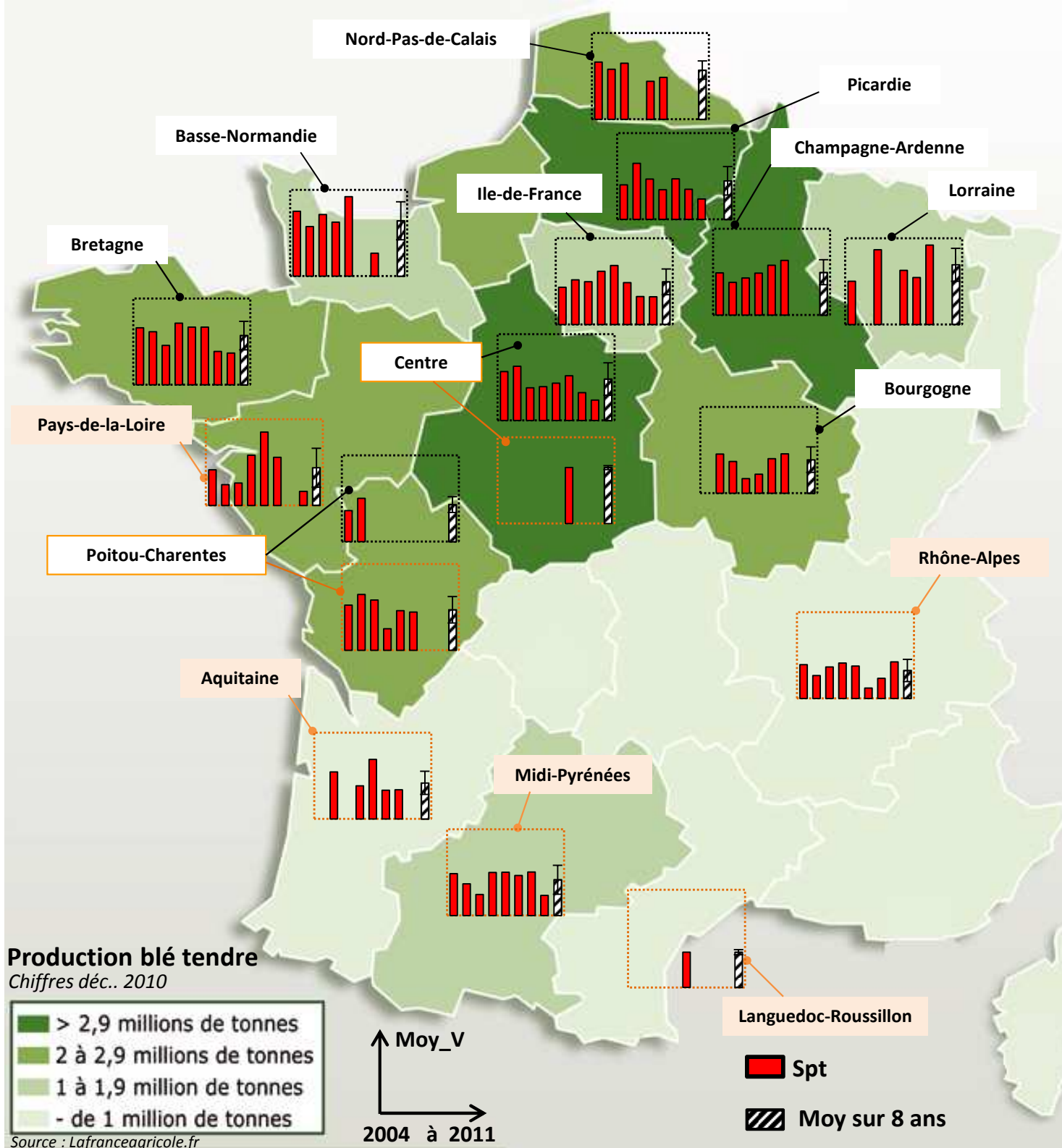


- Ⓐ Note 1 : Absence de dégâts
- Ⓑ Note 2 : 25% de plantes affectées et moins de 10% de surface foliaire atteinte
- Ⓒ Note 3 : 25% de plantes affectées et 10 à 20% de surface foliaire atteinte
- Ⓓ Note 4 : 50% de plantes affectées et 20 à 30% de surface foliaire atteinte
- Ⓔ Note 5 : 100% de plantes affectées et 30 à 40% de surface foliaire atteinte
- Ⓕ Note 6 : 100% de plantes affectées et 40 à 50% de surface foliaire atteinte
- Ⓖ Note 7 : 100% de plantes affectées et 50 à 60% de surface foliaire atteinte
- Ⓗ Note 8 : 100% de plantes affectées et 60 à 70% de surface foliaire atteinte
- Ⓘ Note 9 : 100% de plantes affectées et plus de 70% de surface foliaire atteinte

Submit

Question 1 / 20

Site Web : quantipest.endure-network.eu/



Pression SEPTORIOSE par région dans le réseau CTPS

2004-2011

Région	% essais notés Spt	Nb Essais Notés Spt	P°Spt	Nb Essais suivis
N Alsace	0%			3
Auvergne	0%			24
Basse-Normandie	86%	6	5.8	7
Bourgogne	38%	10	3.5	26
Bretagne	90%	35	5.1	39
Centre	62%	51	4.3	82
Champagne-Ardenne	63%	30	4.5	48
Ile-de-France	90%	45	4.5	50
Lorraine	63%	5	6.2	8
Nord-Pas-de-Calais	58%	23	5.1	40
Pays-de-la-Loire	0%			6
Picardie	69%	50	4.0	72
Poitou-Charentes	67%	4	3.9	6
Total	63%	259	4.5	411
S Aquitaine	67%	8	3.8	12
Auvergne	0%			12
Centre	17%	2	5.8	12
Languedoc-Roussillon	9%	2	3.2	23
Midi-Pyrénées	52%	26	3.7	50
Pays-de-la-Loire	83%	10	3.9	12
Poitou-Charentes	54%	13	4.2	24
Rhône-Alpes	82%	18	2.9	22
Total	47%	79	3.7	167

FSOV 2008- 2011

Tests spécifiques de résistance au piétin-verse (essais inoculés)

- 2 essais spécifiques en contamination artificielle :
GEVES Anjouère / INRA Rennes - 3 répétitions
- Variétés implantées dans 4 groupes de précocité
avec gamme de témoins sensibles à résistants
- Inoculation :
 - Souche de type blé (*oculimacula yallundae*) à croissance normale
 - Multiplication sur grains d'orges par le labo patho de la SNES
 - Epandage des grains d'orge au champ au stade 2 feuilles (10 à 15g grains/m²)
- Implantation de témoins dits 'de déclenchement' /groupes de précocité pour
lancer l'arrachage des variétés en étude (IM=70% +/-5%)
- Estimation visuelle du % de section nécrosée sur 50 maitres-brins et répartition
en 6 classes d'attaque
- Détermination de l'indice médiane d'attaque pour comparaison aux témoins



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Piétin Verse : échelle de notation visuelle

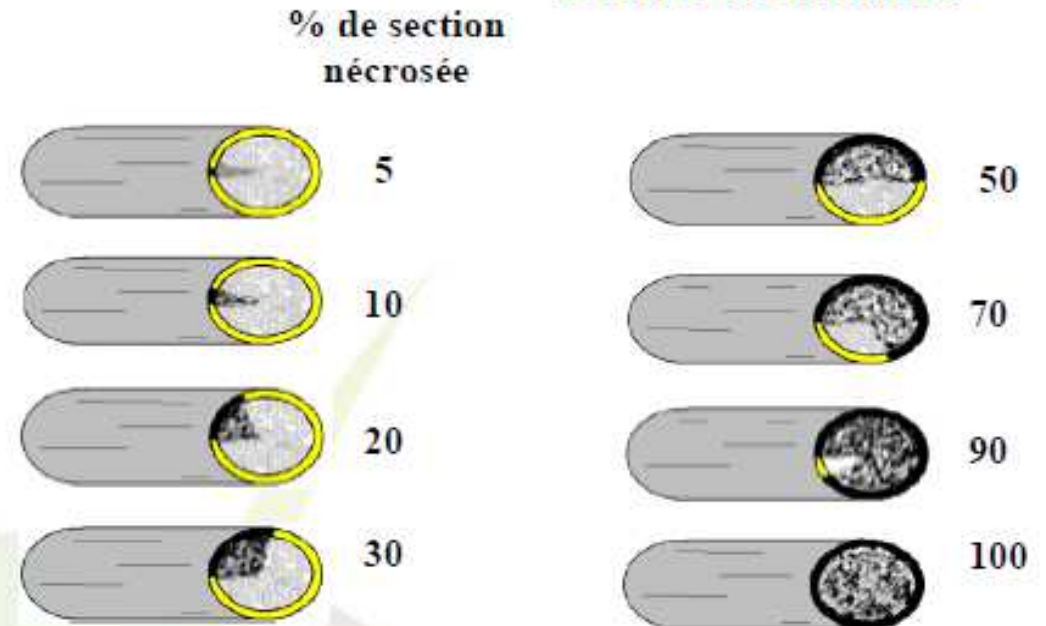
Tiges réparties en 6 classes d'attaque (n_i), selon le pourcentage de section de tige nécrosée par la maladie :

- $n_1 = 0 \%$
- $n_2 = 1 \text{ à } 25 \%$
- $n_3 = 26 \text{ à } 50 \%$
- $n_4 = 51 \text{ à } 75 \%$
- $n_5 = 76 \text{ à } 99 \%$
- $n_6 = 100 \%$



MALADIES DU PIED

Echelle de notations



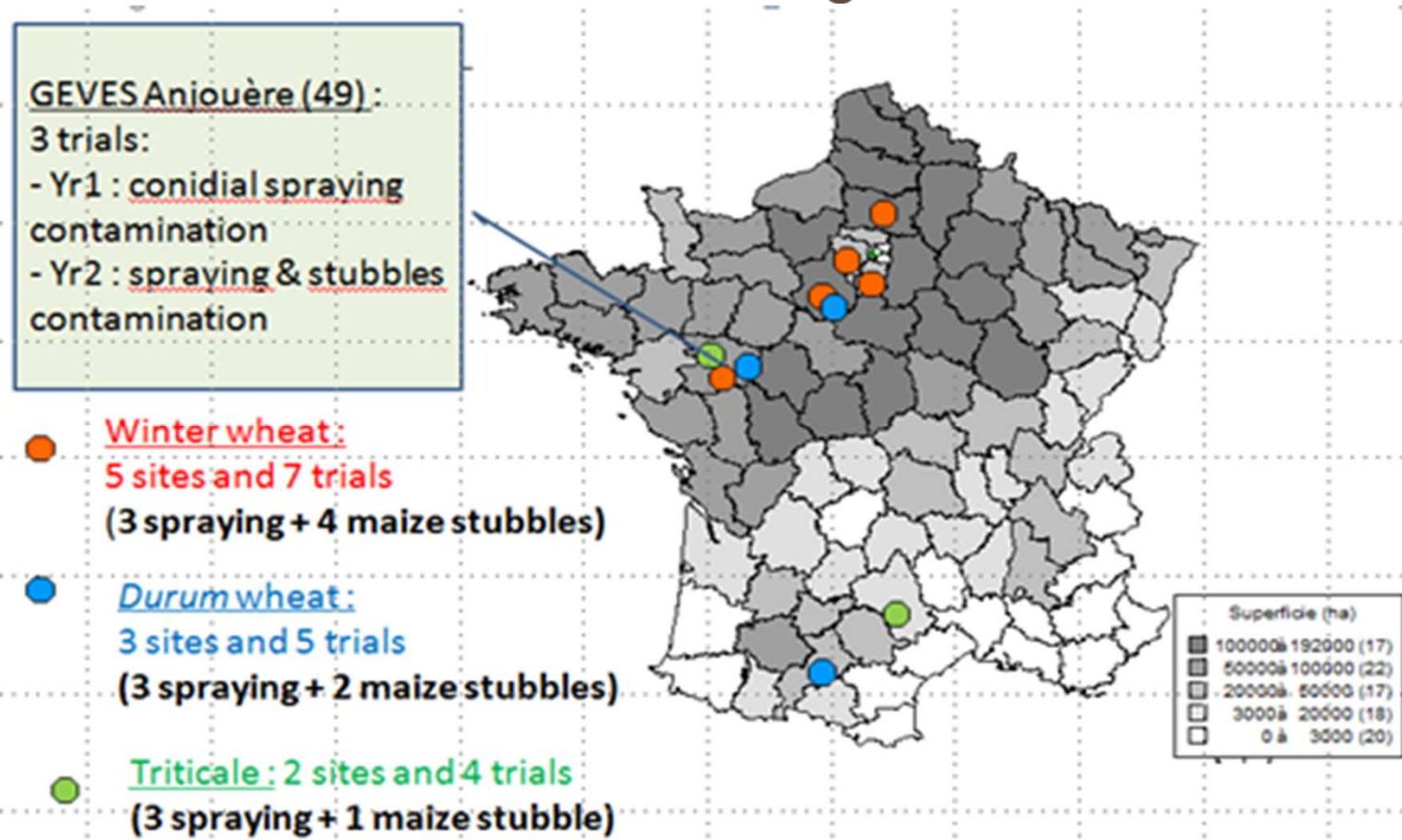
Indice médiane : IM

$$IM = (0 \cdot n_1 + 12.5 \cdot n_2 + 37.5 \cdot n_3 + 62.5 \cdot n_4 + 87.5 \cdot n_5 + 100 \cdot n_6) / N$$

n_i : nombre de tige nécrosée de la classe i

N : nb plantes total

Réseau CTPS pour évaluer la résistance à la Fusariose des céréales



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Tests de résistance à la fusariose sur épis en blé tendre

- 3 rép : lignes ou parcelles
- 4 groupes de précocité avec gamme de témoins dans chaque groupe
- 2 méthodes d'inoculation :
 - **par pulvérisation** de conidiospores de *F. graminearum* & *F. culmorum* ($c= 2.10^{-5}$ spores/ml) à floraison de chaque variété
 - **par cannes de maïs** (ascospores de *F. graminearum*)
- **Irrigation à partir de 3 semaines avant floraison** des variétés les plus précoces (pour la maturation des périthèces) jusqu'à la fin des notations
- **Notations :** Estimation visuelle du % épillets fusariés/épi
3 rép de 25 épis
 - 1^{ère} notation : environ 350°C jour après floraison ou 25-30% attaque du témoin sensible du groupe de floraison
 - 2^{ème} notation : 450°C jour après floraison ou 60-65% attaque du témoin sensible du groupe de floraison



Multiplication sur grains d'orge



0 5 10 20 40 50 60 90 100



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Intégration des mycotoxines au CTPS ?

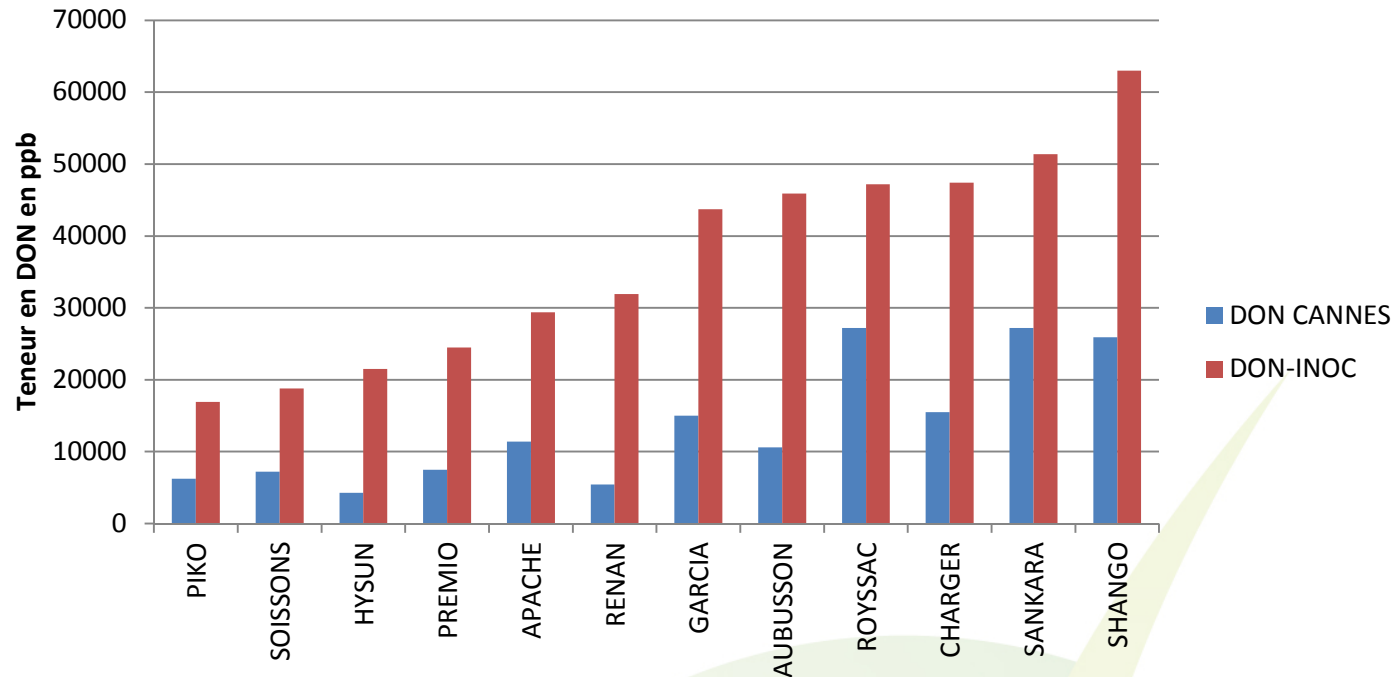


GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Winter wheat: Comparison of DON content in a trial contaminated by maize stubble and by spraying

GEVES Anjouère 2011



Good correlation between contamination by spraying and by stubbles for DON and NIV

Matrice de corrélation (Pearson) :

Variables	DON CANNES	DON-INOC	NIVALENOL CANNES	NIVALENOL INOC	ZEARALENONE CANNES	ZEARALENONE INOC
DON CANNES	1	0.846	0.786	0.774	0.780	0.186
DON-INOC	0.846	1	0.770	0.846	0.527	0.194
NIVALENOL CANNES	0.786	0.770	1	0.817	0.487	0.616
NIVALENOL INOC	0.774	0.846	0.817	1	0.620	0.392
ZEARALENONE CANNES	0.780	0.527	0.487	0.620	1	0.216
ZEARALENONE INOC	0.186	0.194	0.616	0.392	0.216	1

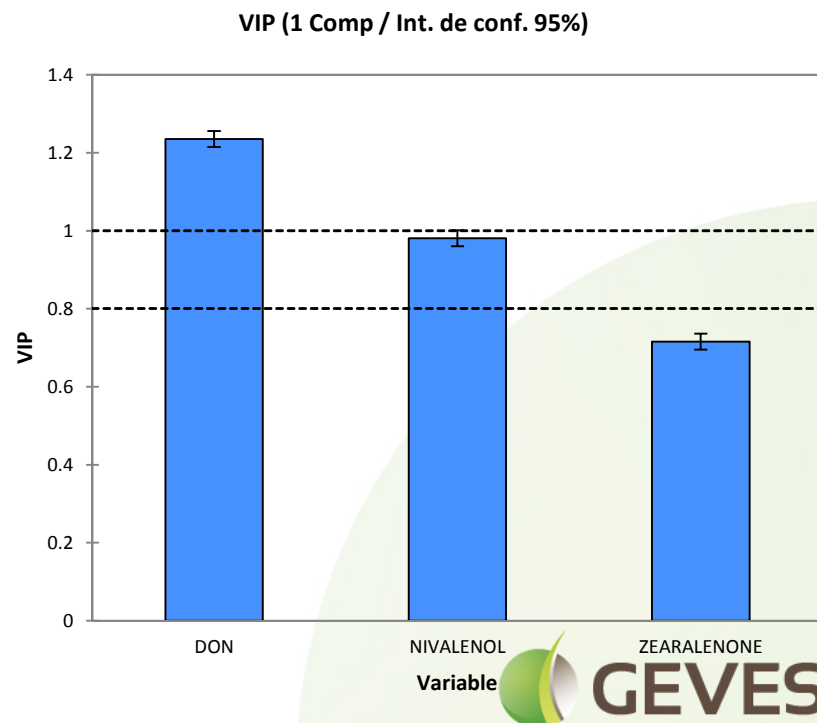
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

Régression PLS en 2011 entre note fusariose et mycotoxines : NIV, ZEA, DON

Essai GEVES Anjouère 2011 canne de maïs

Qualité du modèle :

Indice	Comp1
Q ² cum	0.574
R ² Y cum	0.645
R ² X cum	0.756



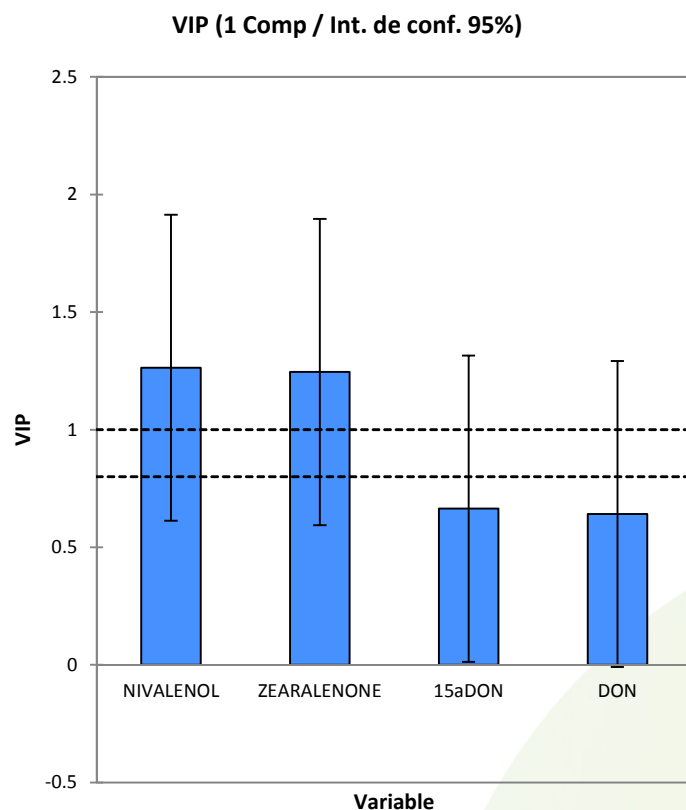
En 2011, la DON est la variable la plus explicative du taux de fusariose

Matrice de corrélation :

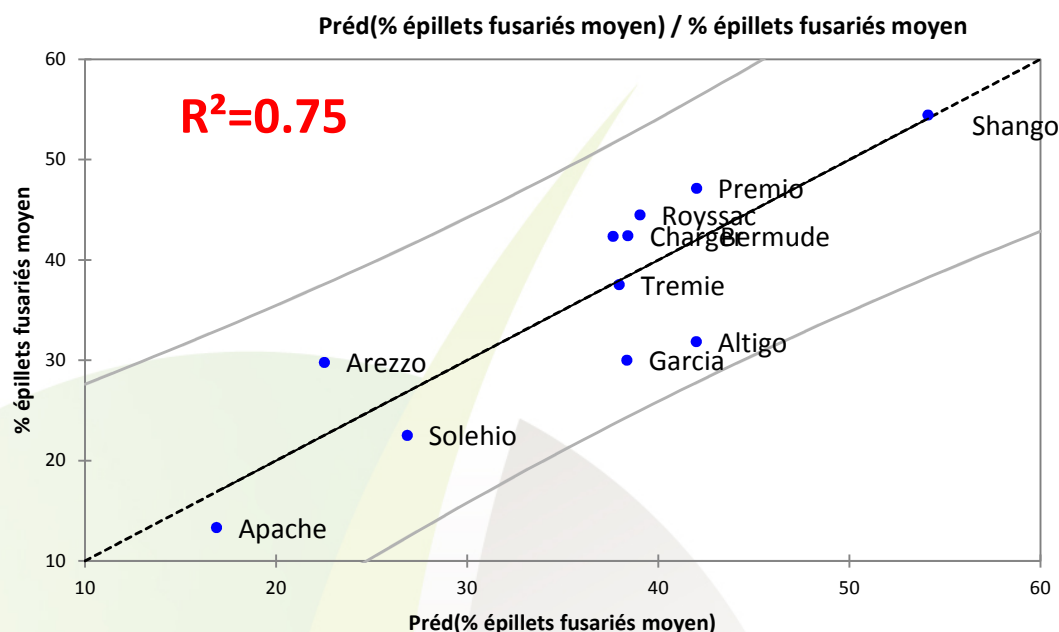
Variables	DON	NIVALENOL	ZEARELENONE	% épislets fusariés
DON	1.000	0.738	0.717	0.854
NIVALENOL	0.738	1.000	0.442	0.679
ZEARELENONE	0.717	0.442	1.000	0.495
% épislets fusariés	0.854	0.679	0.495	1.000

Régression PLS en 2012 entre taux de fusariose et mycotoxines : **NIV, ZEA, DON et 15 ADON**

Essai GEVES Anjouère 2012 canne de maïs



En 2012, NIV et ZEA sont les variables les plus explicatives du taux de fusariose



GEVES

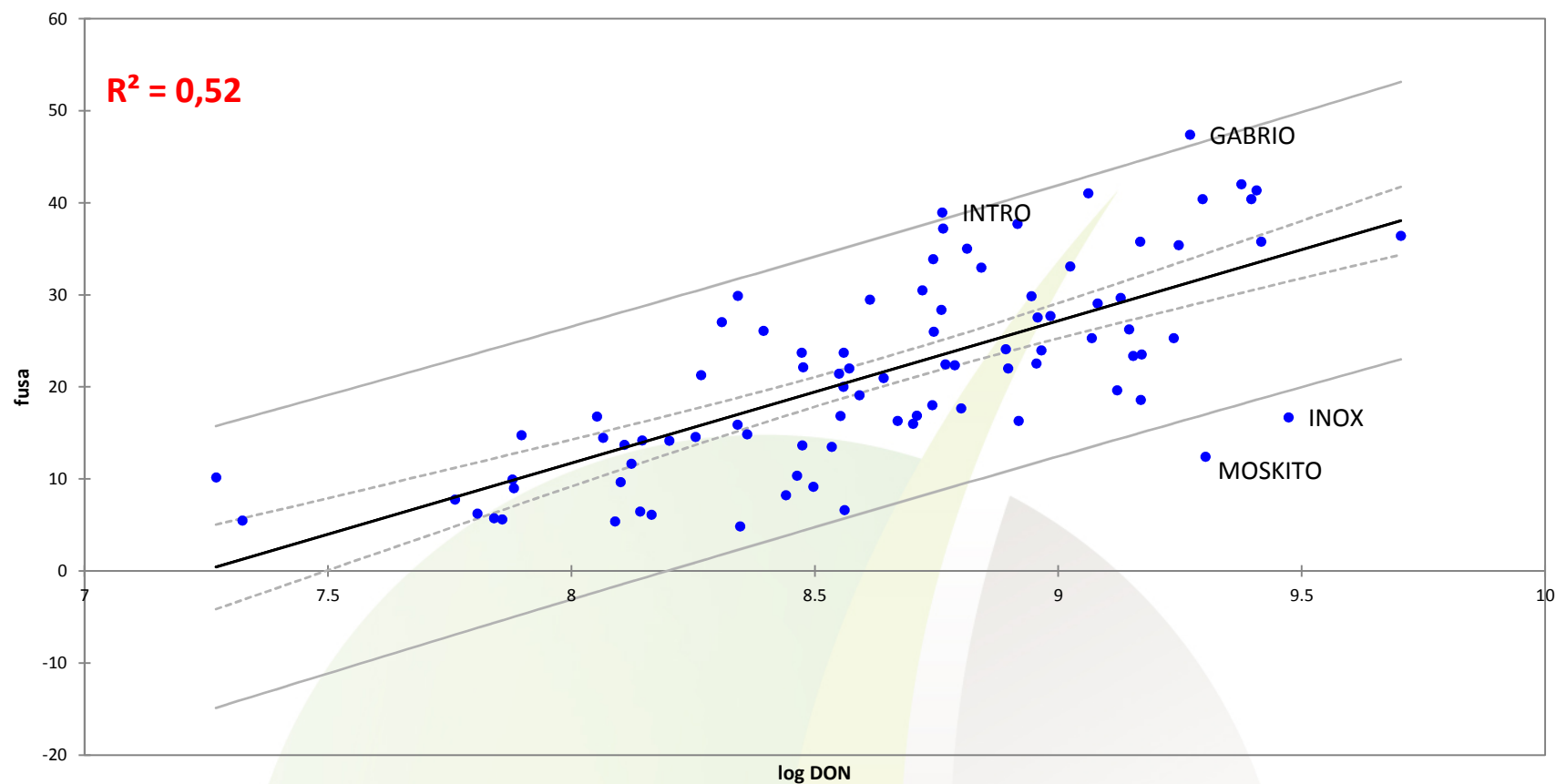
Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Corrélation entre % FHB et DON

5 essais CTPS : 2011-2012 avec cannes de maïs

Maule 2011 Anjouère 2011, Anjouère 2012, Froissy 2012, Boigneville 2012

Régression de fusa par log DON ($R^2=0,522$)



● Actives — Modèle - - - Int. de conf. (Moyenne 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%) — Linéaire (Actives) — Linéaire (Modèle)



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Synthèse 2011-2012

R ²	Anjouère 2011				Maule 2011				Anjouère 2012					Boigneville 2012					Froissy 2012				
	DON	NIV	ZEA	PLS	DON	NIV	ZEA	PLS	DON	NIV	ZEA	15aD	PLS	DON	NIV	ZEA	15aD	PLS	DON	NIV	ZEA	15aD	PLS
Témoins	0.73	0.46	0.39	0.65	0.91	0.43	0.93	0.97	0.1	0.39	0.49	0.1	0.73	0.19	0.11	0.05	0.24	0.16	0.71	0.4	0.67	0.71	0.85
Toutes variétés confondues	0.68	0.53	0.36	0.71	0.83	0.42	0.66	0.79	0.26	0.38	0.55	0.26	0.5	0.14	0.02	0.2	0.14	0.2	0.5	0.3	0.3	0.5	0.51

		Tous lieux confondus	
R ²		2011-2012	
		DON	PLS
Témoins		0.69	0.73
Toutes variétés confondues		0.52	0.62

Conclusion -Discussion :

- DON pas toujours le mieux corrélé avec le % FHB, selon le chémotype de la souche de Fusarium présent dans l'essai,
- Nivalenol et Zéaralenone sont souvent des VIP variables dans la prédiction du % FHB
- La prédiction du %FHB selon la PLS (R²=0.62) peut être meilleure que celle de la DON seule (R²=0.5)
- Les Experts VATE ont demandé de collecter plus d'années avant de conclure sur l'intégration des mycotoxines pour l'inscription au CTPS



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

4. Nouvelle méthode de phénotypage par imagerie multispectrale pour évaluer la résistance variétale à la fusariose

Mesure du taux de grains fusariés



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Objectifs visés

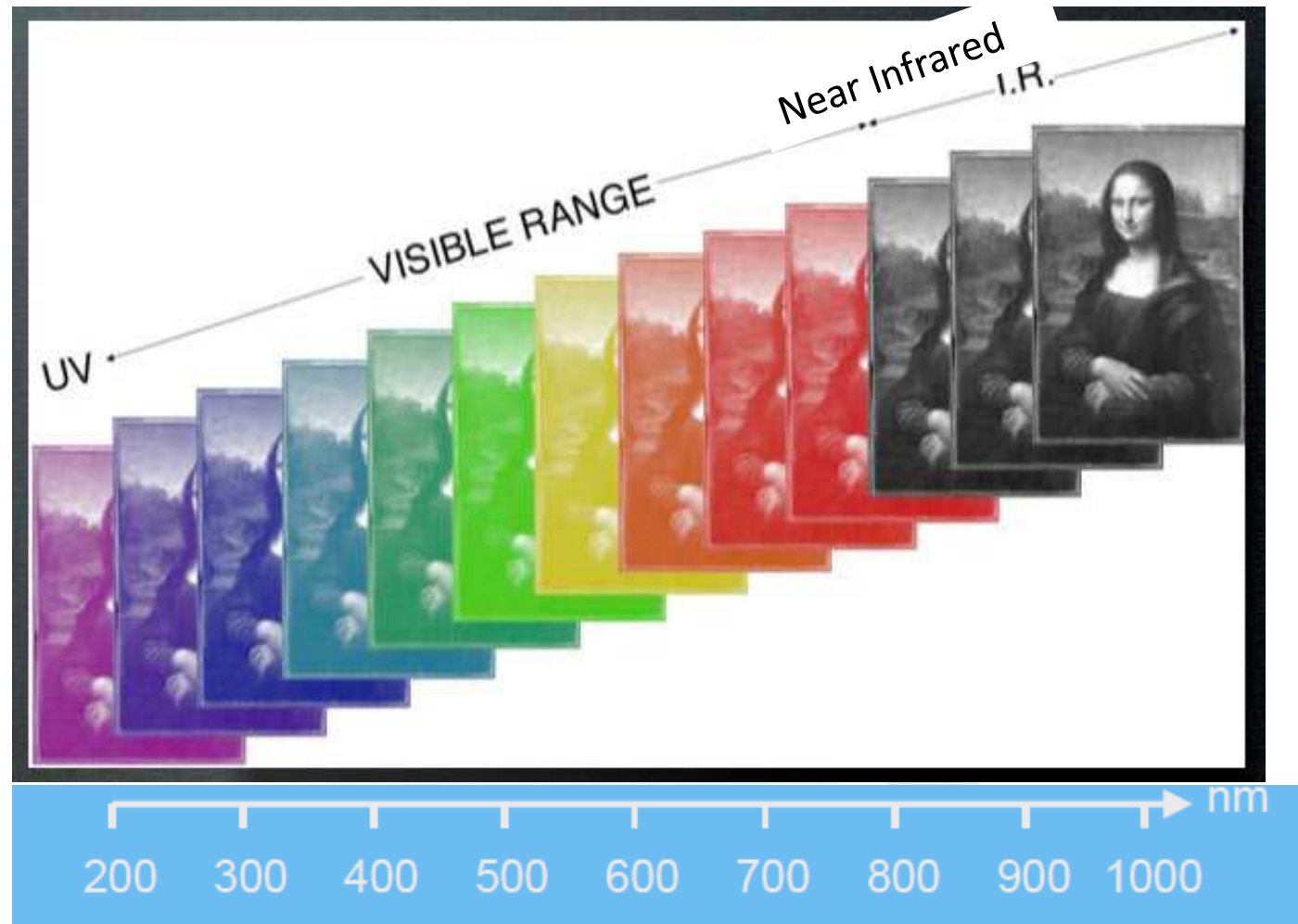
- Passer des notations visuelles subjectives à des mesures physiques automatisées, demandant moins d'expertise
- Gain de temps ?



GEVES

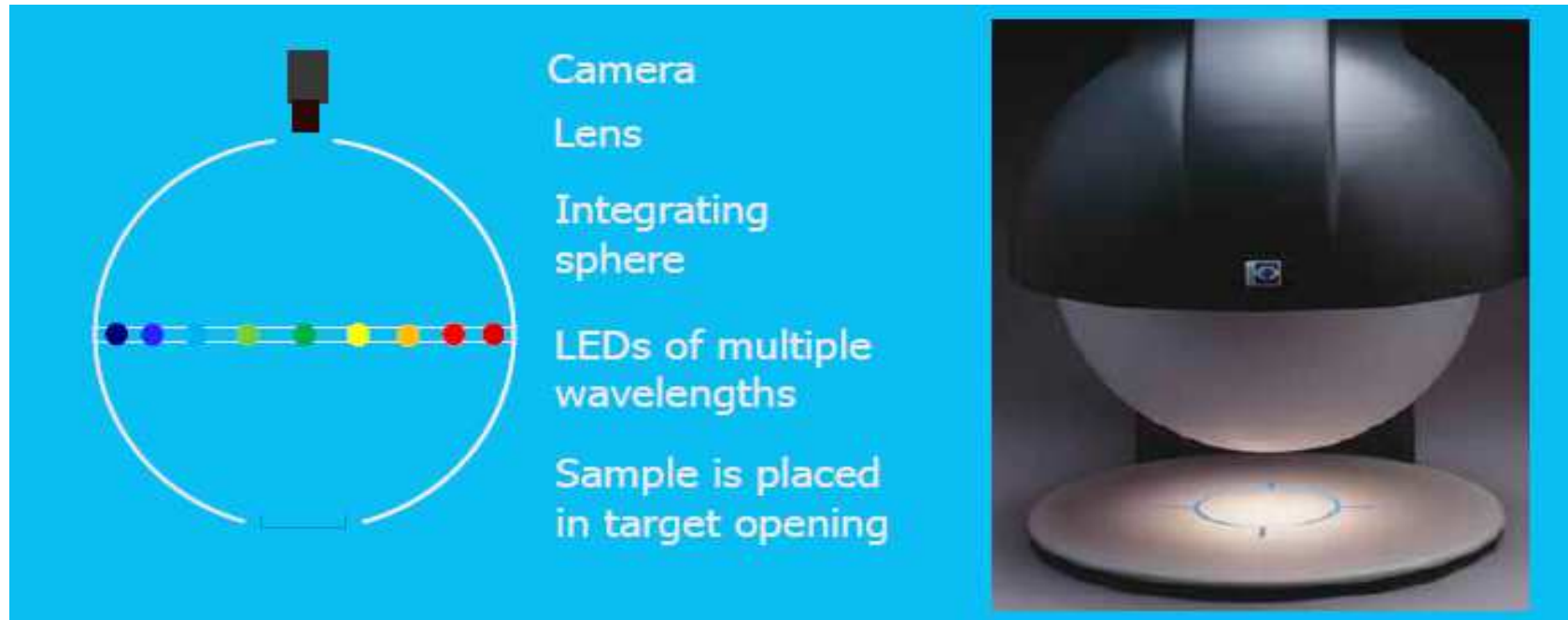
Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Imagerie multispectrale



- N images obtenues sur N longueurs d'ondes différentes
- Gamme de 360 nm à 1050 nm (Lab2 : 375 to 970 nm) ; + discriminant qu'en RVB

Imageur multispectral : Vidéomètre

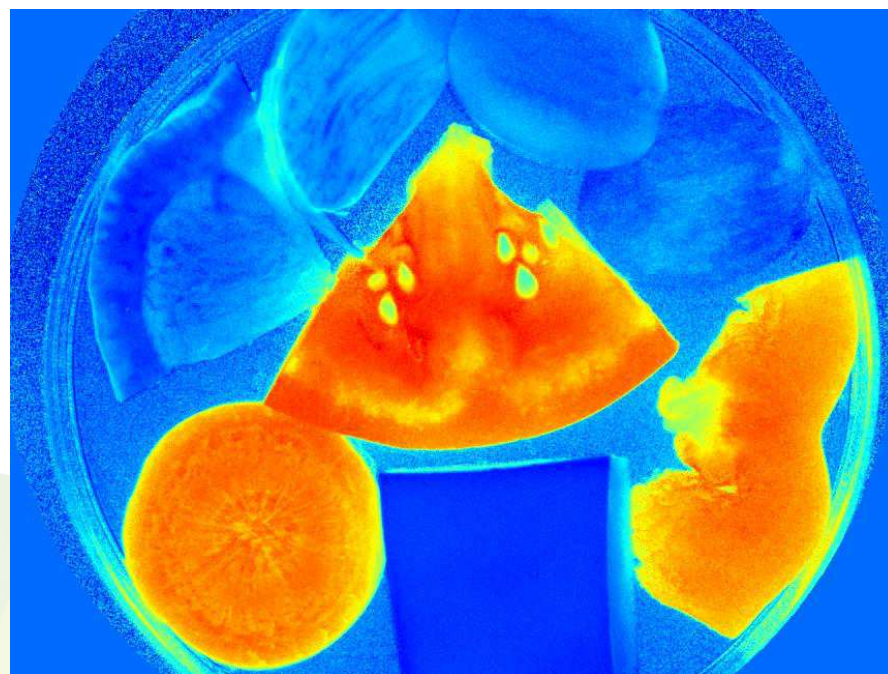


- Caméra numérique,
- 1 sphère comprenant jusqu'à 20 LEDs,
- Logiciel pour calibration, acquisition et analyses en multispectral de l'image et calculs statistiques



Imagerie multispectrale:

Classification des zones



nCDA : normalized Canonical Discriminant Analysis

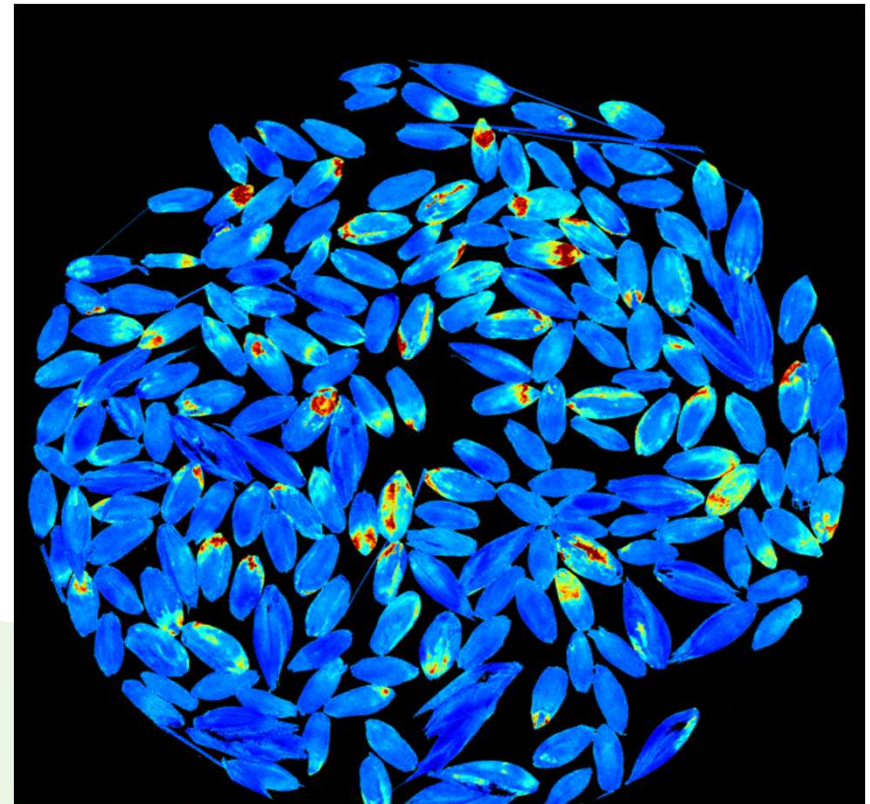


GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Imagerie multispectrale

➤ Notations de résistance à la fusariose



➤ Classification basée sur l'**Analyse Canonique Discriminante** entre les grains infectés (jaune/rouge) et sain (bleu)

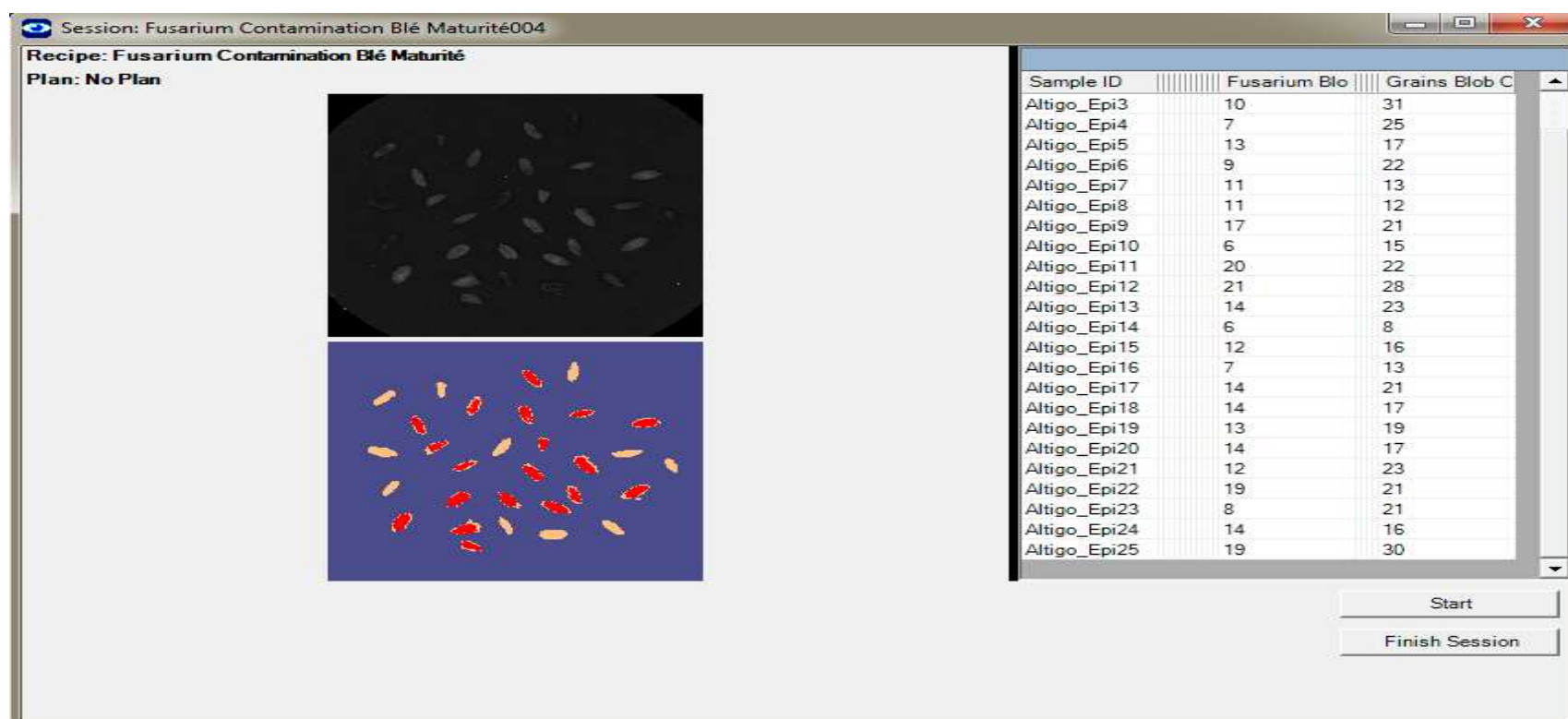
➤ Résolution : 45 μm /pixel ; 2056x2056 pixels par bande



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Analyse de données : % grains fusariés (Fusarium Damaged Kernels : %FDK)



- Seuillage des pixels classifiés
- Resultats exploités sur Excel



Imagerie multispectrale : Installation du convoyeur



- avec le convoyeur : 5 à 10 mins.pour 1000 semences
- Par boîte de "Petri : 2 mins / Petri de 10 cm pour 50 semences



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Gain de temps?

- **Notations visuelles au champ ?**

5 minutes * **3 spécialistes**/ligne de 25 épis = **15min/25 épis≈1000 grains**

- **Videometer avec convoyeur?**

1 personne : **5 to 10 minutes/ 1000 grains**, selon vitesse de **vibration & convoyeur**

....cependant ce temps n'inclue pas le temps de récolte

Valable si combiné avec nécessité de récolter pour étudier d'autres critères, comme la teneur en mycotoxines

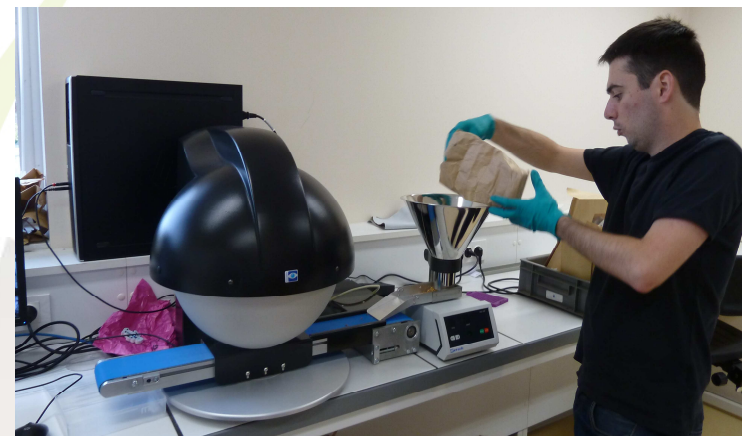


GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Objectifs 2013

1. Développer un algorithme pour évaluer par Imagerie multispectrale la résistance variétale à *Fusarium graminearum* & *F. culmorum* sur grains fusariés
2. Etudier les corrélations entre grains fusariés, épislets fusariés et qPCR



Materiels et Méthodes 2013 :

Blé tendre/ *Fusarium graminearum* and *culmorum*

➤ Dispositif expérimental :

- 1 site: GEVES Anjouère
- inoculation en mélange de Fg & Fc , c= 2 10⁵ sp/ml
- *F. graminearum* : souche MTK 004 (DON, 15 a DON)
- *F. culmorum* : souche 09-03=R964 (DON)
- Blé tendre : 5 témoins de même précocité
- 3 rep de 25 épis

➤ Notations visuelles au champ :

☐ At 360°C dpi :

- % épillets fusariés (% VDA) par comptage
- % grains fusariés (%FDK) par comptage

☐ A maturité : % FDK

➤ Videometer : % grains fusariés (%FDK)

☐ Boîte de Petri

- Épi par épi: 1 rep
- en mélange: 1 rep de 25 épis avec les 1000 grains en mélange

☐ Convoyeur

➤ qPCR : Source Arvalis-Mycotek

- Sonde TaqMan® : *F. graminearum*



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Analyses sanitaires 2013

SPECIES	Cultivar	% <i>Microdochium</i> spp	% Section <i>F. Discolor</i>	% Section <i>Roseum</i>	% Section <i>Sporotrichiella</i>	% <i>Septoria nodorum</i>	% <i>Helminthosporium sativum</i>
Winterwheat	Garcia	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Winterwheat	Royssac	0.25%	99.50%	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%
Winterwheat	Trémie	0.25%	97.75%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Winterwheat	Orvantis	0.75%	96.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Winterwheat	Shango	0.25%	99.00%	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%
Durum wheat	Dakter	0.25%	96.25%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Durum wheat	Silur	0.50%	85.25%	2.50%	0.25%	0.00%	0.00%
Triticale	Bienvenu	0.00%	76.25%	1.75%	0.00%	0.00%	0.00%
Triticale	Collégial	0.00%	69.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



SNES: analyses de 400 grains

Dominance de Fusarium section Discolor (F. graminearum and culmorum)
Très peu de Microdochium



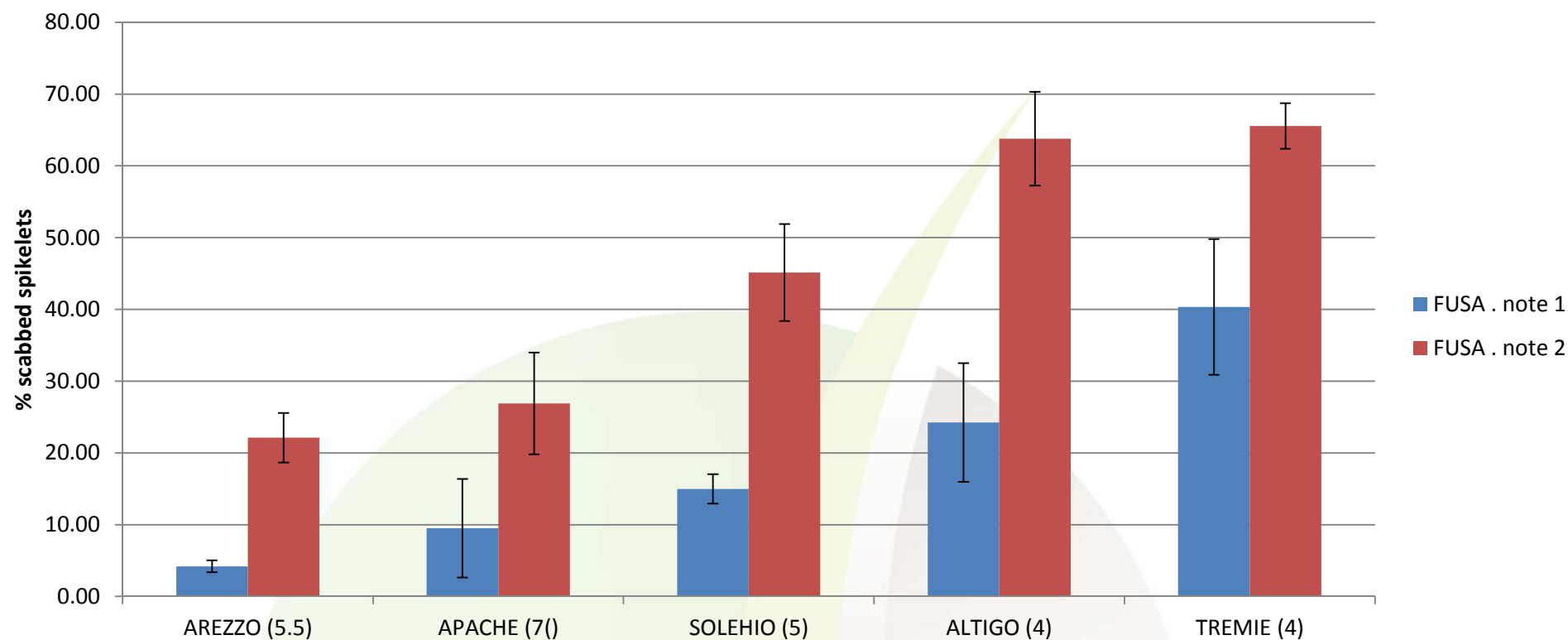
GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Classification de la résistance variétale des témoins par notations visuelles

Anjouère 2013 : Essai par inoculation

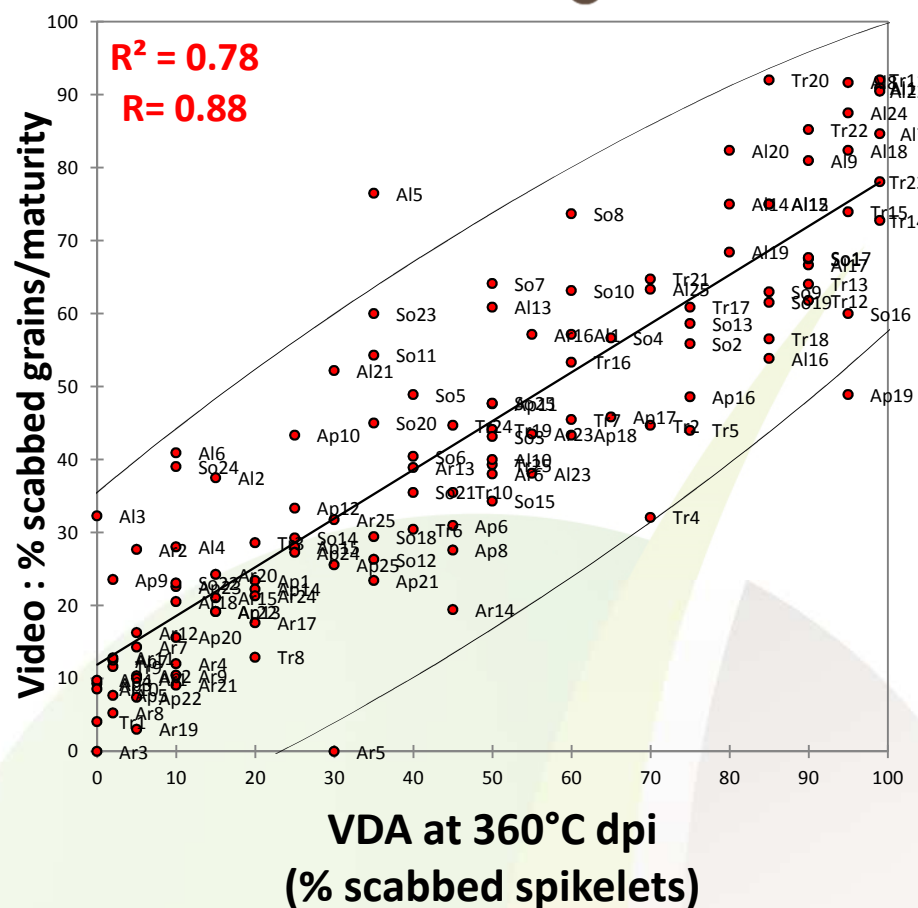
2 date de notations



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Corrélation entre le taux de grains fusariés par imagerie multispectrales à maturité et le % épillets fusariés à 360°C dpi, épi par épi, Anjouère inoc 2013



GEVES

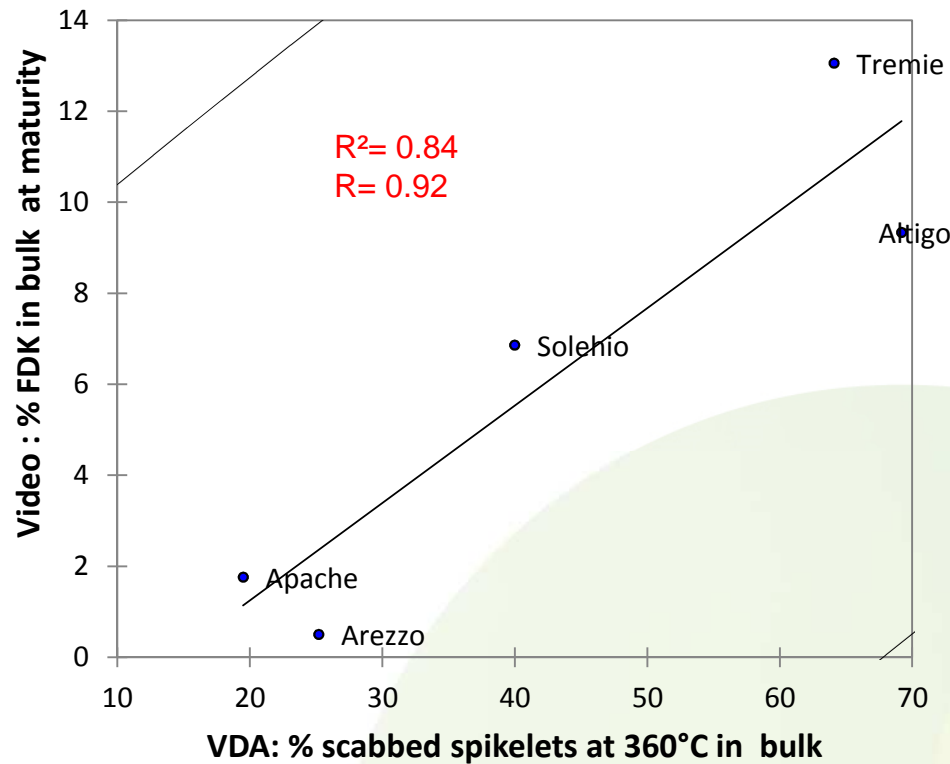
Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Video : % FDK/spike at maturity

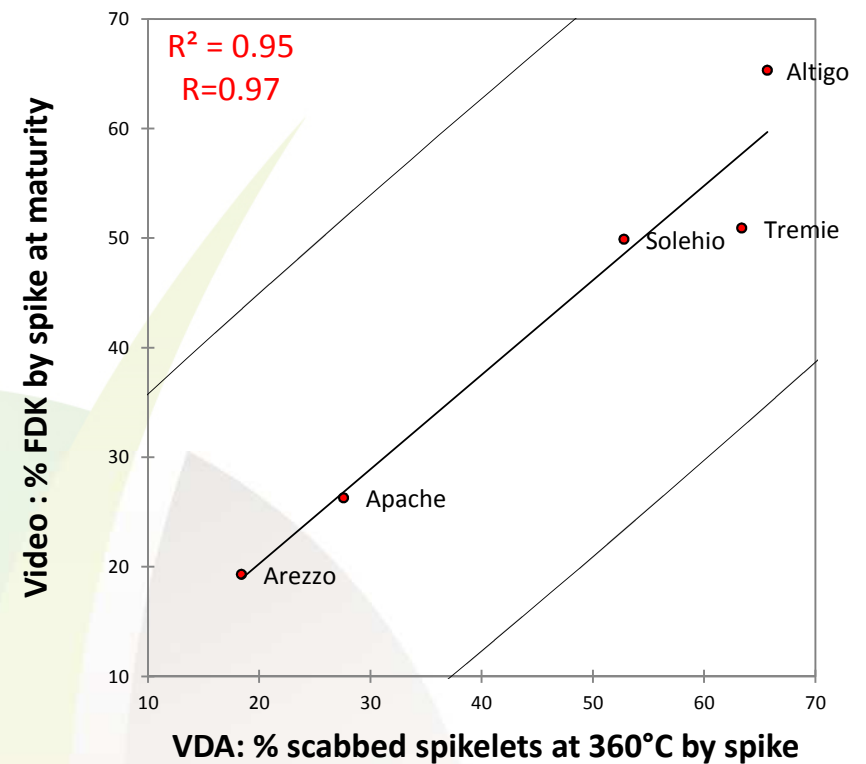


Comparaisons des corrélations FDK/VDA entre notations en bulk et par épi

En bulk



Par épi



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

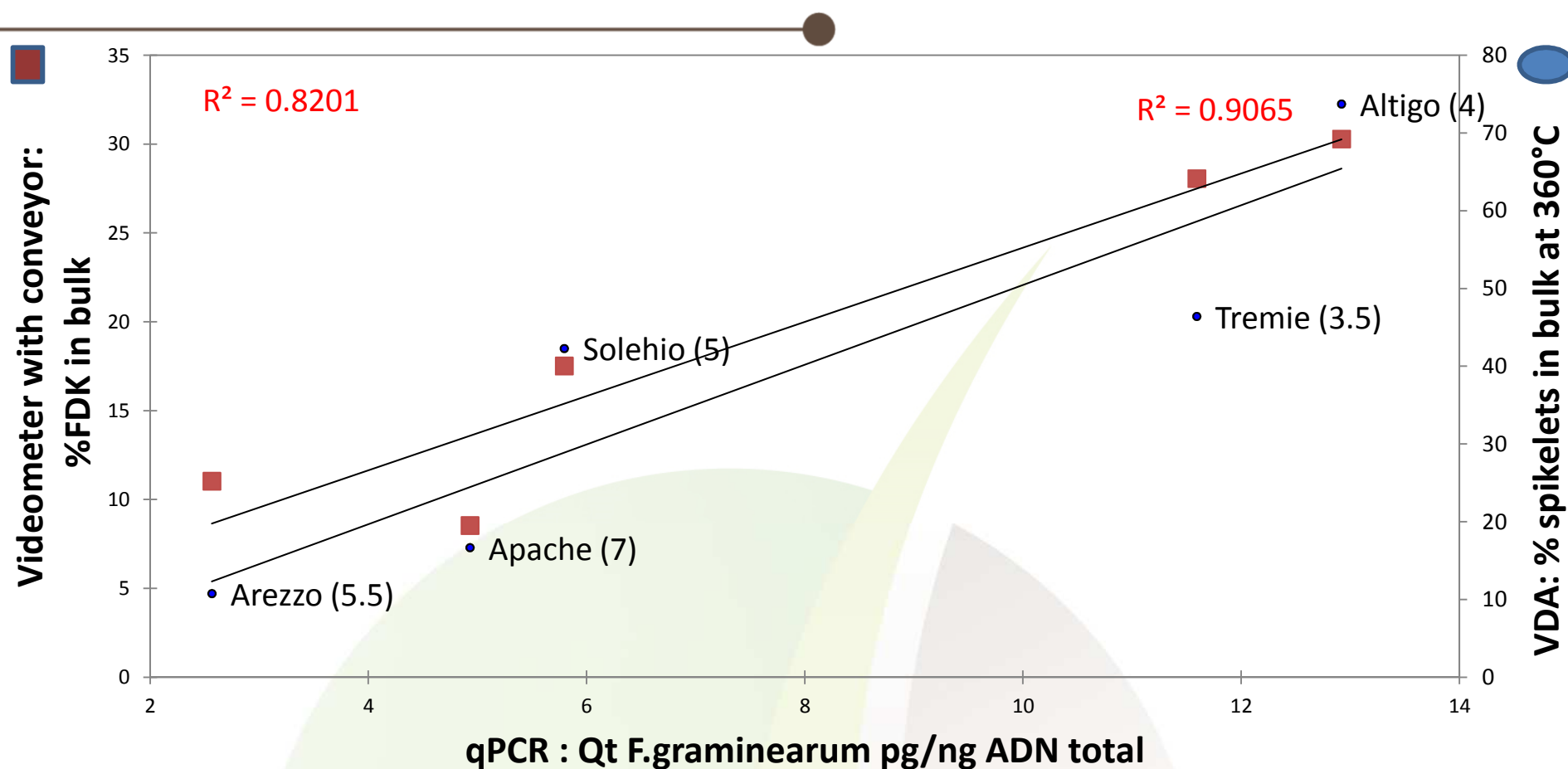
2013 : Bilan des corrélations entre les différents facteurs étudiés

	Pearson correlation	VDA			Multipectral imaging		
		At 360 dpi : % FDK/spike	At 360 dpi: % scabbed spikelets in bulk	At maturity: % FDK	at maturity: % FDK/spike	Without conveyor, at maturity: % FDK/bulk	With conveyor, at maturity: % FDK/bulk
VDA	At 360 dpi : % FDK/spike	1	0.931	0.965	0.972	0.948	0.933
	At 360 dpi: % scabbed spikelets in bulk	0.931	1	0.851	0.908	0.918	0.92
	At maturity: % FDK	0.965	0.851	1	0.958	0.871	0.924
Multipectral imaging	At maturity: % FDK/spike	0.972	0.908	0.958	1	0.85	0.984
	Without conveyor, at maturity: % FDK/bulk	0.948	0.918	0.871	0.85	1	0.798
	With conveyor at maturity: % FDK/bulk	0.933	0.92	0.924	0.984	0.798	1

Corrélations élevées entre :

- grains fusariés et épillets fusariés
- notations à 360° dpi et à maturité sur grains
- « épi individuel » et « en bulk »
- « Boite de Petri » et « convoyeur »

Corrélation entre la masse fongique et le FDK par imagerie multipectrale et le % épisets fusariés par VDA



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Mycotek : Analyses sanitaires dans les essais inoculés avec *Fusarium graminearum* et *Microdochium nivale* à Verneuil l'Etang

Référence	Nb semences analysées	% Microdochium spp.	% Fusarium Section Discolor	% Fusarium sp.
Fusa MTK12 Bermude récolté	74	12,16	43,24	1,35
Fusa MTK12 Bermude récolté	71	14,08	38,03	0
M. Nivale Premio récolté rép 1	62	30,65	20,97	0
M. Nivale Premio récolté rép 2	61	42,62	26,23	0

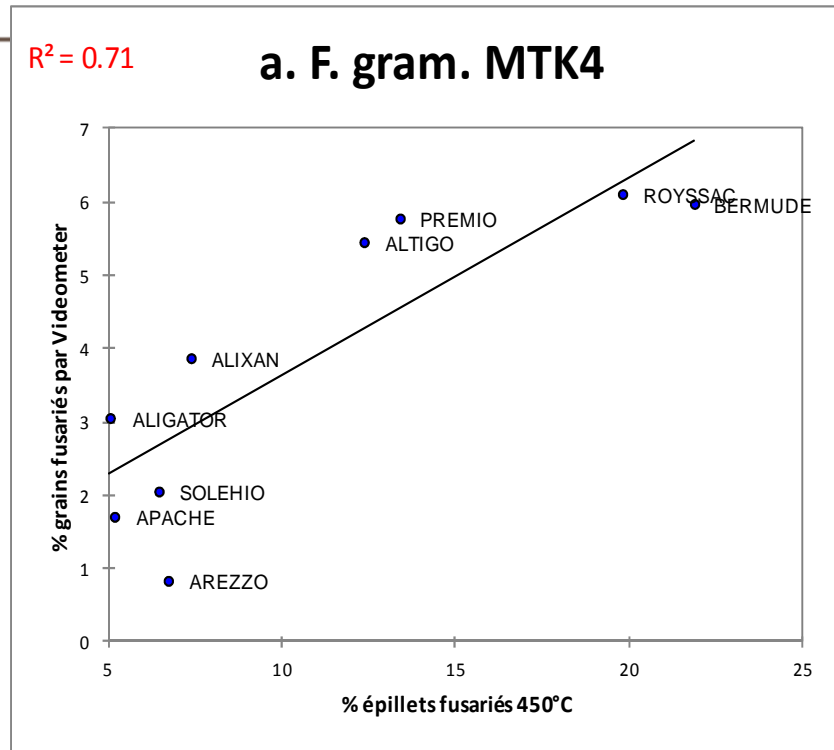


GEVES

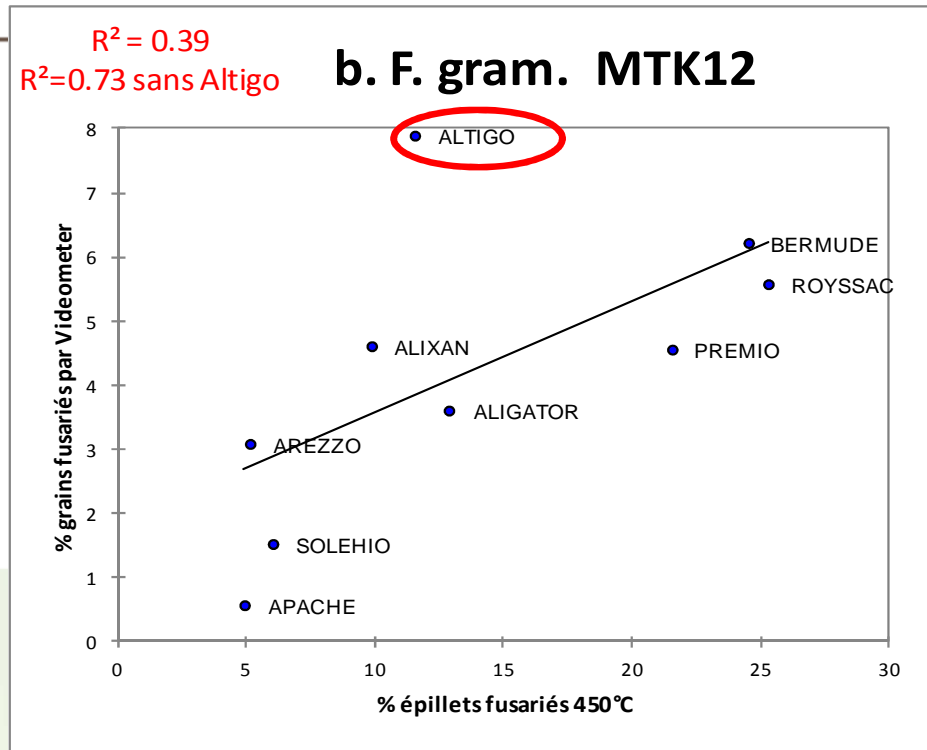
Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Mycotek : Corrélation entre le taux de grains fusariés par imagerie multispectrale et le % épillets fusariés à Verneuil l'Etang

15 a DON



Nivalenol



En présence de Microdochium, la corrélation Notation visuelle/ grains fusariés peut être plus faible, due à une notation plus imprécise et un algorithme pas encore destiné à différencier Fusarium /Microdochium

Objectifs 2014 :

● Blé tendre:

- **facteur variété** : confirmer le classement de la résistance variétale à la fusariose
- **Facteur date de récolte**: effet sur le classement variétal ?
- Etude des corrélations entre taux de grains fusariés et teneurs en mycotoxines

● Blé dur :

- Développer un algorithme spécifique blé dur ou utilisation de celui du blé tendre ?



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Blé tendre 2014: Matériels et méthodes

- 1 site testé avec l'imagerie multispectrale : GEVES Anjouère
- Contamination par des cannes de maïs, avec *Fusarium graminearum*
- 74 cultivars dont 23 témoins,
- 3 reps de 25 épis
- Notations visuelles (%VDA): % épislets fusariés à 2 dates : 500 and 600 °C dpi
- Videometer : % grains fusariés (%FDK)

Teneur en DON par HPLC-MS
(Capinov-Arvalis)

Sur 41 variétés : 13 témoins et 28
variétés de blé tendre inscrites
en 2015

Blé tendre : Notes de résistance CTPS/ groupe de précocité

2014.BLE TENDRE HIVER FRR SERIE 1 FUSA

N° Cultivar	Ref/Déno	Statut	Préco	Cot BULL.	COT REF 2013	Cot 2013	COT REF 2014
1002491	Aubusson	FRR	7	4.5	4.5	4	4.5
1006916	(Azimut 2013)	FRR	7.5	5	5	5	5
1006951	Hysun	FRR	7.5	6	5.5	5.5	5.5
1012169	Garcia	FRR	7.5	3	3.5	4	3.5
1029286	(Artdeco 2013)	FRR	7.5	6	6	4.5	5
1032510	Hyspeed	FRR	7.5				6

2014.BLE TENDRE HIVER FRR SERIE 2 FUSA

N° Cultivar	Ref/Déno	Statut	Préco	Cot BULL.	COT REF 2013	Cot 2013	COT REF 2014
126641	Soissons	VATE	7	5	5	5	5
150391	Tremie	FRR	7	3.5	4	3.5	3.5
158651	Apache	VATE	7	7	7 (6.5)	6.5	7 (6.5)
1009466	Paledor	FRR	7	4.5	4.5	4.5	4.5
1014430	Altigo	FRR	7	4	4	3.5	4
1016888	Arezzo	VATE	7	5.5	5.5	5.5	5.5
1019269	Solehio	VATE	7	5	5	5	5
1025185	Sy moisson	VATE	7	6	6	-	6

2014.BLE TENDRE HIVER FRR SERIE 3 FUSA

N° Cultivar	Ref/Déno	Statut	Préco	Cot BULL.	COT REF 2013	Cot 2013	COT REF 2014
139123	Renan	FRR	6	6	6.5	6	6.5
152152	Crousty	VATE	6	5	5	5	5
166875	Orvantis	FRR	6.5	3	3.5	3.5	3.5
1014480	Premio	FRR	6.5	5	5 (4.5)	3.5	4.5
1025147	(Pakito 2013)	VATE	6.5	5	5	4.5	5
1029187	Rubisko	VATE	6.5	5.5	5.5	-	5.5

2014.BLE TENDRE HIVER FRR SERIE 4 FUSA

N° Cultivar	Ref/Déno	Statut	Préco	Cot BULL.	COT REF 2013	Cot 2013	COT REF 2014
152025	Shango	FRR	5	3	3	3	3
158296	Piko	FRR		6.5	6.5	6.5	6.5
1007052	Sankara	FRR	5.5	4	3.5	3	3.5
1007063	Ephoros	FRR	5.5	5	5	5	5
1014473	Bermude	VATE	5.5	3.5	3.5	3.5	3.5
1022134	Oxebo	FRR	(5)	5.5	5.5	5.5	5.5



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Analyses sanitaires

Anjouère 2014 cannes de maïs

Analyses sur 400 semences

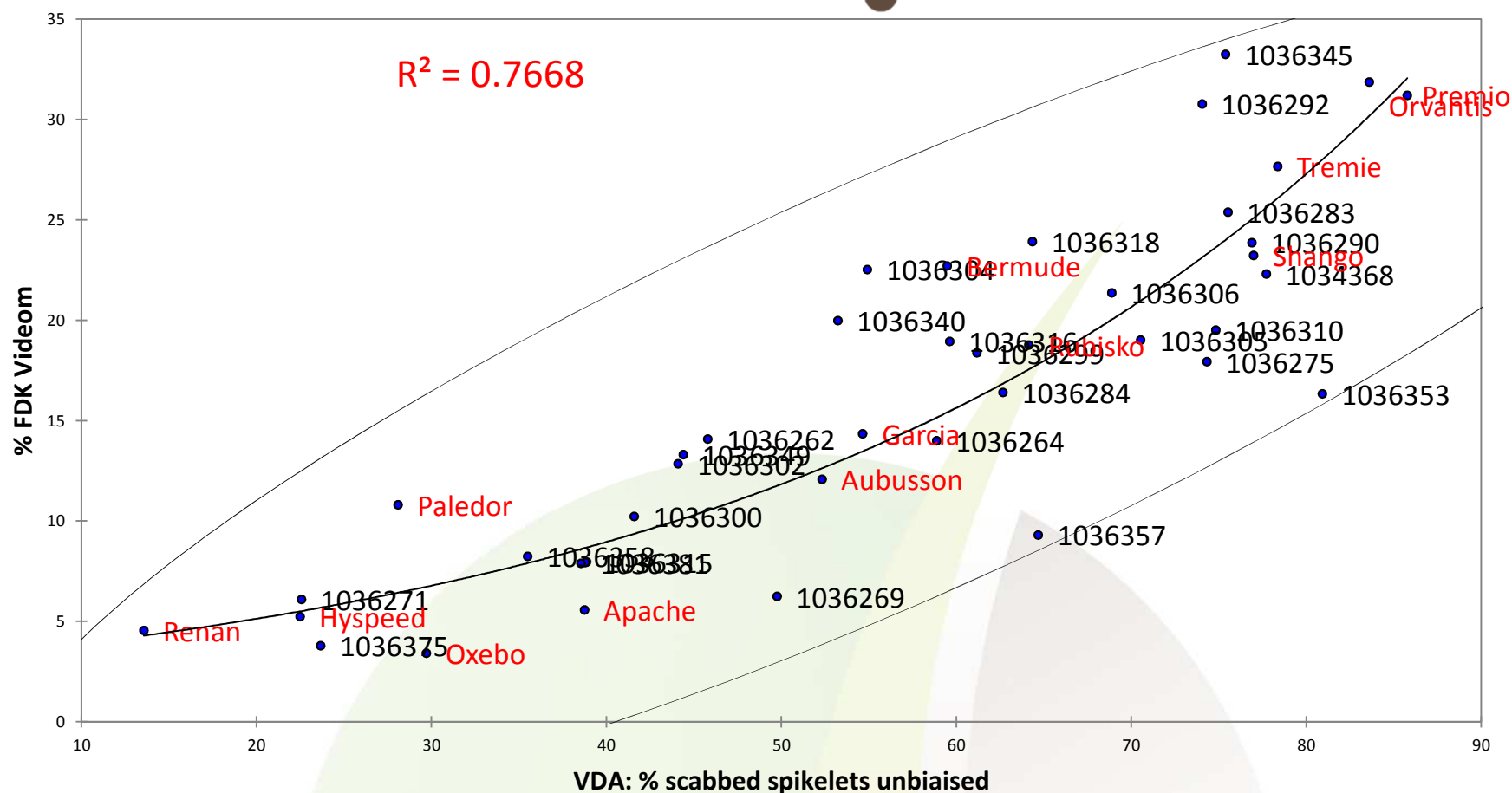
Variety	Date de Mise	Date lecture	% <i>Microdochium spp</i>	% <i>Section Discolor</i>	% <i>Section Roseum</i>	% <i>Section Sporotrichiella</i>	% <i>Septoria nodorum</i>	% <i>Helminthosporium sativum</i>
Garcia	24-juil	30-juil	1.50%	71.25%	0.25%	0.25%	0%	0%
Tremie (essai Fusa cannes)	24-juil	30-juil	2.00%	84.00%	1.50%	1.75%	0%	0%
Orvantis (essai Fusa cannes)	24-juil	30-juil	3.00%	81.75%	1.00%	1.00%	0%	0%
Premio (essai Fusa cannes)	24-juil	30-juil	2.00%	93.75%	0.50%	1.25%	0%	0%
Shango (essai Fusa cannes)	24-juil	30-juil	3.00%	68.50%	0.25%	8.25%	0%	0%



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

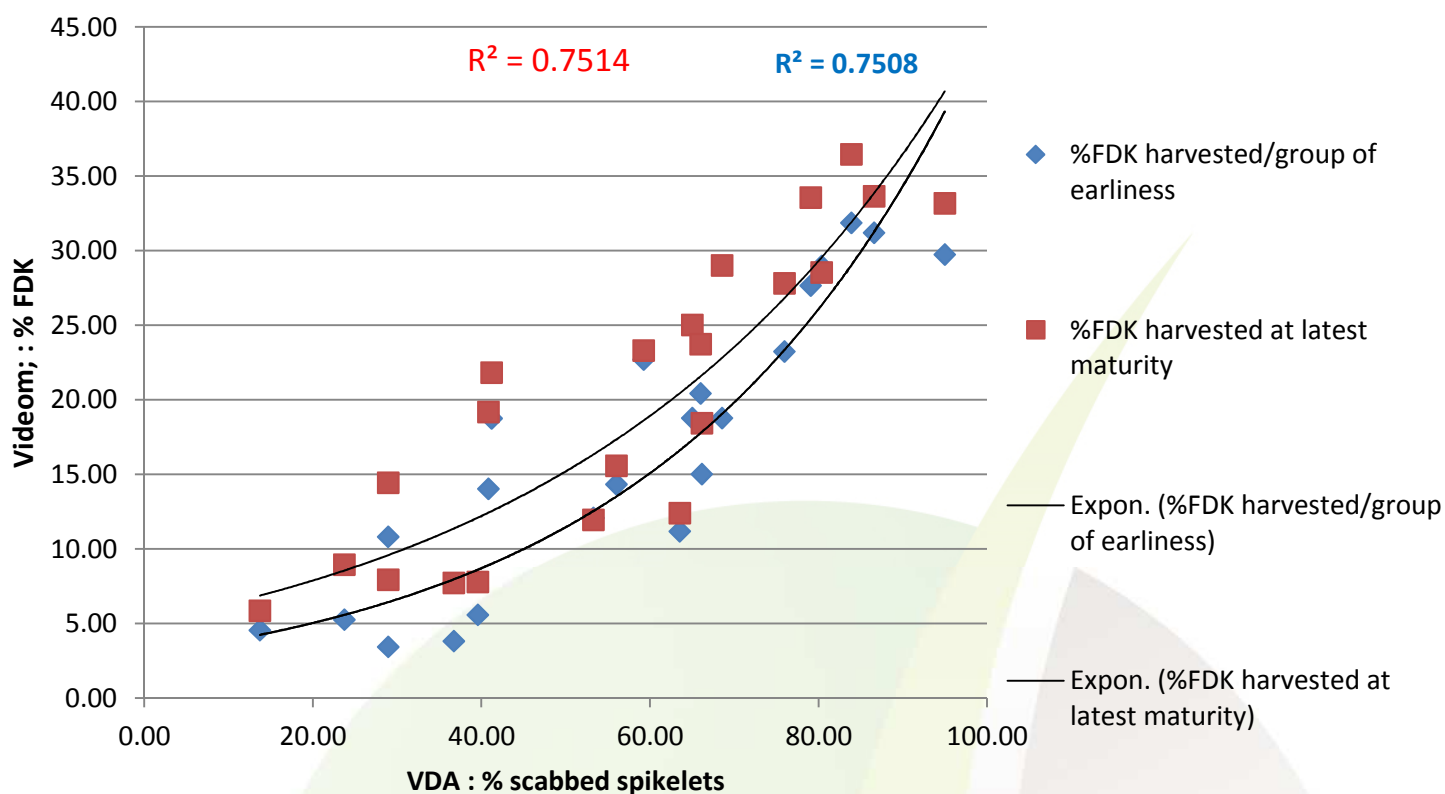
Blé tendre 2014 : Corrélation entre le % grains fusariés (%FDK) par le VideometerLab® and le % d'épillets fusariés (%VDA) par notation visuelle



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

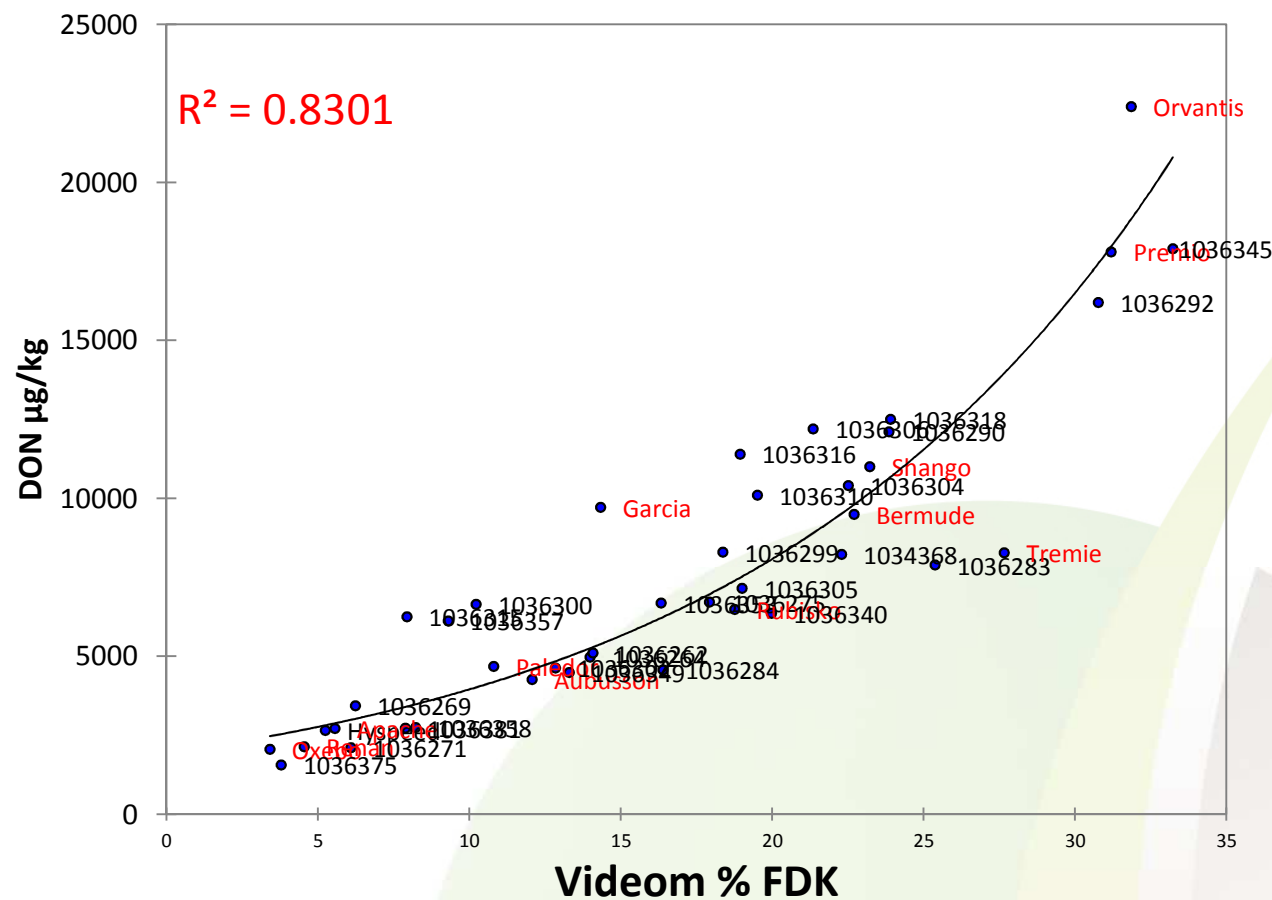
Blé tendre: Effet de la date de récolte sur le % FDK



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Blé tendre 2014 : Corrélations entre DON et % grains fusariés mesuré par imagerie multispectrale



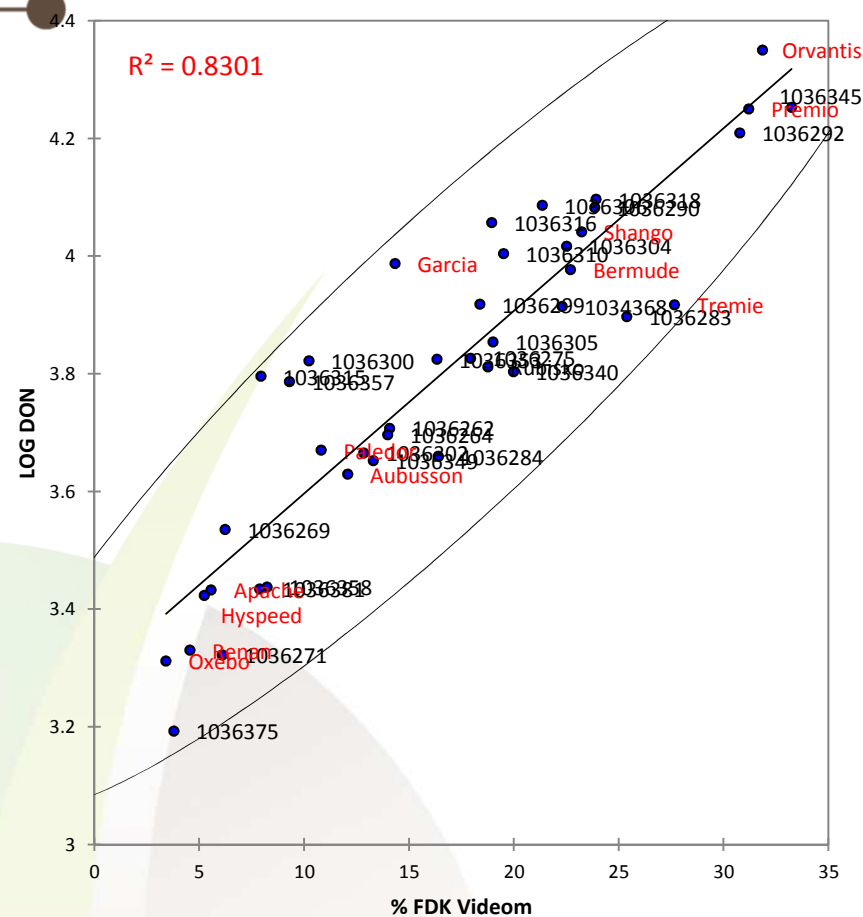
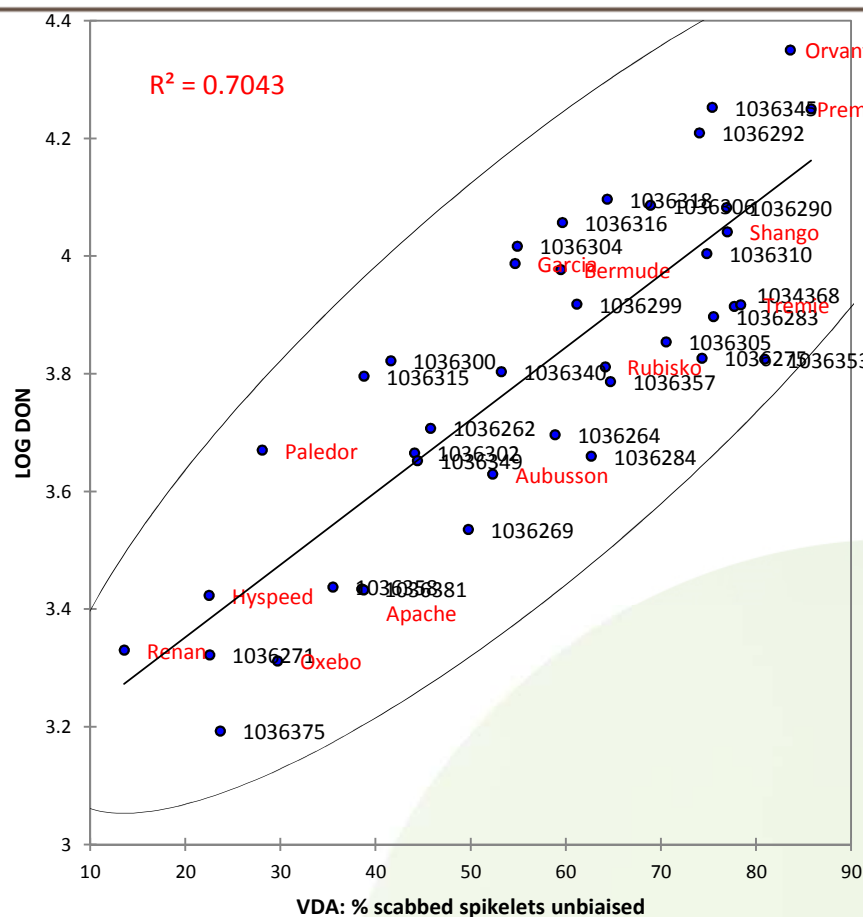
Matrice de corrélation (Pearson) :

Variables	LOG DON	VDA: % épillets fusariés débiaisés	% FDK Videom
LOG DON	1.00	0.84	0.91
VDA: : % épillets fusariés débiaisés	0.84	1.00	0.86
% FDK Videom	0.91	0.86	1.00

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

41 variétés de blé tendre

Blé tendre 2014 : Corrélations entre DON et % épillets fusariés mesurés par notation visuelle



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Blé dur 2014: Matériels et méthodes

- 1 site testé : GEVES Anjouère
- Contamination par *Fusarium graminearum* avec cannes de maïs
- 10 cultivars , avec 2 rep de 25 épis
- Notations visuelles : % épislets fusariés (%VDA) à 500 °C après floraison
- Videometer : % grains fusariés (%FDK)
2 algorithmes testés

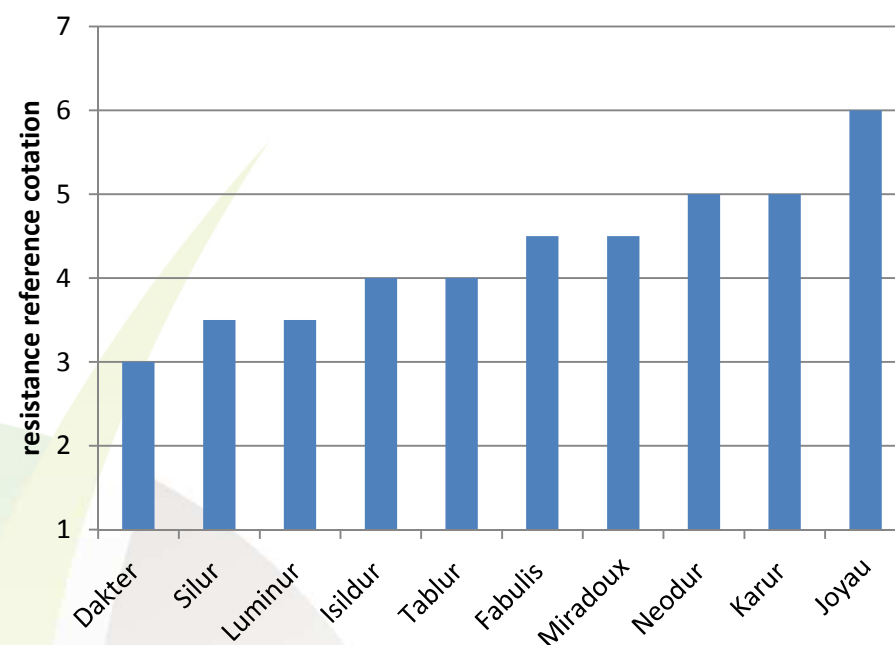


GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Blé dur: cotation de référence CTPS de résistance des témoins

Groupe de précocité	Note de précocité	Témoins	Statut	Note de résistance de référence CTPS Fusariose 2013
précoce	7	Silur	FRR	3.5
Précoce à intermédiaire	6.5	Dakter	FRR	3
	6.5	Luminur	VATE	3.5
	6.5	Fabulis	VATE	4.5
	6.5	Neodur	VATE	5
Semi-tardif	6	Isildur	VATE	4
	6	Tablur	VATE	4
	6	Miradoux	VATE	4.5
	6	Karur	VATE	5
	6	Joyau	FRR	6



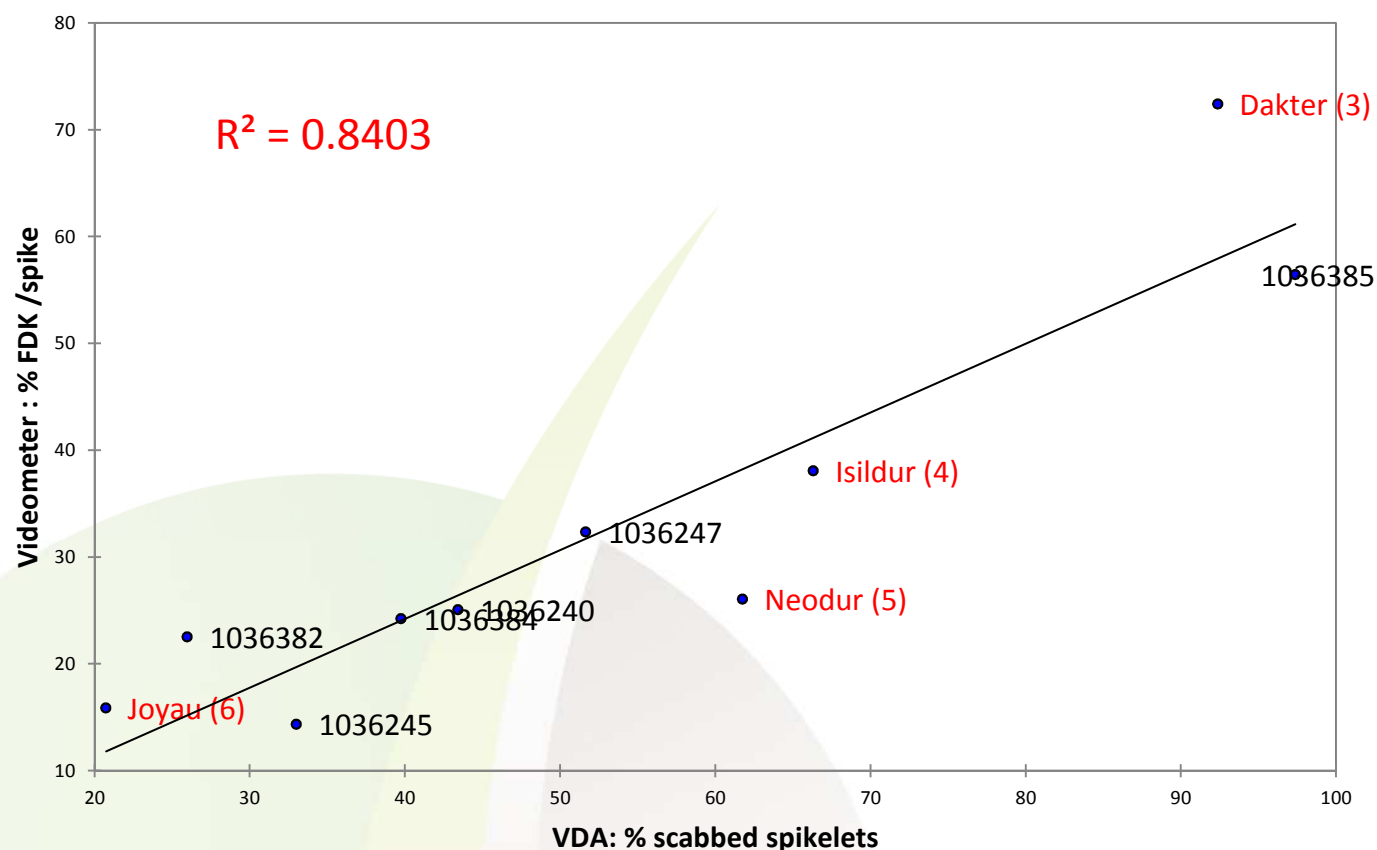
Blé dur : analyses sanitaires à l'Anjouère en 2014

Variété	Date de Mise	Date lecture	% <i>Microdochium spp</i>	% Section <i>Discolor</i>	% Section <i>Roseum</i>	% Section <i>Sporotrichie lla</i>	% <i>Septoria nodorum</i>	% <i>Helminthosporium sativum</i>
Silur (Essai inoc)	24-juil	30-juil	0.55%	95.07%	0.27%	0.27%	0%	0%
Dakter (Essai inoc)	24-juil	30-juil	2.50%	85.75%	0.25%	0%	0%	0%
Silur (Essai cannes)	24-juil	30-juil	3.50%	70.00%	5.00%	2.00%	0%	0%
Dakter (Essai cannes)	24-juil	30-juil	12.00%	63.25%	2.75%	1.75%	0%	0%



Blé dur 2014: Corrélation entre le % grains fusariés (%FDK) par le VideometerLab® and le % d'épillets fusariés (%VDA) par notation visuelle

- Forte corrélation entre %VDA et % FDK
- in 2015 , à confirmer sur un nombre plus élevé de variétés et de sites : toutes les variétés en étude 1A et 2^{ème} année pour l'inscription et 9 témoins (28 cultivars)



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Perspectives

Développement de l'imagerie multispectrale :

☐ GEVES 2015 sur grains

- - Blé tendre/*Fusarium graminearum* : routine à l'Anjouère, étude sur autres lieux CTPS ?
- - Blé dur/ *Fusarium graminearum*,
- - Triticale / *Fusarium graminearum*

☐ Projet FSOV Blé tendre/ *Microdochium* 2015-2017 sur grains

☐ SUITE.....: ?

- Projet Blé tendre/*Fusarium graminearum* : hyperspectral et multispectral sur épillets
- Blé tendre/*Fusarium graminearum* / Caméras multispectrales au champ ?
- Blé tendre/piétin-verse ?
- Blé tendre /septoriose ?



GEVES

Groupe d'Étude et de contrôle
des Variétés Et des Semences

Merci pour votre attention

