

05 FÉVRIER 2025

JOURNÉE RENCONTRE ANNUELLE FILIÈRE CÉRÉALES



40 ans de progrès génétique sur les résistances aux bioagresseurs

Delphine AUDIGEOS / Philippe DU CHEYRON (ARVALIS)

Valérie CADOT / Hélène VOISIN (GEVES)

Patrice SENELLART (UFS)



40 ans de progrès génétique sur les résistances aux bioagresseurs

- ▶ **Evaluation du progrès génétique à l'inscription et en culture**
- ▶ **Vers une meilleure gestion de la durabilité des résistances**
- ▶ **Sélectionner des variétés résistantes**

Blé tendre : évolutions règlement technique (1983 à 2014)

ÉCOPHYTO
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

**2008 : plan Ecophyto :
vers une réduction des PP
Plan SAD**

2011 = VAT → VATE

2016 = plan SPAD

1983 -- Mise en place d'essais Traité à titre d'expérimentation (étude TT/NT et représentatif de la pratique agriculteurs)

1989/1990---- Mise en place du réseau TT et NT (Nord et Sud), grille bonus/malus FRR, écart T -NT

1994 ---- Réglage bonus/malus → Renforcement de la prise en compte de l'écart TT/NT

2001 --- 1^{ère} Demande d'Expérimentation spéciale Mosaïques,

- 2005** ----
- Suppression bonus RB, RJ (contournement)
 - Changement seuils Fusariose : ↗ seuil malus et ↘ du seuil bonus
 - Evolution méthode de calcul Ecart TT-NT :. Attribution Bonus/Malus

2006 --- Mise en place du réseau spécifique fusariose

2011 ---- 1^{ères} Demandes d'Expérimentation spéciale pour la Cécidomyie orange

2014 --- 1^{ères} variétés inscrites avec une résistance à la cécidomyie orange.

Blé tendre : évolutions règlement technique (2016 à aujourd'hui)

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION

Liberté
Égalité
Fraternité



PLAN
SEMENCES ET PLANTS
POUR UNE AGRICULTURE DURABLE 2

Agroécologie
2021 = plan SPAD2

2018 : Suppression
des néonicotinoïdes

2017 ---

Dépôt de la première fiche CEPP

2019 ---

- Durcissement des malus sur les rouilles et Septoriose avec restructuration en 3 réseaux.
- Mise en place de la règle du témoin défaillant.

2020---

- Abaissement du Bonus Piétin Verse
- Intégration du marquage moléculaire Pch1

2021---

Premier test carie - réseau AB

2022--

1^{ère} Demande d'expérimentation spéciale JNO

2024--

1^{ère} Demande d'expérimentation spéciale WDV

Marquage mosaïque en expé complémentaire : Sbm1 (SBMCV) et QTL-2D(WSSMV)

2025--

1^{ère} variété inscrite tolérante JNO
1^{ère} variété inscrite résistante Carie (AB)

Orge : évolutions règlement technique (1981 à aujourd'hui)



2021 = plan SPAD2

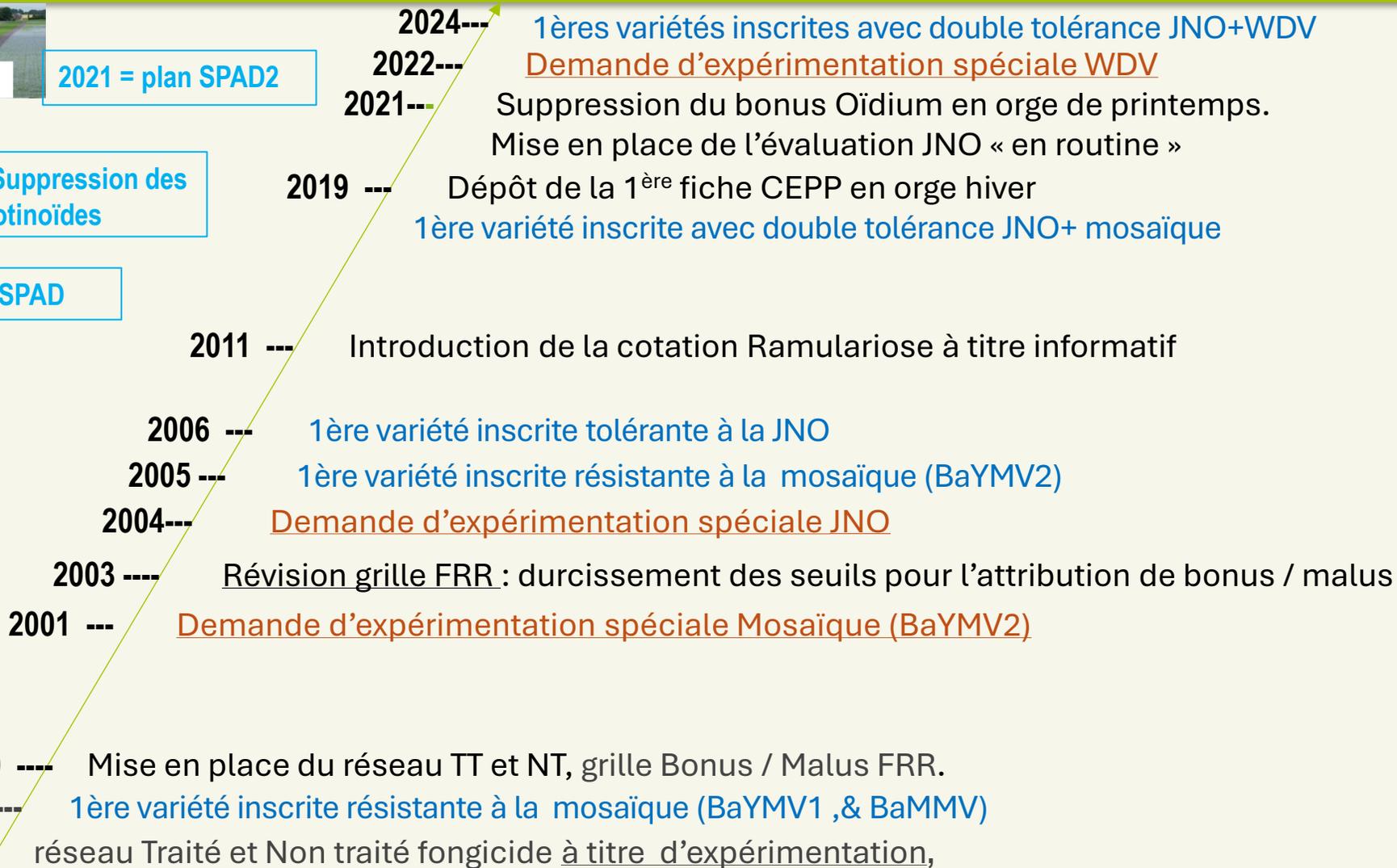
2018 : Suppression des néonicotinoïdes

2016 = plan SPAD

2008 : plan Ecophyto
Plan SAD



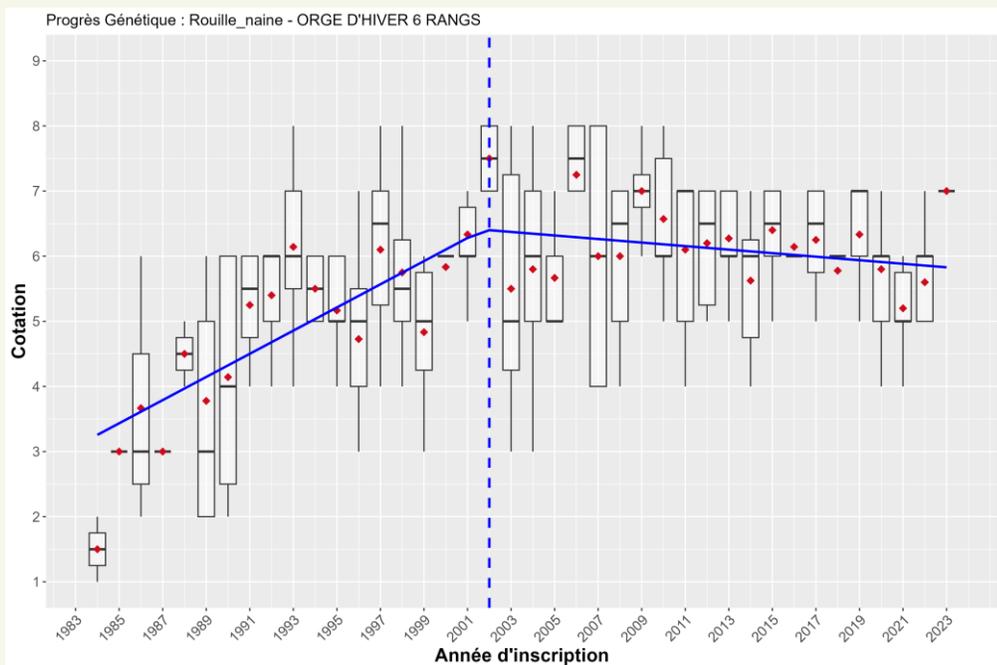
Développement massif des PP



Matériel et méthode

À l'inscription

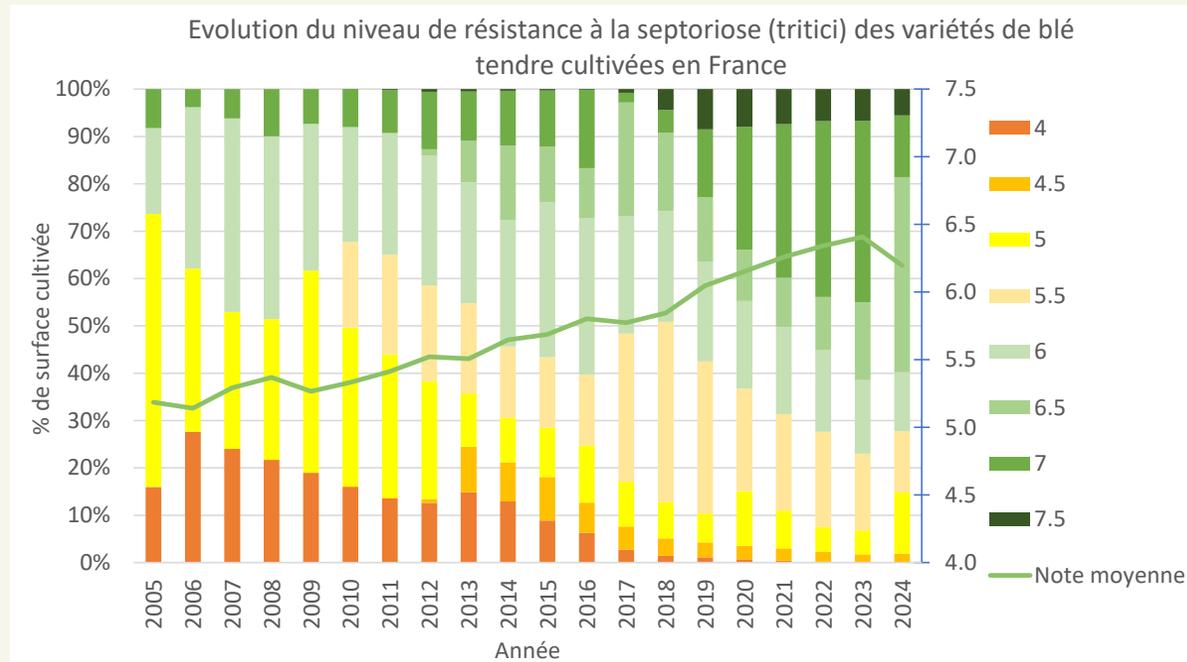
Cotation à l'inscription
1983-2024



Source : CTPS

En culture

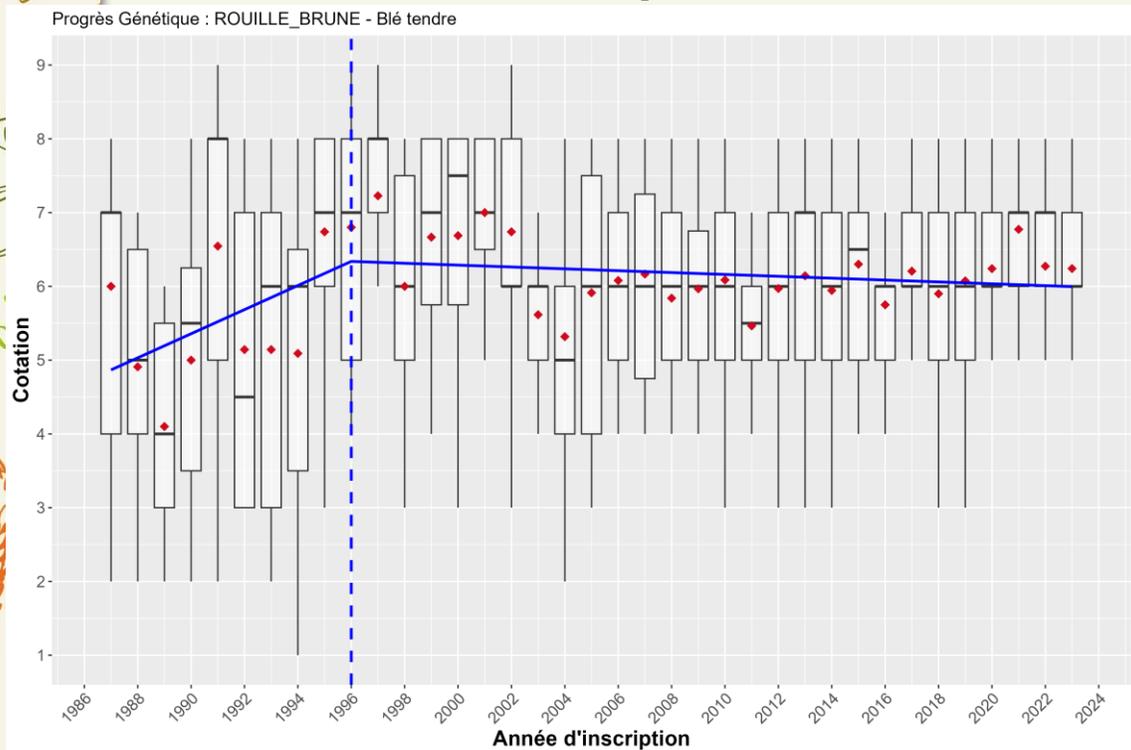
Niveau de résistance des variétés cultivées
2005 – 2024 (BTH)



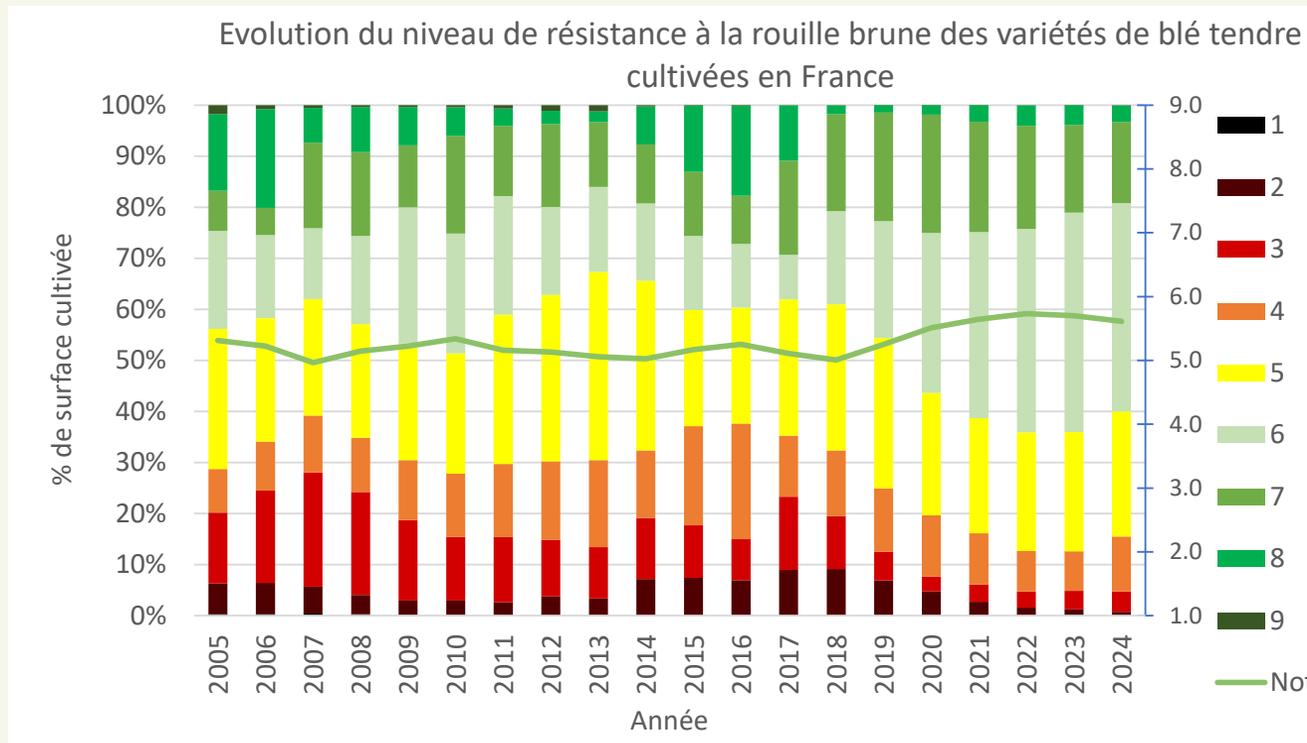
Sources :
Cotations : CTPS, ARVALIS
Surfaces de culture : FAM / ARVALIS

Résistance des variétés de blé tendre à la rouille brune

À l'inscription



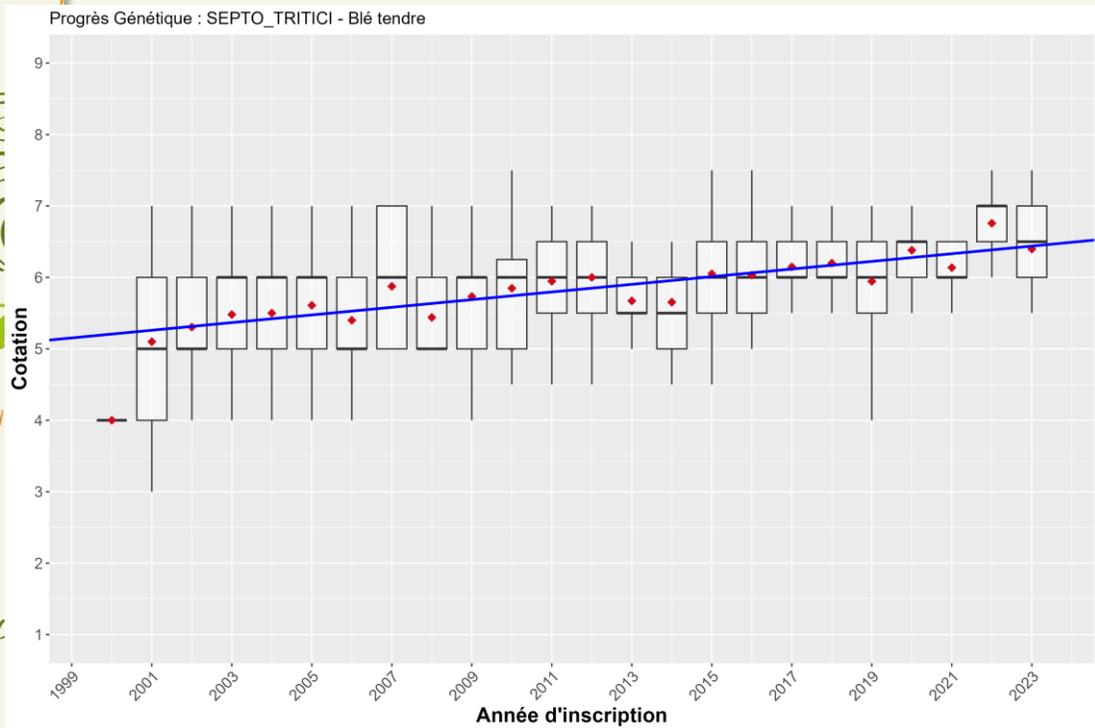
En culture



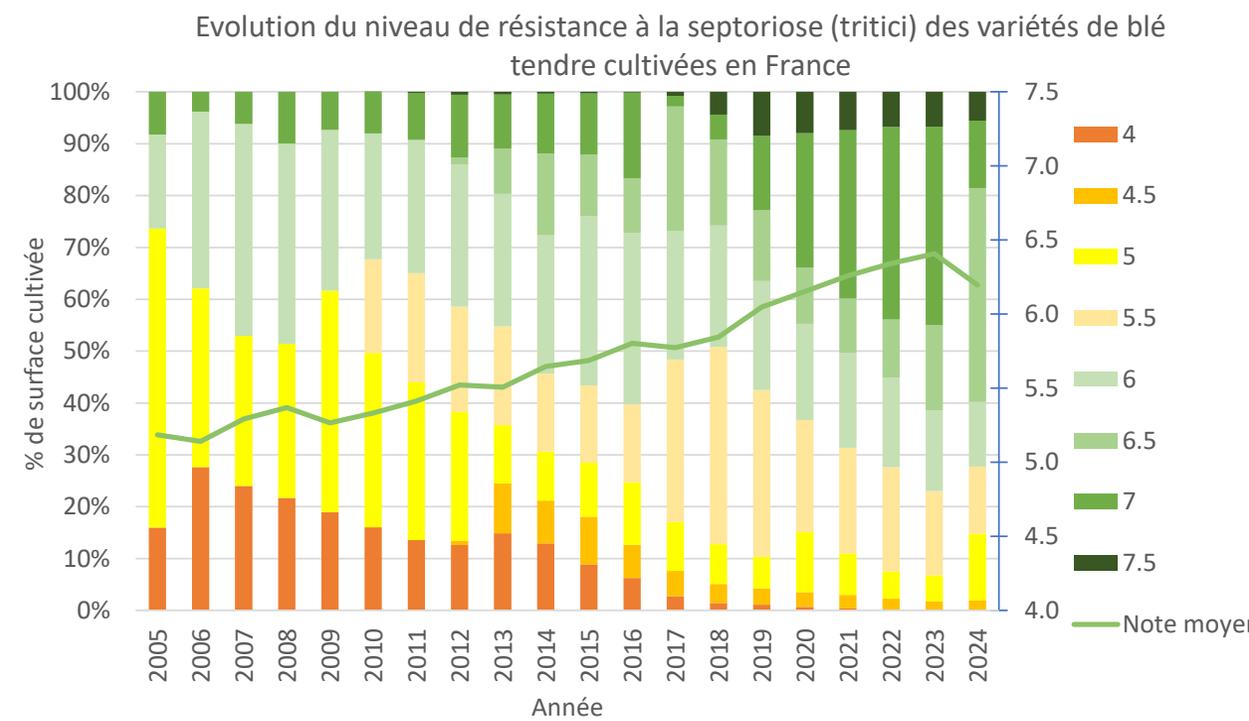
Forte progression jusqu'en 1996, puis stabilisation à un assez bon niveau

Résistance des variétés de blé tendre à la septoriose

À l'inscription



En culture



Progression régulière du niveau de résistance des variétés de blé tendre à la septoriose

Evolution des résistances variétales : BLE TENDRE

Bioagresseur	1983- ~2000	~2000-2024	Remarques
Piétin verse	↑	➔	Pch1 Introduction du marquage moléculaire à l'inscription en 2019 En 2024 : 35 % des surfaces cultivées avec des variétés résistantes
Oïdium	↑	➔	
Rouille jaune	↑	➔	Très bon niveau de résistance globale malgré des à-coups liés aux contournements
Septoriose (<i>tritici</i>)	-	↑	Forte progression à l'inscription et en culture
Rouille brune	↑	➔	
Fusariose (<i>graminearum</i>)	-	➔	Des moins en moins de variétés très sensibles, mais encore peu de variétés résistantes
Cécidomyie orange	-	➔ ➔	Semble se stabiliser autour de 20-30 % des variétés inscrites
Mosaïques	↑	➔	Sbm1 + QTL 2D Introduction du marquage moléculaire à l'inscription en 2024 Environ 20 % des variétés inscrites
JNO	-	?	2 variétés tolérantes JNO

Evolution des résistances variétales : BLE DUR

Bioagresseur	1983- ~2000	~2000-2024	Remarques
Oïdium	↑	→	Bon niveau de résistance, stable
Rouille jaune	↑	→	Stable depuis 2019 à un très bon niveau de résistance.
Septoriose (<i>tritici</i>)	-	→	Assez bon niveau, peu de différence entre les variétés majoritairement cultivées
Rouille brune	↑	→	Peu d'occurrence de rouille brune ces dernières années, résistances variétales d'un bon niveau
Fusariose (<i>graminearum</i>)	-	→	Moins de variétés très sensibles, mais encore peu de variétés résistantes

Evolution des résistances variétales : TRITICALE

Bioagresseur	1983- ~2000	~2000-2024	Remarques
Piétin verse	↑	↘	L'espèce garde un bon niveau de résistance
Oïdium	→	↘ →	Nombreux contournements au début des années 2000
Rouille jaune	↑	↘ →	Arrivée des races Warrior et Triticale au début des années 2010
Rouille brune	↑	↘	Impact plus faible sur le rendement
Rhynchosporiose	-	→	Une fréquence en augmentation
DON (fusa)	-	→	

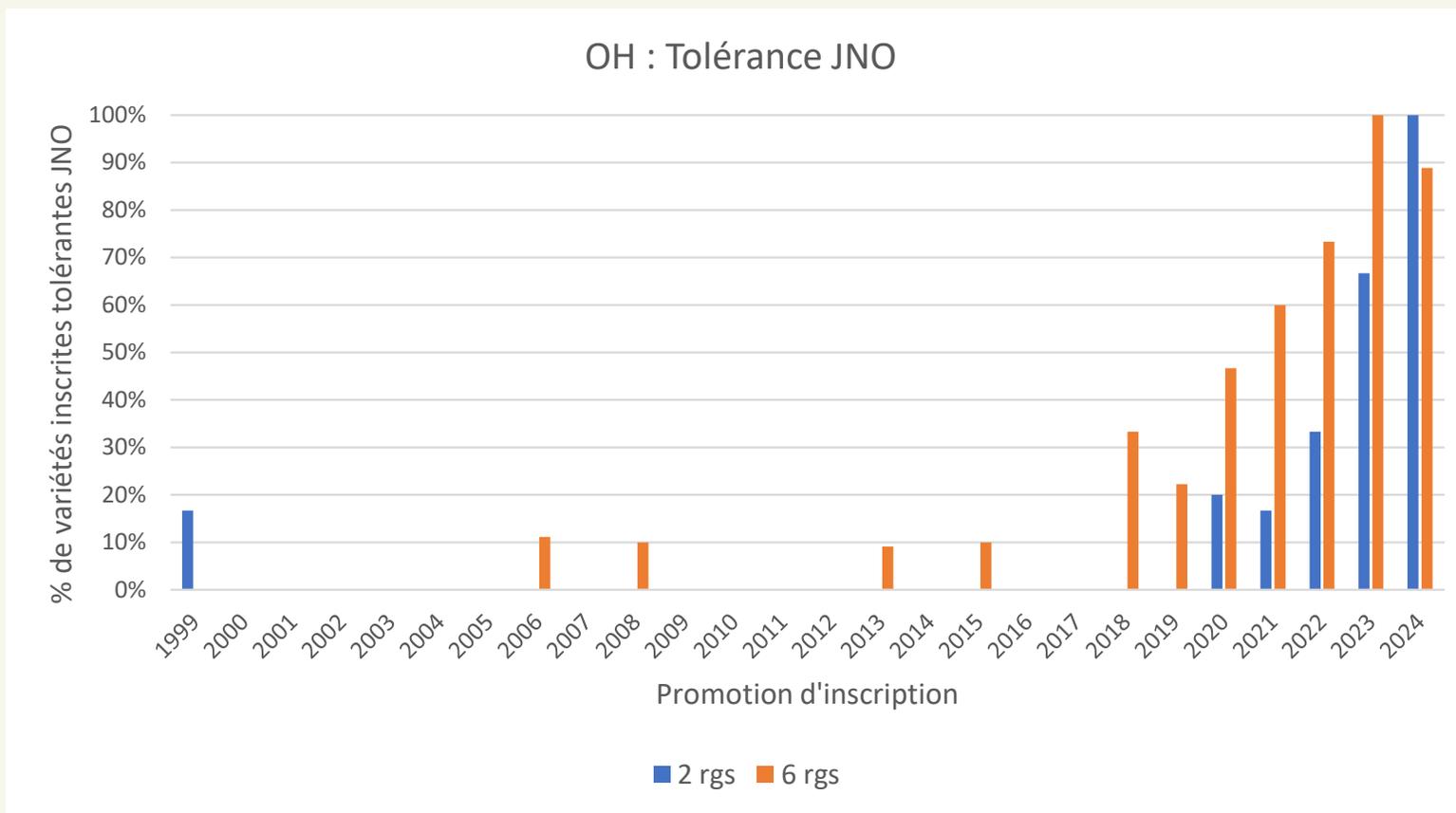
Espèce cultivée notamment pour sa « rusticité » vis-à-vis des bioagresseurs, mais qui a connu des épisodes de contournement marquants (trop faible diversité génétique?)

Evolution des résistances variétales : ORGE D'HIVER

Bioagresseur	2 rgs		6 rgs		Remarques
	1983- ~2000	~2000-2024	1983- ~2000	~2000-2024	
Oïdium	↑	→	→	→	Bon niveau de résistance actuel
Rhynchosporiose	↑	→	↑	→	Légère baisse, reste à un bon niveau de résistance
Helminthosporiose	→	→	→	→	Progrès génétique moins rapide que sur les autres maladies, assez bon niveau de résistance actuel
Rouille naine	↑	→	↑	→	Légère baisse du niveau de résistance
JNO	-	↑	-	↑	Quasiment 100 % des variétés inscrites tolérantes actuellement

Ralentissement ponctuel du progrès génétique sur certaines maladies qui pourrait être lié à l'introgession rapide de la résistance à la JNO ou de progrès important sur les critères techno attendus

Nouvelles cibles de sélection



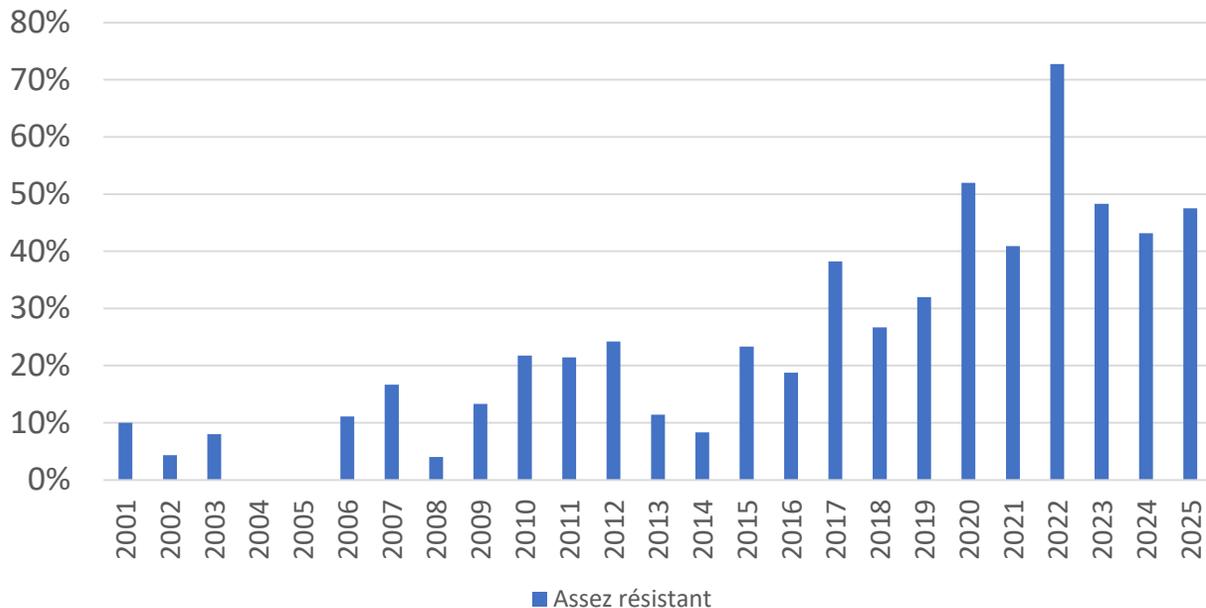
► **Rapide augmentation du nombre de variétés inscrites avec la tolérance JNO. Critère devenu quasi obligatoire pour développer une variété en France**

► **L'introggression d'un caractère venant d'une génétique « exotique » peut avoir un impact négatif sur d'autres critères (rendement, maladies, qualité...)**

Des variétés multirésistantes : blé tendre

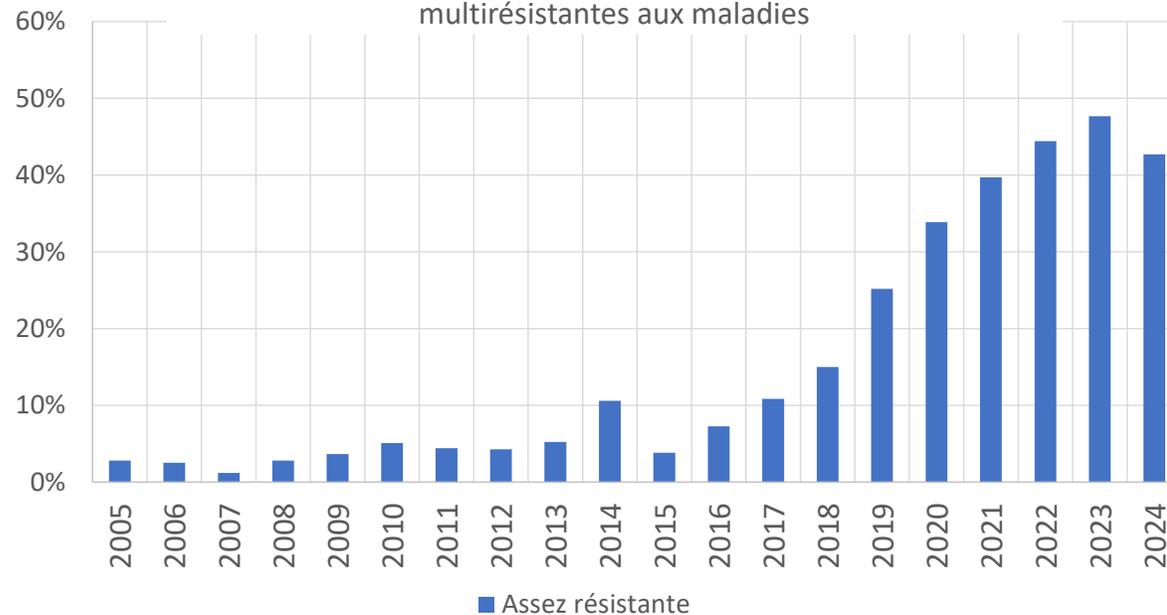
À l'inscription

% de variétés multirésistantes aux maladies foliaires à l'inscription



En culture

Evolution des surfaces de blé tendre (%) cultivées avec des variétés multirésistantes aux maladies

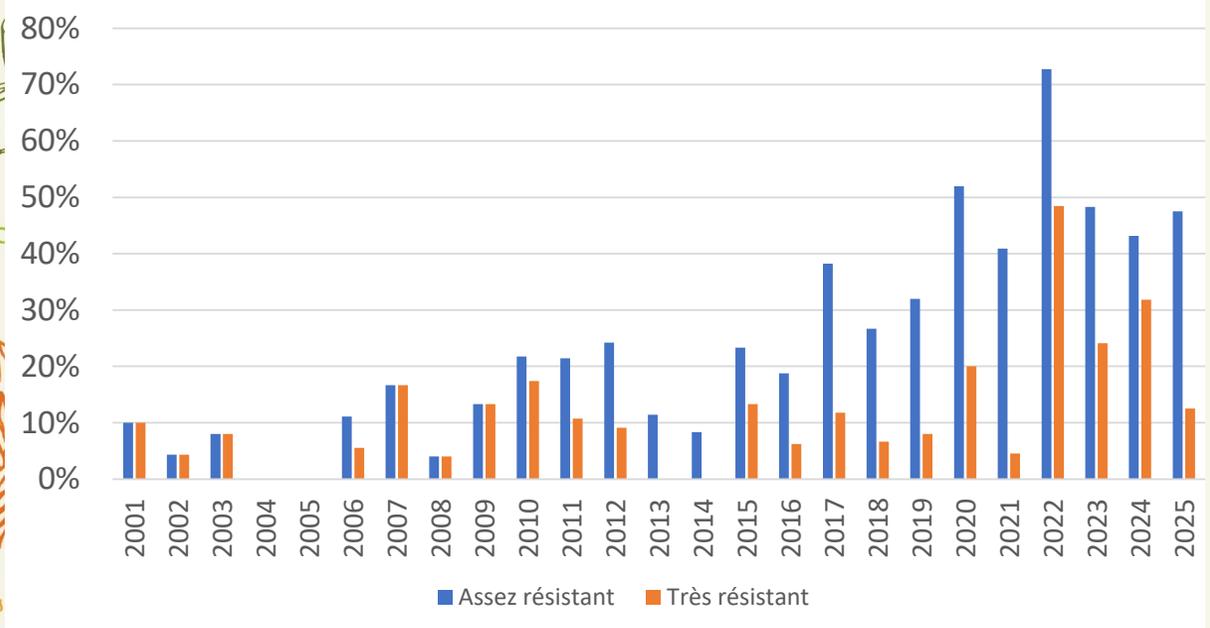


► **Variété assez résistante (RJ ≥ 6 / Septo ≥ 6.5 / RB ≥ 6)**

Des variétés multirésistantes : blé tendre

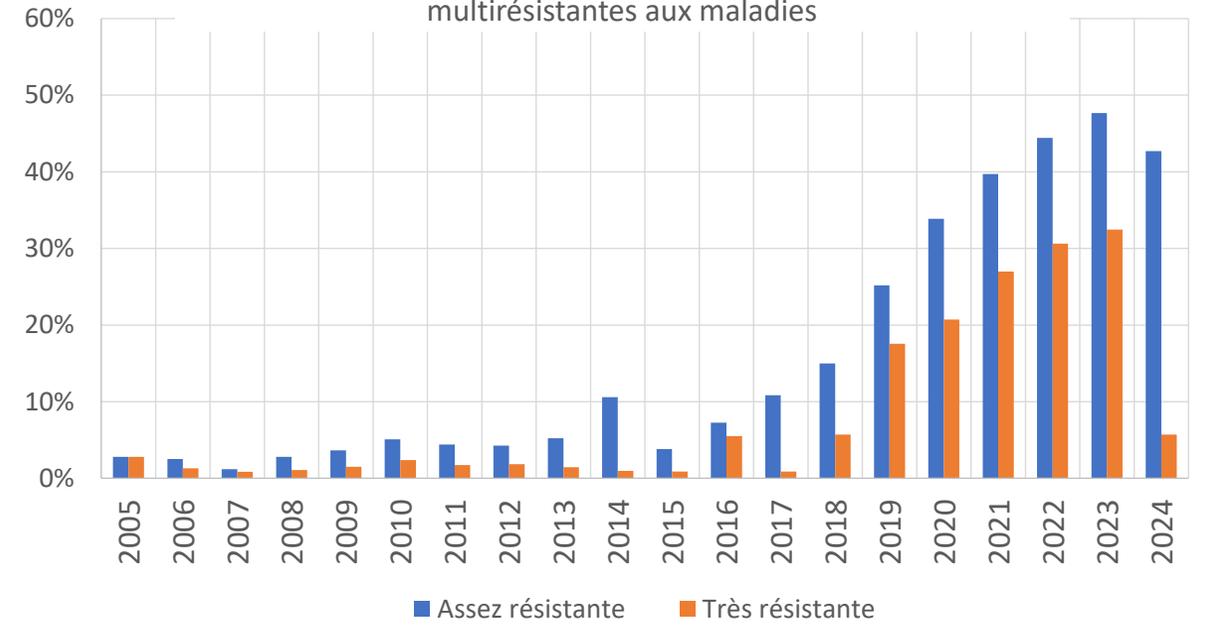
À l'inscription

% de variétés multirésistantes aux maladies foliaires à l'inscription



En culture

Evolution des surfaces de blé tendre (%) cultivées avec des variétés multirésistantes aux maladies

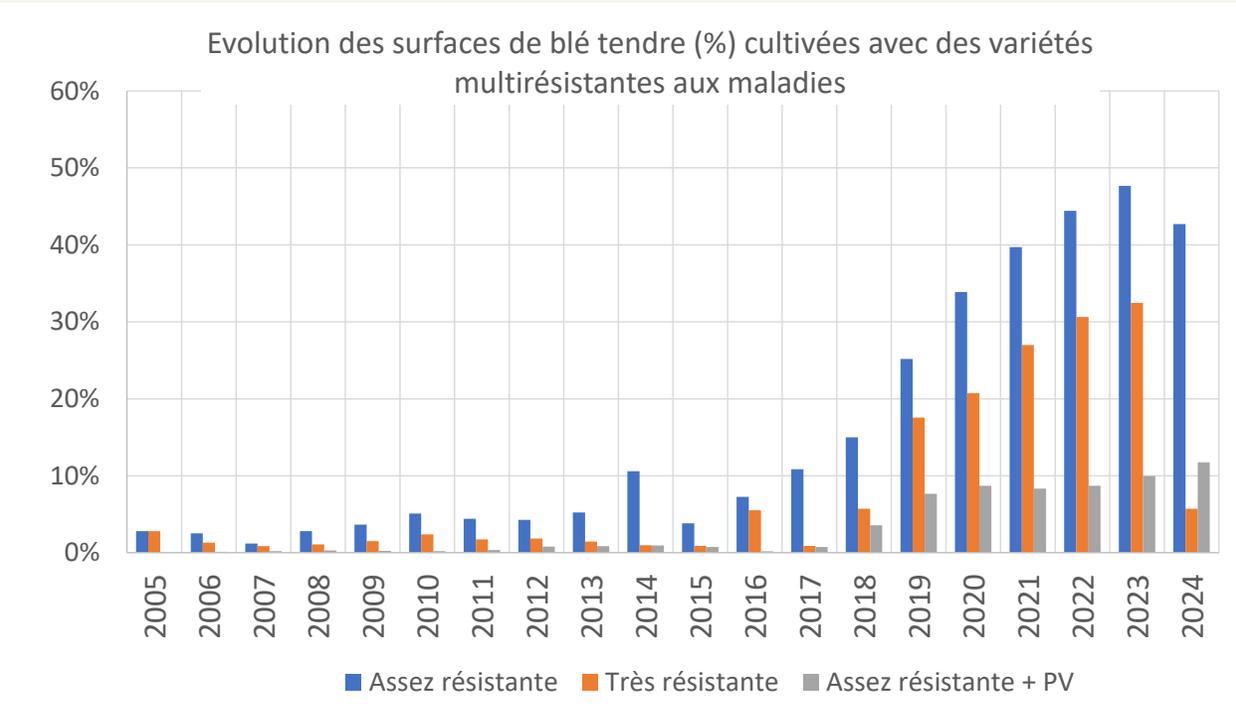
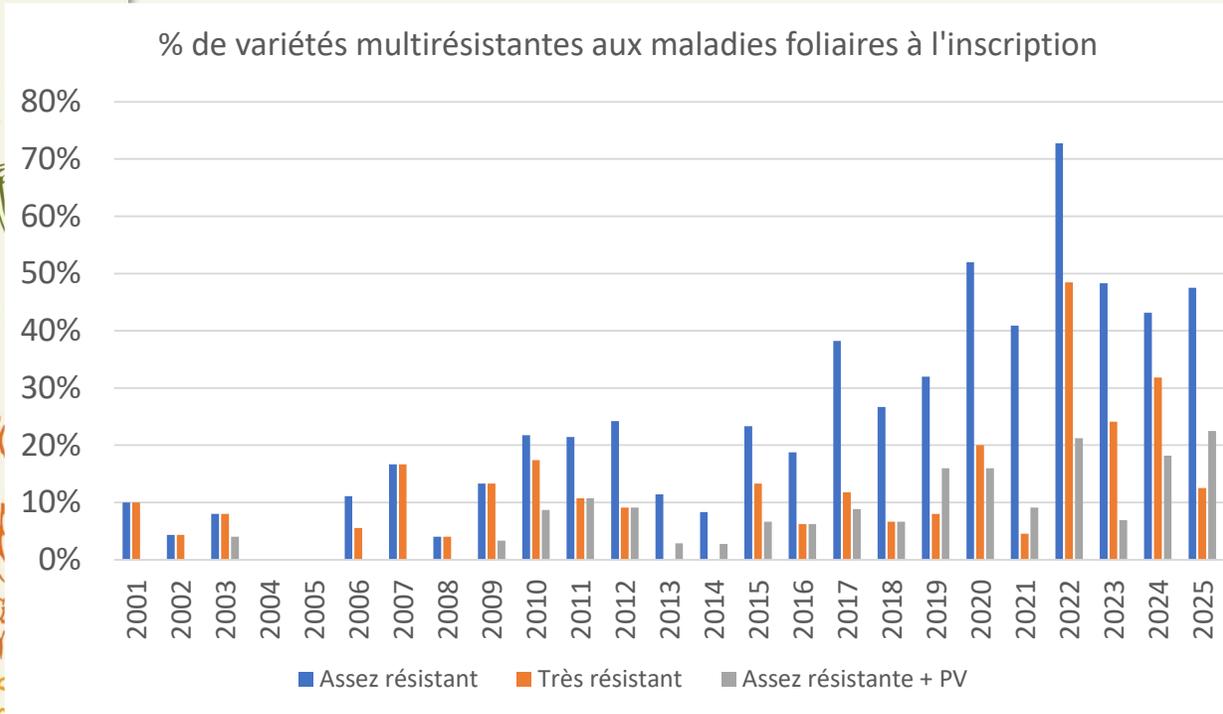


- ▶ **Variété assez résistante (RJ ≥6 / Septo ≥6.5 / RB ≥6)**
- ▶ **Variété très résistante (RJ ≥7 / Septo ≥7 / RB ≥6)**

Des variétés multirésistantes : blé tendre

À l'inscription

En culture



- ▶ **Variété assez résistante (RJ ≥6 / Septo ≥6.5 / RB ≥6)**
- ▶ **Variété très résistante (RJ ≥7 / Septo ≥7 / RB ≥6)**
- ▶ **Variété assez résistante aux maladies foliaires et au piétin verse (RJ ≥6 / Septo ≥6.5 / RB ≥6 / PV≥5)**

Diversité des résistances aux bioagresseurs évaluées en routine sur le blé

Virus

Mosaïques



Jaunisse Nanisante de l'Orge



Insectes

Cécidomyie orange



Piétin verse



Septoriose



Champignons

Oïdium



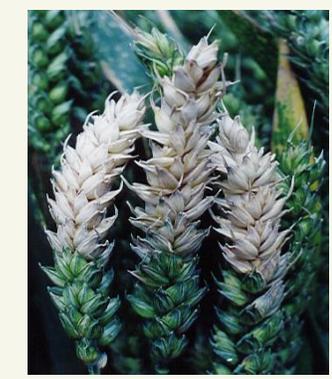
Rouille brune



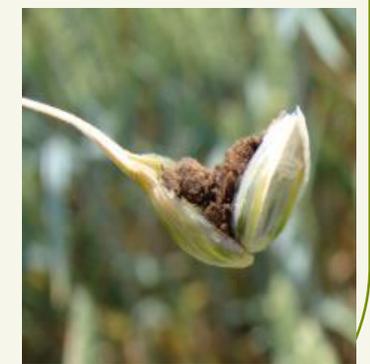
Rouille jaune



Fusariose (DON)



Carie commune



D'autres résistances aux bioagresseurs faisant l'objet de recherche sur blé

Piétin échaudage



Microdochium spp.



Virus du pied chétif



Rouille noire



Données – principe de calcul

► Les données d'entrées

Toutes les données d'essais rendement (traité et non traité) validées en commission de validation des essais des variétés déposées.

► Le Modèle

Utilisation d'un *modèle mixte*, validé à la suite du projet GCHP2E multi partenaire (INRAE, Arvalis, Terres Inovia, ITB), permettant de calculer des moyennes ajustées :

Modèle statistique :

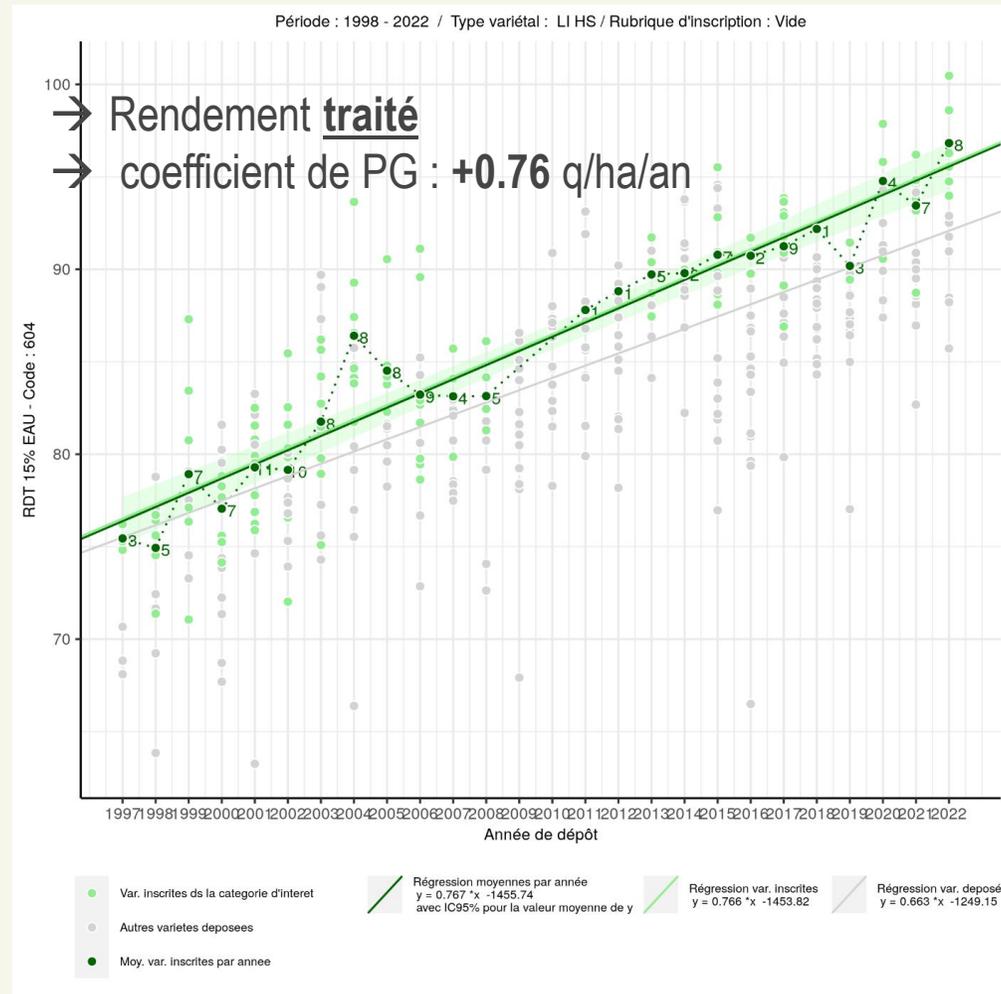
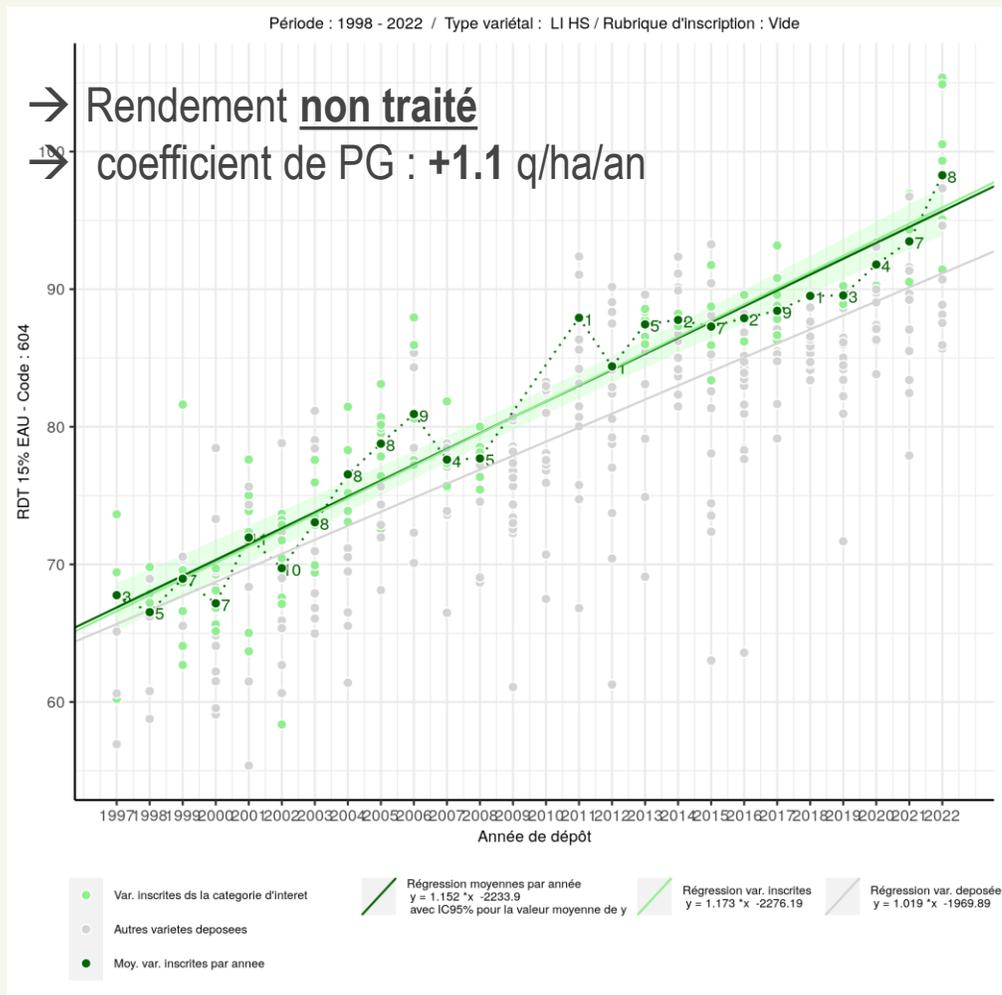
$$\text{Valeur} \sim A + G + (1|A:G) + (1|A:S:E)$$

- Valeur = Valeur du caractère étudié → rendement
- A = effet Année issu de la variable Date de semis (effet fixe)
- G = l'effet Génotype issu de la variable N° Cultivar (effet fixe)
- S = effet Série d'essai issu de la variable N° Série
- E = effet Environnement issu de la variable N° Essai
- (1|A:G) = interaction **Année:Génotype** en effet aléatoire
- (1|A:S:E) = interaction **Année:Série:Essai** en effet aléatoire

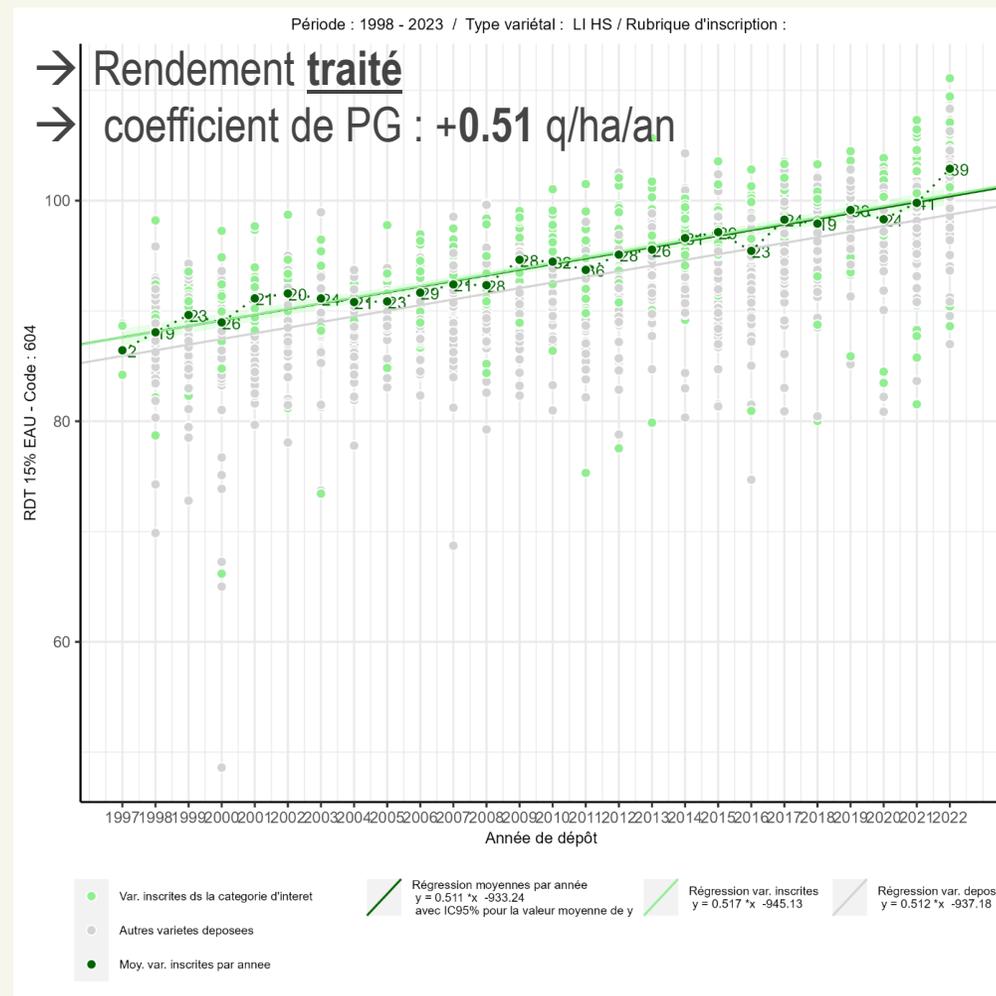
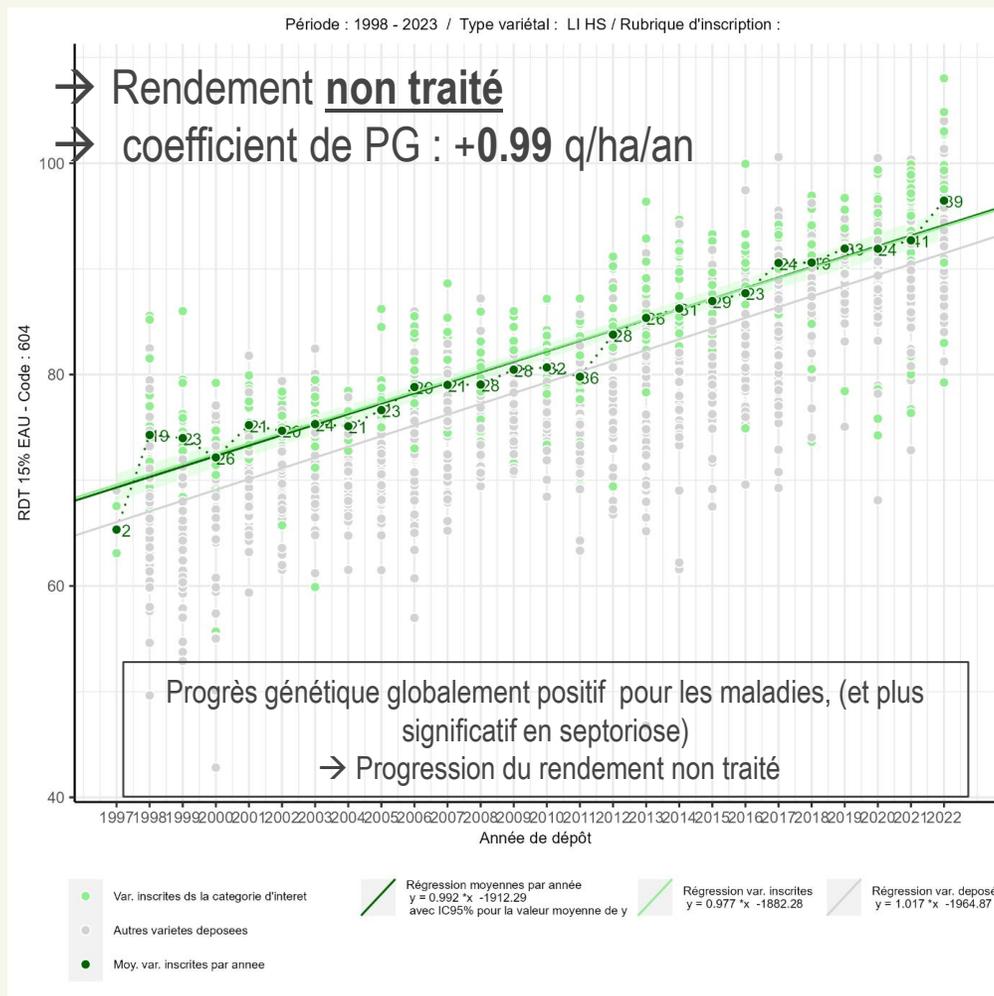
► La régression linéaire à partir des moyennes ajustées

L'équation de la droite nous donne le coefficient de progrès génétique

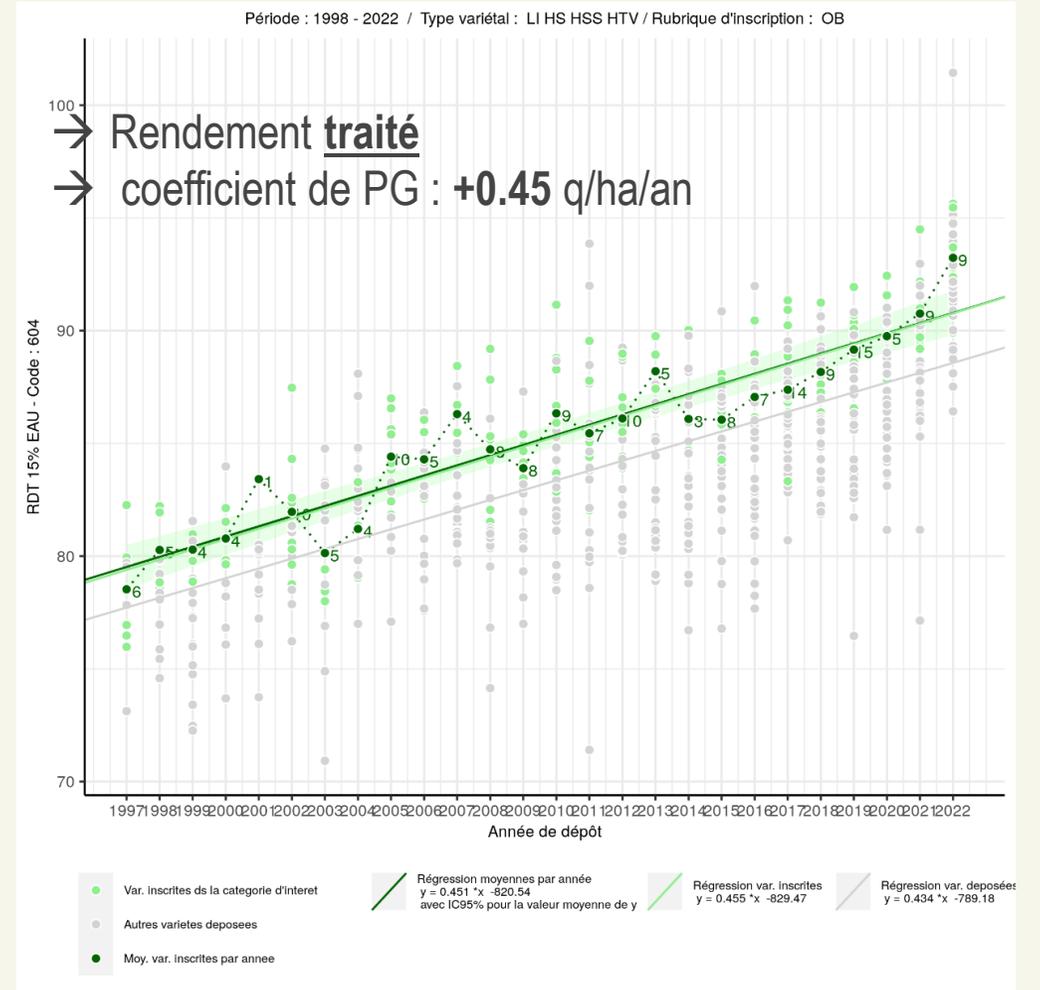
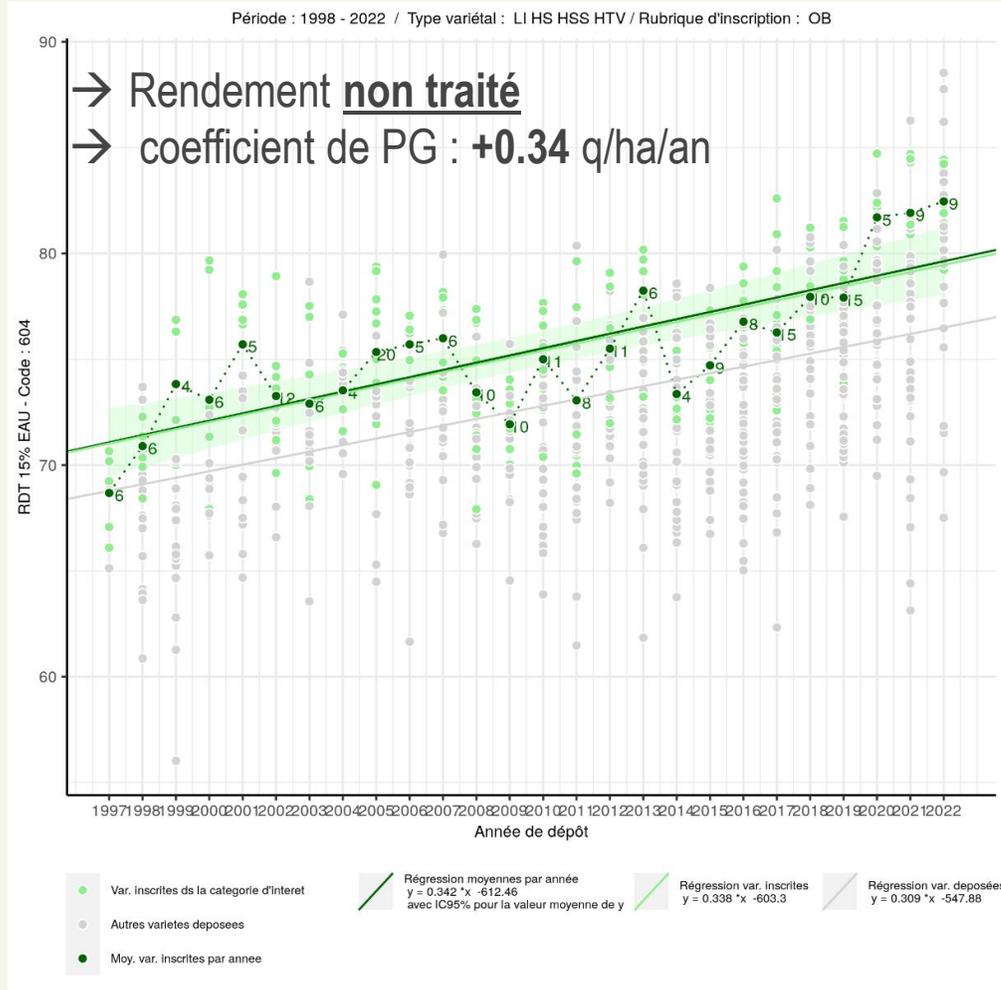
Progrès génétique -Triticale



Progrès génétique - Blé tendre



Progrès génétique – Orge d'hiver 6 rangs



- Efforts notables en Qualité en parallèle
- Impact de l'introgession de la JNO

Progrès génétique - Bilan

- Un progrès génétique positif en rendement traité et non traité mais nuancé selon les espèces

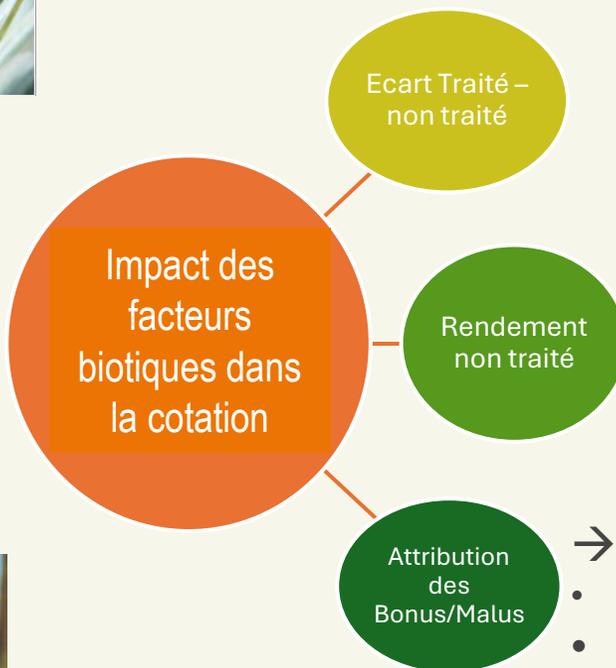
Espèce	Période	conduite	coefficient PG	R2
Triticale	1997-2023	NT	1.1	0.93
		TT	0.76	0.91
Blé tendre	1997-2023	NT	0.99	0.95
		TT	0.51	0.95
Orge 2rg hiver	1997-2023	NT	0.77	0.95
		TT	0.64	0.91
Orge 2rg printemps	1997-2023	NT	0.63	0.97
		TT	0.65	0.98
Blé dur	1997-2023	NT	0.48	0.6
		TT	0.55	0.84
Orge 6 rg hiver	1997-2023	NT	0.34	0.63
		TT	0.45	0.89
Avoine hiver	1997-2023	NT	0.43	0.35
		TT	0.57	0.79



Progrès génétique croissant

Pour conclure :

- ▶ Une évolution du progrès génétique d'années en années , y compris dans des situations stressées (stress biotiques, abiotiques, années atypiques...)
- ▶ Un règlement technique du CTPS en constante évolution qui incite et encourage ce progrès variétal pour répondre aux besoins des agriculteurs.



→ Quantifier la tolérance globale aux maladies

→ Modalité non traitée pèse pour 50% dans la cotation rendement

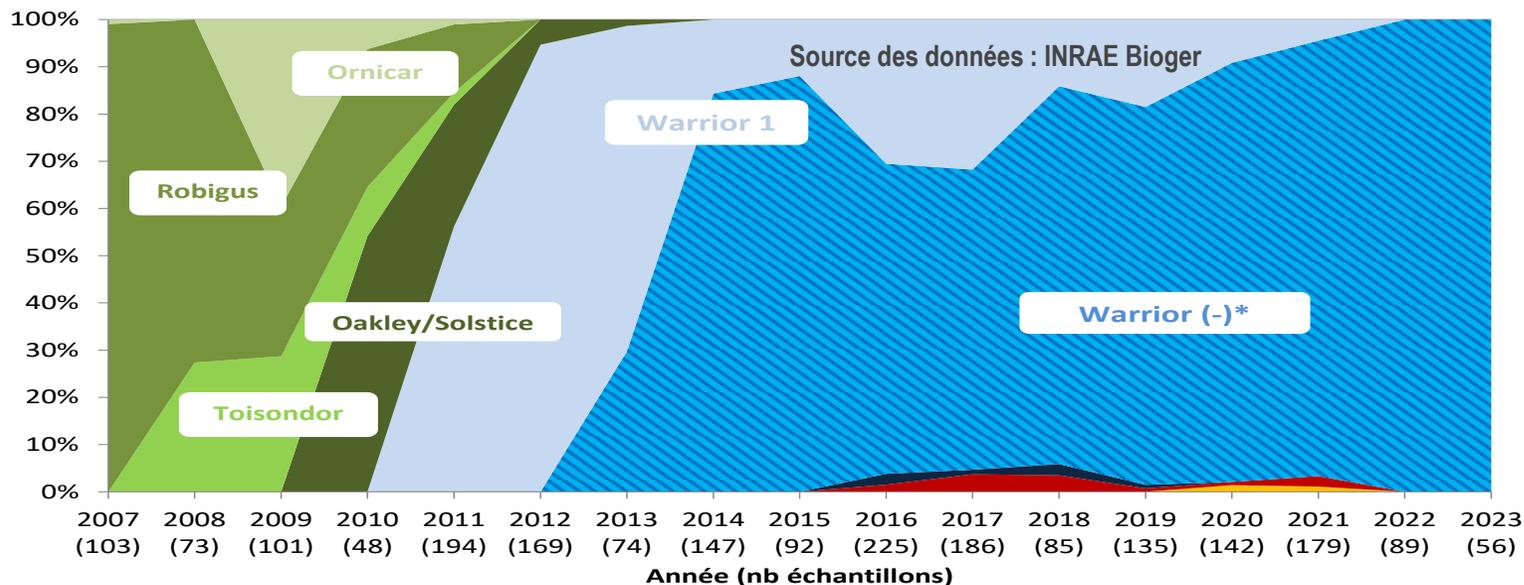
$$\text{Cotation rendement} = \frac{\text{le rendement moyen de la variété en \% du Témoin de référence}}{\frac{\text{Moyenne des \% Témoin non traité fongicides pour la variété obtenus dans les essais des 2 années} + \text{Moyenne des \% Témoin traité fongicides avec une conduite azotée dose X de la variété, essais des 2 années}}{2}}$$

- Observations du comportement variétal vis-à-vis des bioagresseurs :
- **en conditions naturelles** à travers le réseau national d'expérimentation
 - **en conditions contrôlées** dans le réseau spécifique

Durabilité

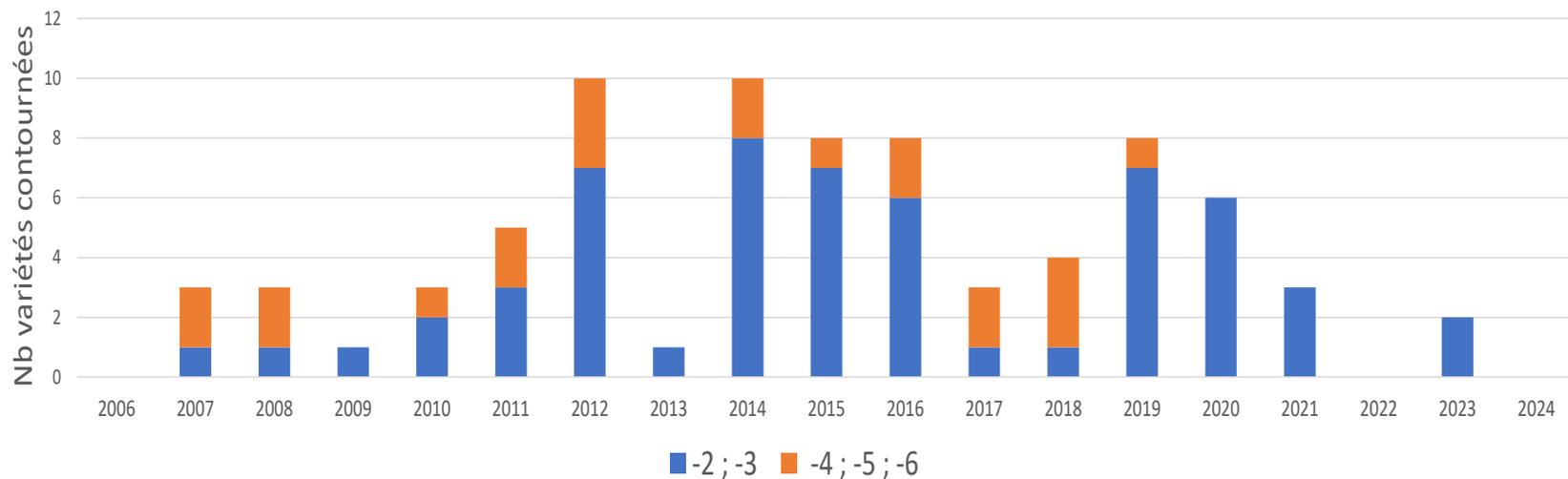
Evolution des races et contournements de résistance génétique (exemple de la rouille jaune sur blé tendre)

Evolution des populations pathogènes



* : Il existe plusieurs variants ou pathotypes de la race Warrior (-). Ils se distinguent avec les virulences 17, Nemo (et Amboise). Entre 2013 et 2018, les méthodes d'identification utilisées ne permettaient pas toujours de distinguer ces différences de virulence. C'est pourquoi elles sont ici groupées sous la dénomination Warrior (-).

Contournement des résistances génétiques



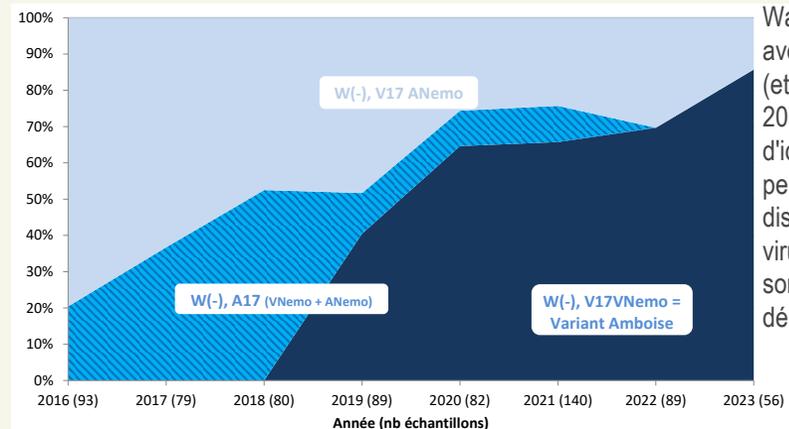
Durabilité

Evolution des races et contournements de résistance génétique (exemple de la rouille jaune sur blé tendre)

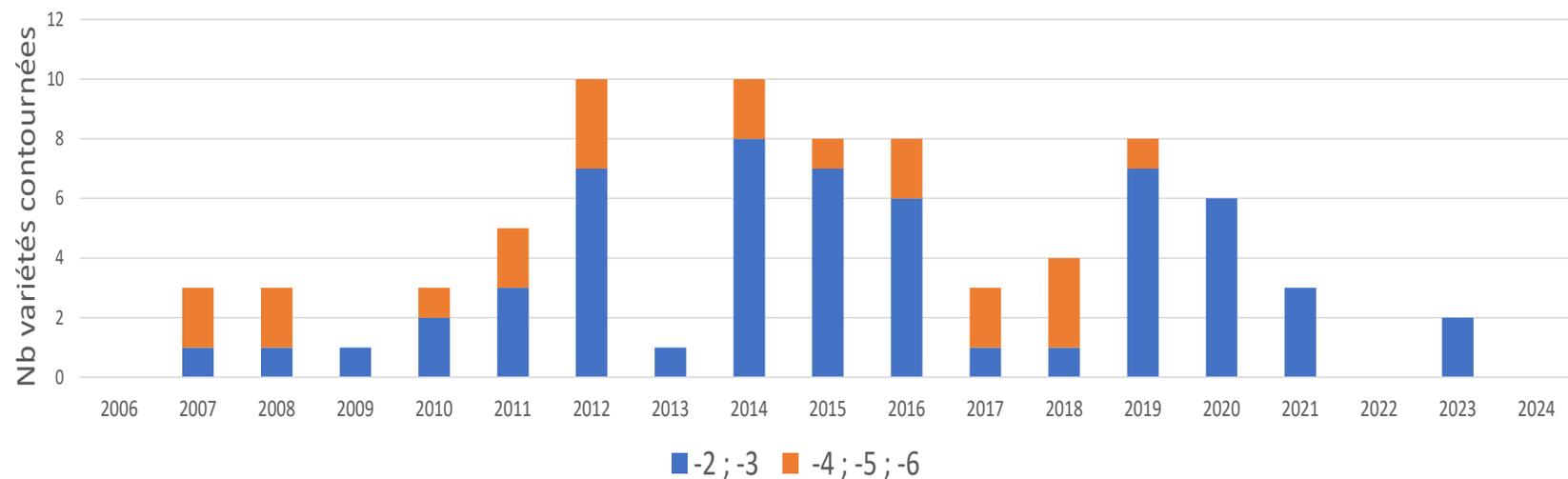
Evolution des populations pathogènes

Contournement des résistances génétiques

Source des données : INRAE Bioger

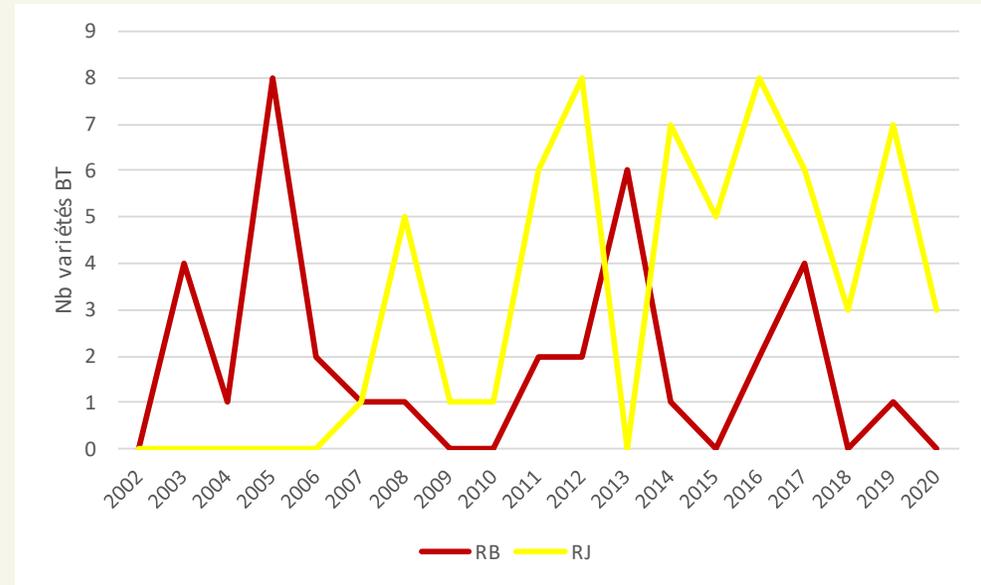
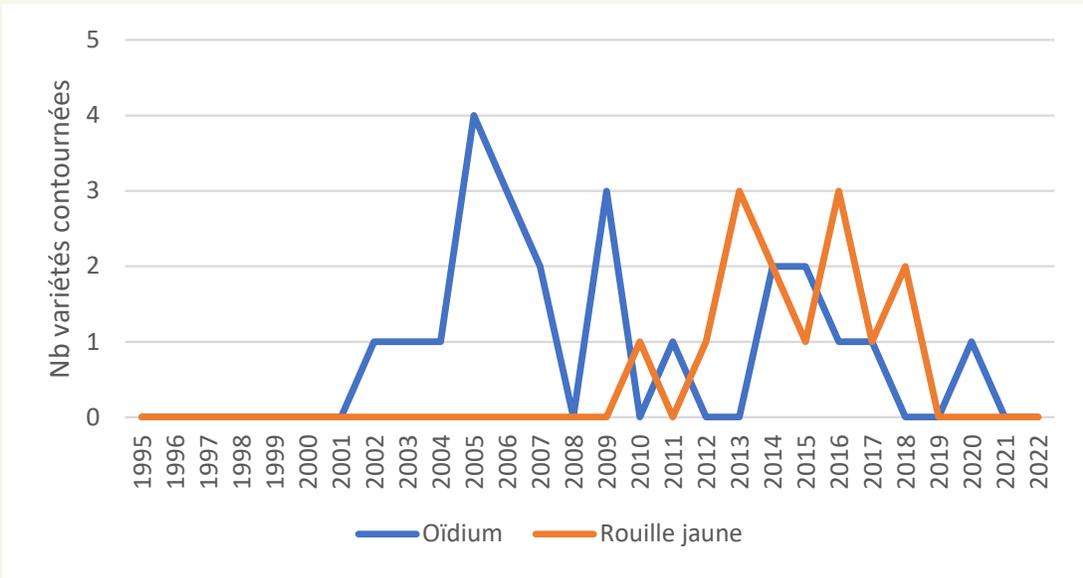


* : Il existe plusieurs variants ou pathotypes de la race Warrior (-). Ils se distinguent avec les virulences 17, Nemo (et Amboise). Entre 2013 et 2018, les méthodes d'identification utilisées ne permettaient pas toujours de distinguer ces différences de virulence. C'est pourquoi elles sont ici groupées sous la dénomination Warrior (-).



Des résistances parfois fragiles

TRITICALE	BLE TENDRE
Oïdium : ↗↗ Années 2000, puis ↘	Rouille brune : → stable
Rouille jaune : ↗↗ Années 2010	Rouille jaune : ↗↗ depuis 2011
	Septoriose : érosion progressive, cas de contournements (Stb16q)



Vers des résistances plus robustes

- ❖ Privilégier les variétés portant les résistances durables
- ❖ Identifier les résistances vulnérables et augmenter leur durée de vie

- Améliorer les connaissances sur le **déterminisme génétique** des résistances des variétés commerciales
- Améliorer l'**épidémiosurveillance** des pathogènes
- Caractériser les **mécanismes d'action** des gènes de résistance
- **Diversifier** les sources de résistance
- Proposer des **stratégies de gestion durable** des résistances les plus vulnérables

Vers une meilleure gestion de la durabilité des résistances

- ❑ Pilote : Irlande, Teagasc
- ❑ 48 mois; démarrage au 01/09/2024
- ❑ 17 partenaires de 10 pays européens
- ❑ 5 millions €

Objectifs :

1. Analyser la **distribution et l'impact des pathogènes émergents** sur le **blé, la pomme de terre et les légumineuses** dans un contexte européen.
2. Faciliter **l'amélioration de la résistance** en développant un **accès rapide et fiable aux races les plus virulentes et agressives** des agents pathogènes ciblés.
3. Faciliter **la lutte intégrée** et la gestion des maladies en développant **des outils numériques** au niveau du paysage pour **prédire la vulnérabilité de l'hôte**.



* Déploiement des résistances : DiverCILand

* Suivi épidémiologique & carte de vulnérabilité

* Mélanges variétaux / rouille jaune



WP1.6 Gestion du déploiement des résistances variétales aux rouilles du blé au niveau du paysage

Leader blé :



Objectif : Développer un outil de prévention du développement des rouilles au niveau du paysage par une surveillance du déploiement spatio-temporel des résistances variétales au niveau européen

Collecte des données disponibles auprès des offices d'examen UE d'inscription et autres instituts :

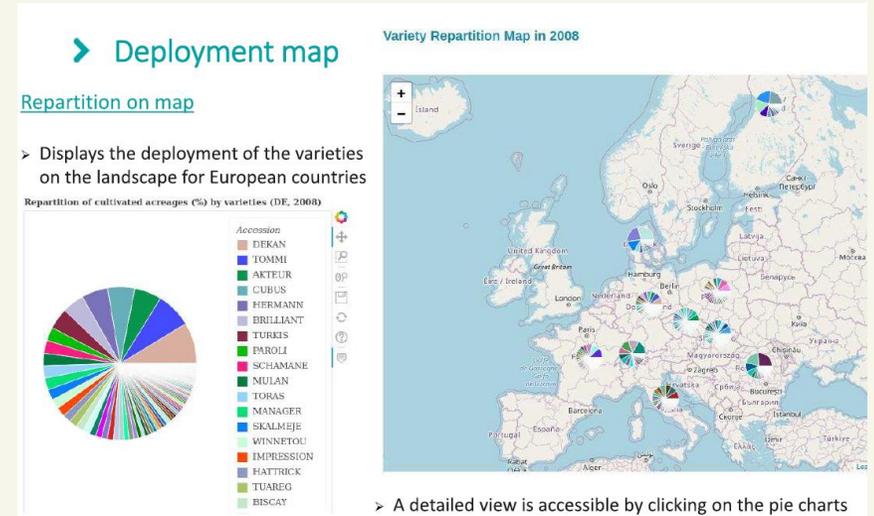
- i) zones de déploiement des variétés inscrites,
- ii) niveaux de résistance des variétés aux maladies
- iii) gènes de résistance

► **Blé tendre :**

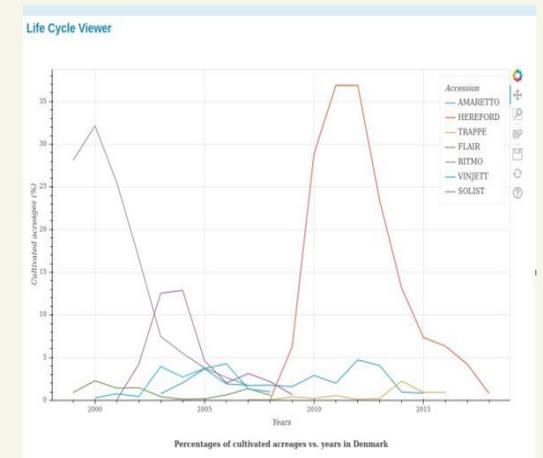
- DiverCILand créée dans Rustwatch
- Mise à jour des données après 2019 dans IPMorama, en partenariat avec le GEVES

► **Blé dur :** développement de DiverCILand dans IPMorama, en partenariat avec le GEVES

> Diversité et fréquence des variétés au niveau spatial

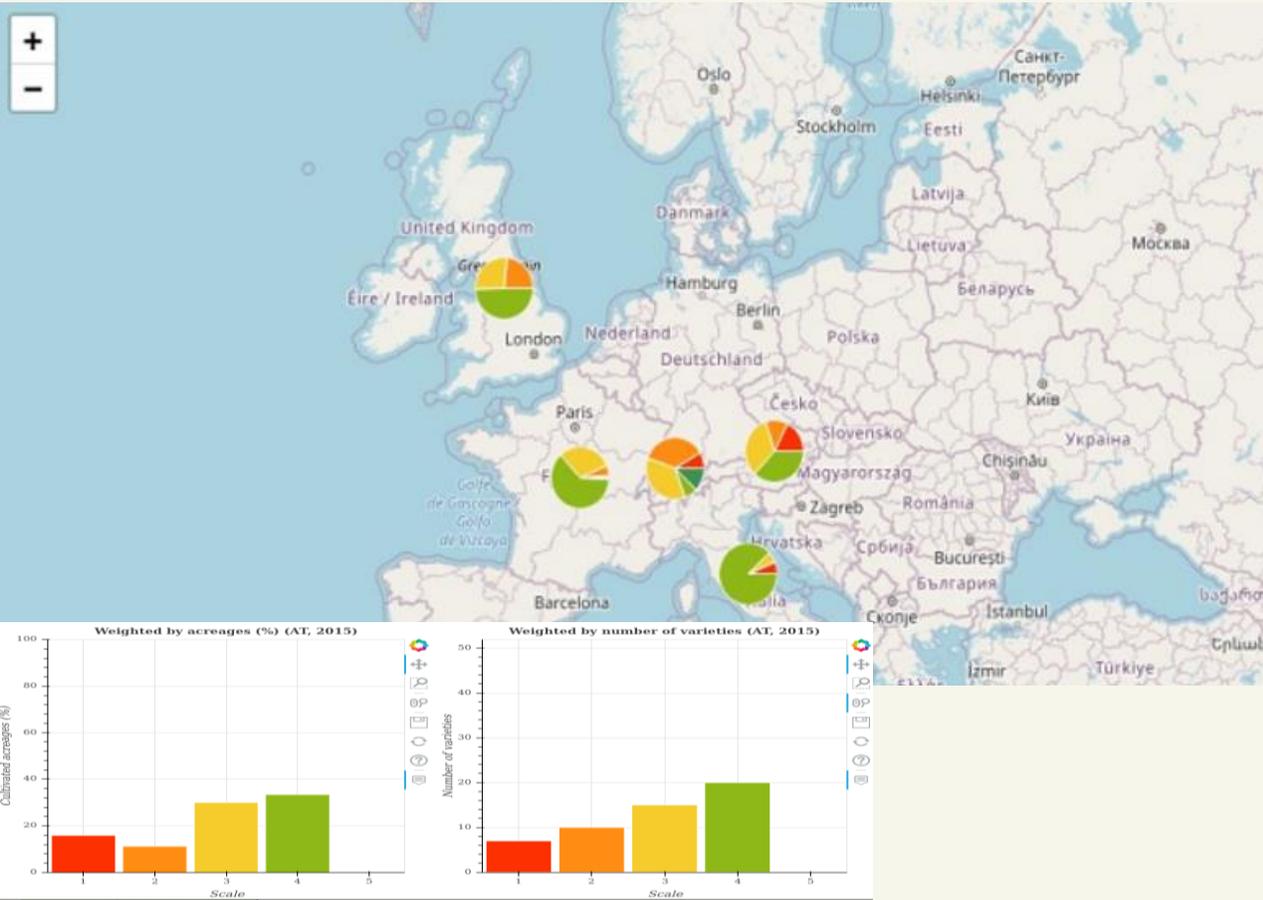


> Evolution des variétés au niveau temporel



Déploiement des résistances variétales et des gènes de R. au niveau UE

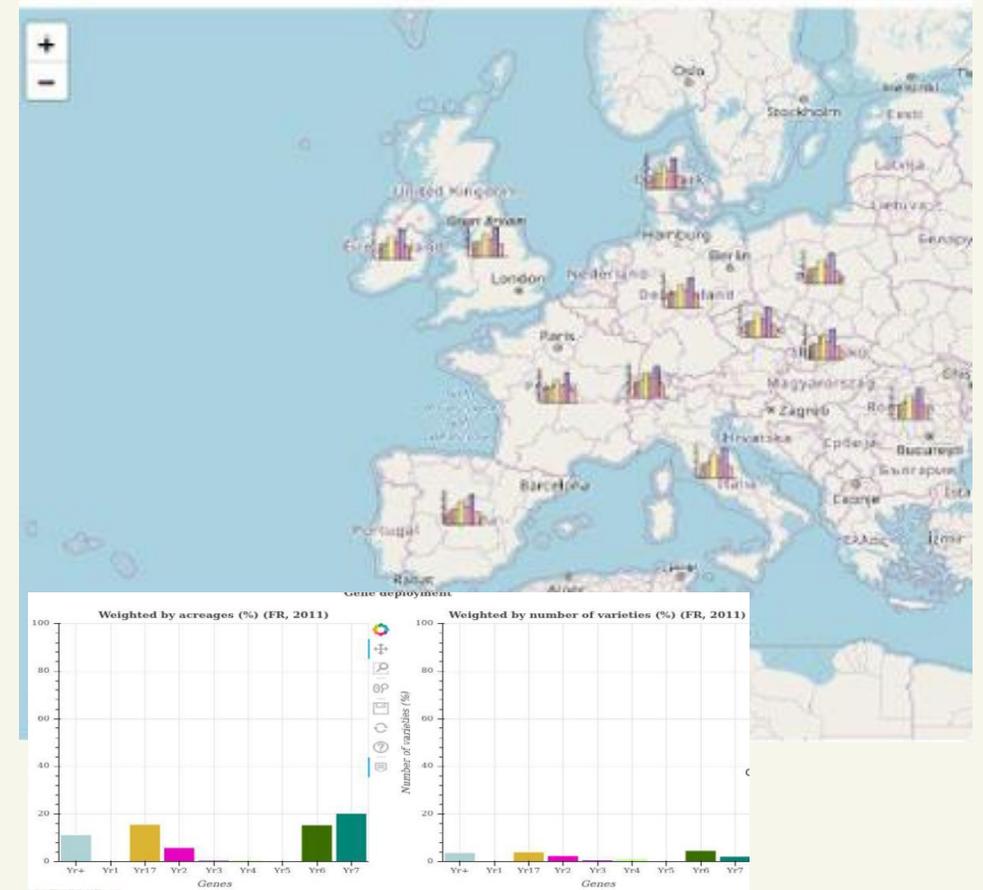
> Rust resistance at landscape level



Dvpt d'une échelle commune VATE UE pour les notes de résistance aux rouilles (1: S à 5: R)

> This scale is not an established standard

> R-gene deployment at landscape level



- Développement de marqueurs des gènes de résistance
- Meilleure connaissance du déterminisme génétique

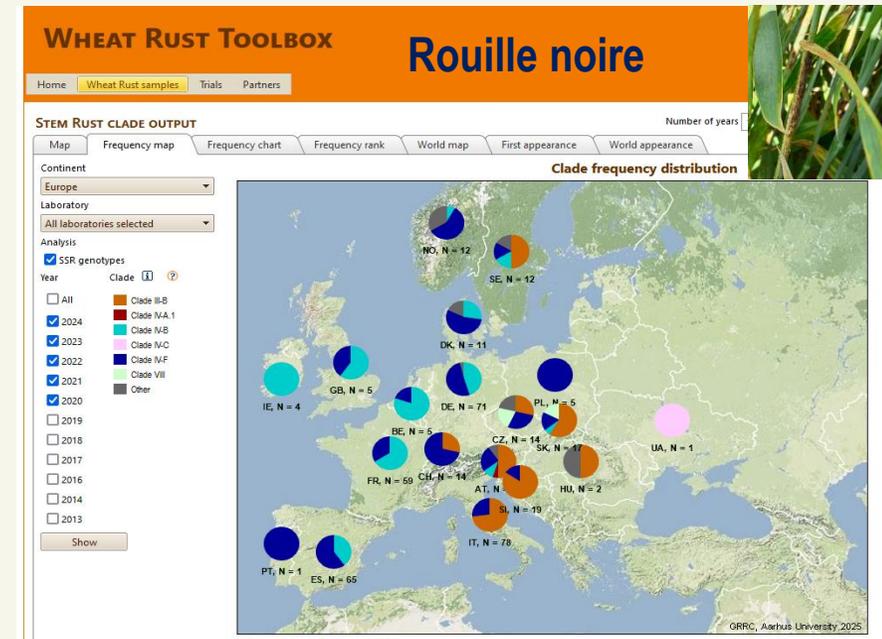
WP2.4 : Suivi épidémiologique des races de rouille dans les réseaux UE VATE

Leader blé : GEVES

- Création d'un set de variétés sentinelles (HD) pour détecter les nouvelles virulences aux 3 rouilles
- Collecte d'isolats dans les réseaux VATE UE sur variétés sentinelles (HD)
En 2024-25 : 79 sites VATE avec 12 hôtes différentiels au champ, dans 17 pays
- Notations visuelles
- Identification des races/génotypes et alignement des labos pour les nouvelles dénominations (INRAE/Univ. Aarhus/JKI, ...)

➔ Aide à l'interprétation des contournements de résistances variétales pour la VATE et sélectionneurs dans la base wheatrust toolbox

Rust differentials	Yellow rust (YR)	Leaf rust (LR)	Stem rust (SR)
Mariboss	yes		
Ambition	yes		
Amboise	yes		
Gringo	yes		
Chevignon	yes		
Providence		yes	
Hyteck		yes	
KWS EXTASE		yes	
LG ARMSTRONG		yes	yes
Kvium		yes	yes
Gladiator			yes
Sheriff			yes



WP2.8 Analyse de la stabilité de la résistance spatio-temporelle

Leader : Univ Aarhus (DK).

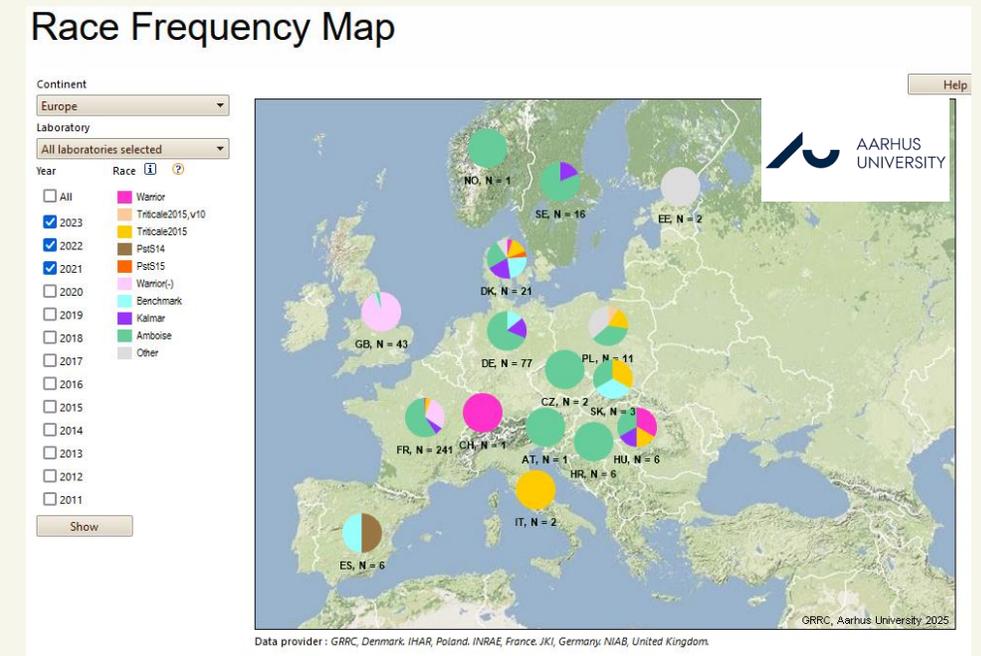
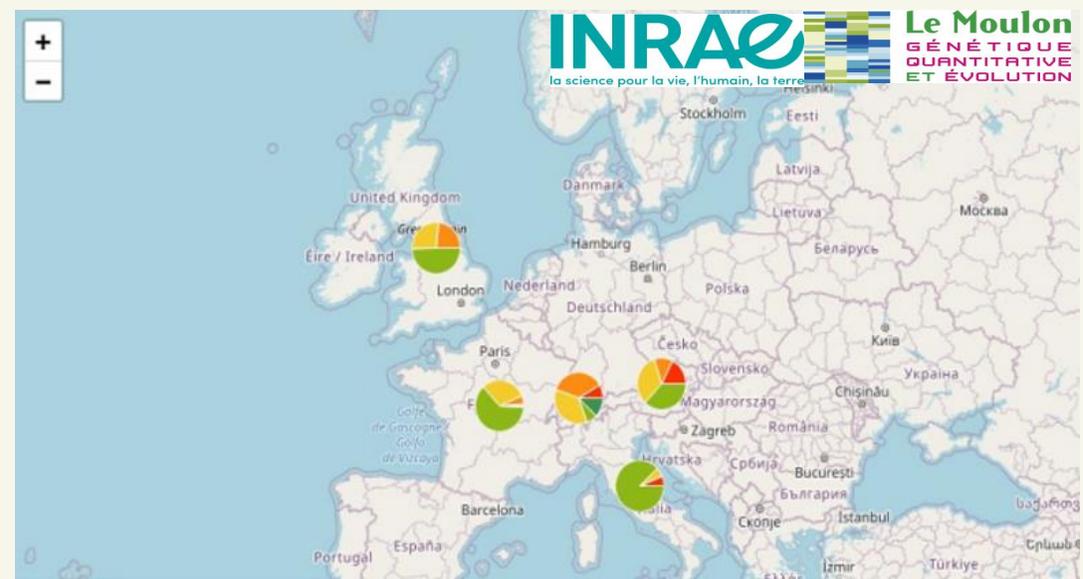


Construction de carte de vulnérabilité des paysages : Fusion des bases de données

DiverCILand



Wheat Rust Toolbox



Application : Valorisation des résistances durables dès l'inscription ou la post-inscription ?

Livrables attendus sur la durabilité des résistances

1. **Information sur le déploiement des variétés résistantes** aux rouilles jaune, brune et noire en blé tendre et blé dur, grâce à l'outil **DiverCiland**
2. **Renforcement du suivi épidémiologique des races de rouille :**
 - Détection précoce des virulences avec les variétés sentinelles au champ
 - Identification des races/génotypes
 - Communication publique sur le web des races/génotypes
<https://agro.au.dk/forskning/projekter/rustwatch/wheat-rust-early-warning>
3. **Création de carte de vulnérabilité** pour une meilleure gestion spatio-temporelle du choix variétal selon la zone géographique en Europe et **dvpt d'indicateurs de la stabilité des résistances**
4. **Dvpt de protocoles pour évaluer les mélanges variétaux** pour réduire le développement épidémiologique **de la rouille jaune** et favoriser la durabilité des résistances variétales

MERCI

