

Lutte contre les fusarioses des épis de blés : de l'utilisation raisonnée des fongicides aux méthodes de luttés alternatives*

Emmanuelle GOURDAIN
ARVALIS-Institut du végétal



Christian BARREAU
INRA, UMR 1264 – MycSa



**Projet de recherche ECOFUSA réalisé avec le soutien financier du CASDAR*

Fusariose des épis : symptômes sur blé



Épis entiers
+
cols d'épis



Épis partiel
+
Échaudage extrémité

Fusarioses : complexe des céréales à paille

Trichothécènes A

T-2

HT-2

DAS

Section
sporotrichiella

F. tricinctum

Pas de
Trichothécènes
Moniformine,
enniatives,
beauvericine

Zéaralénone

Trichothécènes B

DON NIV ADON

Fusarénone X

F. poae
F. sporotrichioides
F. langsethiae

groupe roseum

Section
roseum

F. avenaceum
arthrosporioides

F. graminearum

Section
discolor

F. Crookwellense
(*cerealis*)

F. pseudograminearum

F. culmorum

section
Gibbosum

F. equiseti



nivale :
Microdochium
nivale
majus



Fusarium



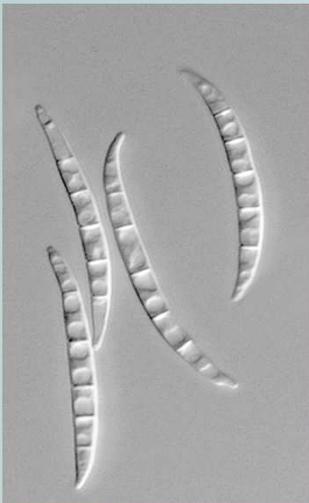
Microdochium



Reconnaissance au microscope

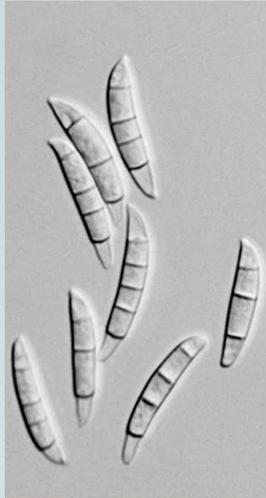
Les similitudes microscopiques sont fortes pour différencier les espèces du groupe « roseum » sur le plan morphologique : il faut utiliser les méthodes moléculaires.

F. graminearum

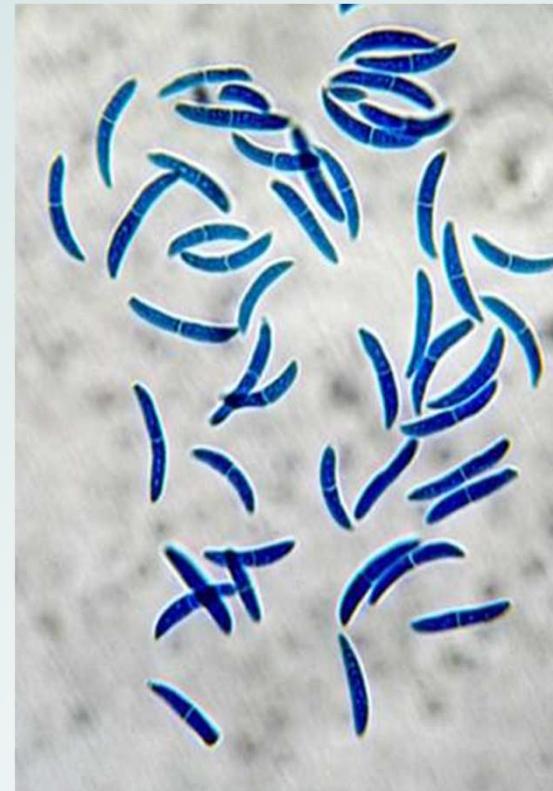


Burgess et al.

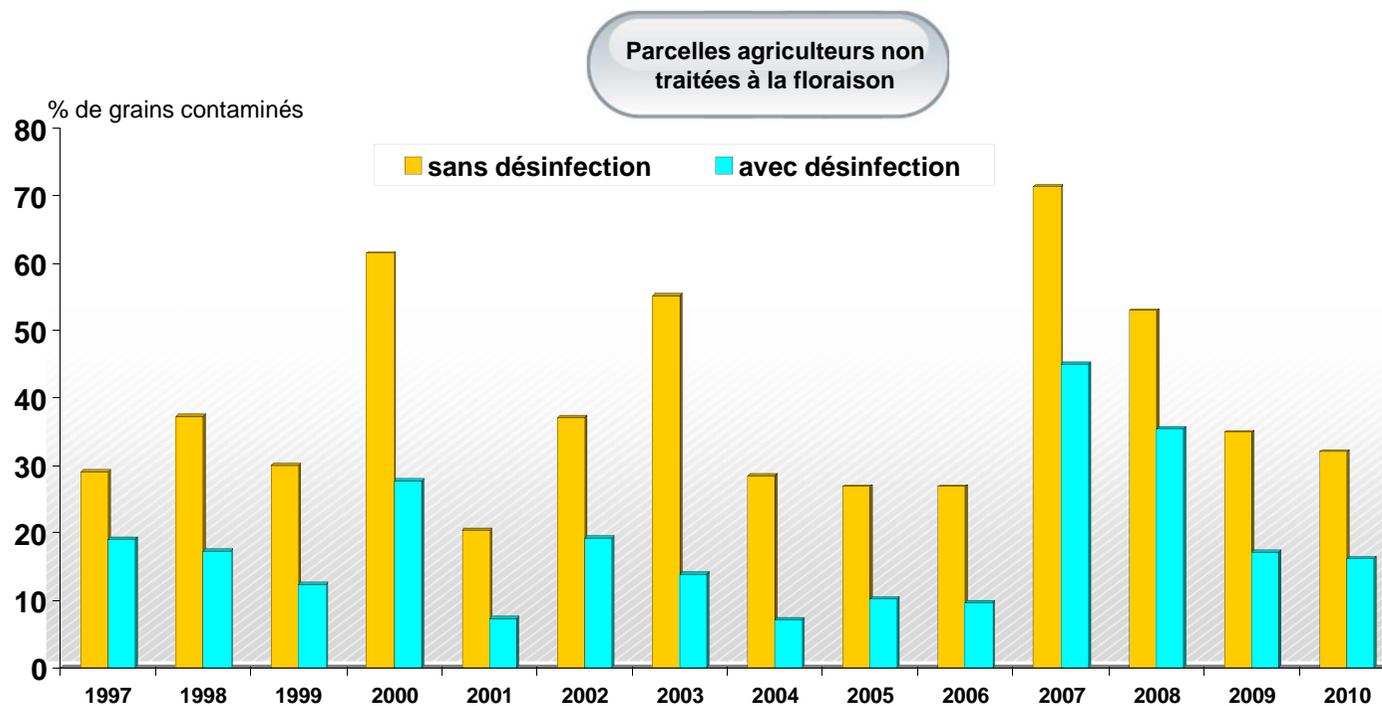
F. culmorum



Microdochium nivale



Cartographie Fusarioses 1997-2010 sur blés - % de grains contaminés



PAGE 6 - CONFIDENTIEL INTERNE - NE PAS DIFFUSER



Cartographie Fusarioses 1997 – 2010

Répartition des populations de Fusarioses : en base 100

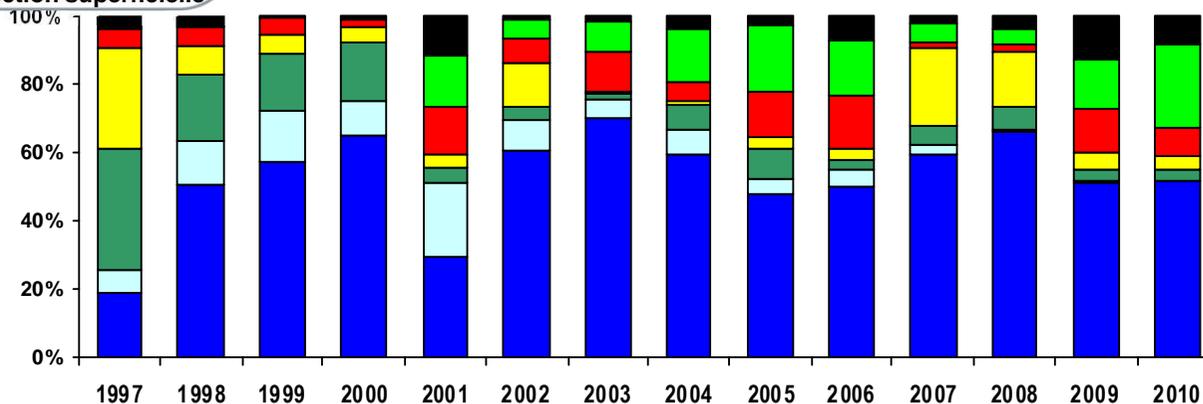
Les graphiques montrent la prédominance régulière de *F. graminearum*.

En 2010, la présence majoritaire de *F. graminearum* est confirmée.

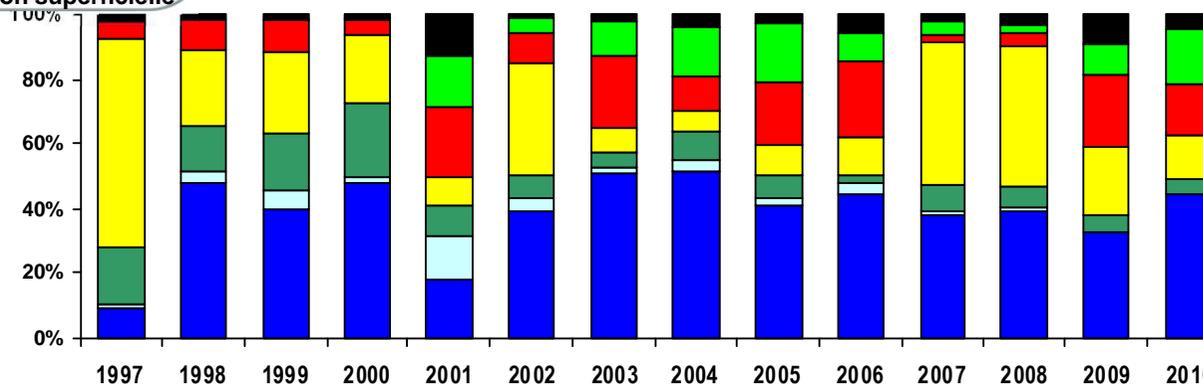
F. Poae et *F. tricinctum* ont été identifiés.

La présence de *Microdochium spp* est très irrégulière mais reste en fréquence le second « fusariose ».

Étude mycologique **sans** désinfection superficielle



Étude mycologique **avec** désinfection superficielle



- *F. graminearum*
- *F. culmorum*
- *F. avenaceum*
- *Microdochium spp*
- *F. poae*
- *F. tricinctum*
- Autres fusarium



Incidences sur le rendement, la qualité technologique et sanitaire



Dans les deux cas :

- ⇒ Augmentation de la proportion de grains échaudés
- ⇒ Perte de rendement
- ⇒ fonte de semis



Actuellement la lutte contre la fusariose des épis c'est ...

...lutter contre *F. graminearum* pour réduire le DON : enjeu sanitaire

- Gestion des résidus
- Choix variétal
- Fongicides

... ou ...

...lutter contre *M. spp* pour gagner en rendement : enjeu économique

- Fongicides

... mais

les méthodes de lutte ciblées influent sur l'équilibre des espèces du complexe en faveur de l'un ou l'autre champignon

+

l'apparition de résistances aux fongicides et à la diminution programmée de leur utilisation

=

Trouver des méthodes de lutte alternative pour préserver qualité sanitaire et rendement !

Lutte contre la fusariose des épis



- *Lutte agronomique*

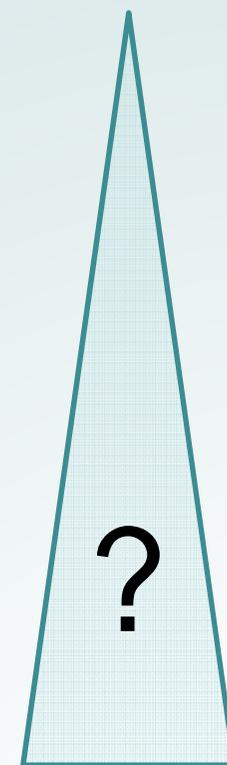
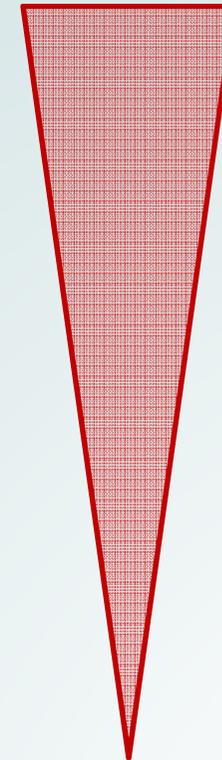
- *Lutte génétique*

- *Lutte chimique*

Poids des facteurs de risque

F. graminearum

M. spp



Lutte agronomique : ce que l'on sait sur l'effet des résidus

Essai travail du sol de longue durée Boigneville – blé tendre précédent maïs

DON (% du labour)	Broyage Labour	Broyage Rotavator	Sémavator	Semis direct (SD)	SD puis broyage
1999 à 2007	100	177		335	
2003 à 2007	100	158	286	329	
2007	100	209	234	335	159

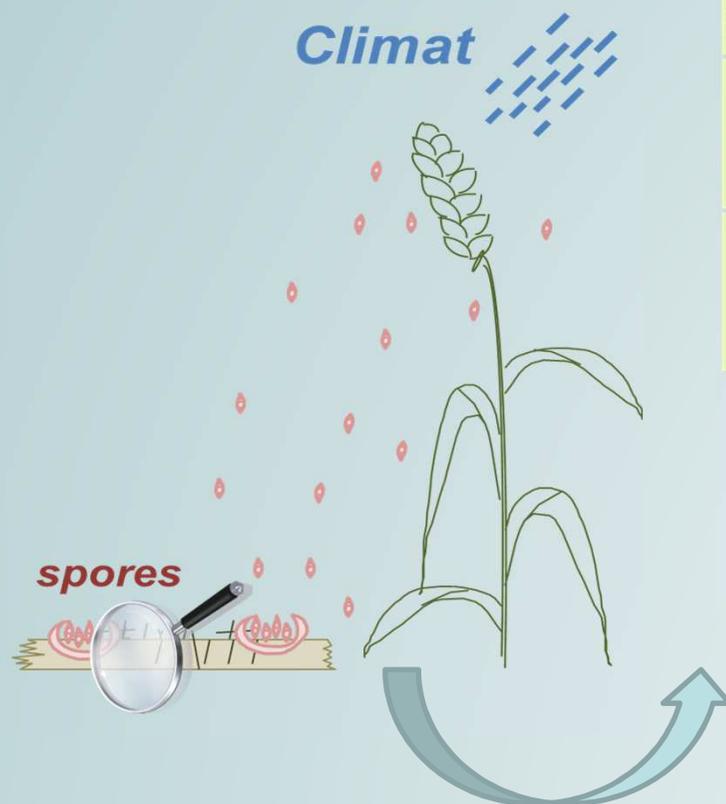
Résidus en surface en Octobre



Résidus en surface en Juin

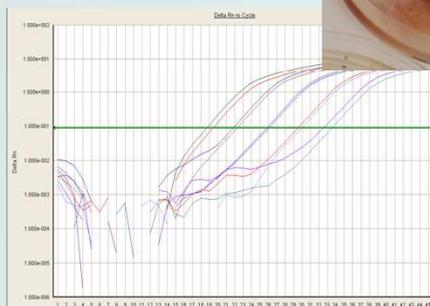


Enjeu : hiérarchiser les résidus quant à leur pouvoir infectieux au moment de la floraison des blés



Système de culture	Sensibilité variétale	Niveaux de risque
Céréales à paille, colza, lin, pois, féverole, tournesol	Peu sensibles	1
	Moyennement sensibles	1
	Sensibles	3
	Peu sensibles	2
	Moyennement sensibles	2
	Sensibles	3
Betteraves, pomme de terre, soja, autres	Peu sensibles	2
	Moyennement sensibles	2
	Sensibles	2
	Peu sensibles	2
	Moyennement sensibles	2
	Sensibles	4
Maïs, sorgho (Fourrages)	Peu sensibles	2
	Moyennement sensibles	(2) 3
	Sensibles	4
	Peu sensibles	(4) 5
	Moyennement sensibles	(5) 6
	Sensibles	(6) 7

Améliorer les grilles d'aide à la décision pour gérer le risque global fusariose



Caractériser les espèces fongiques présentes sur résidus

Lutte génétique : sensibilité des variétés à l'accumulation de DON

Evaluation variétale:

-> inscription (CTPS): note de sensibilité à la fusariose

-> post-inscription (ARVALIS) : essais dédiés pour valider la note de sensibilité à la fusariose et ajustée une note de sensibilité à l'accumulation de DON



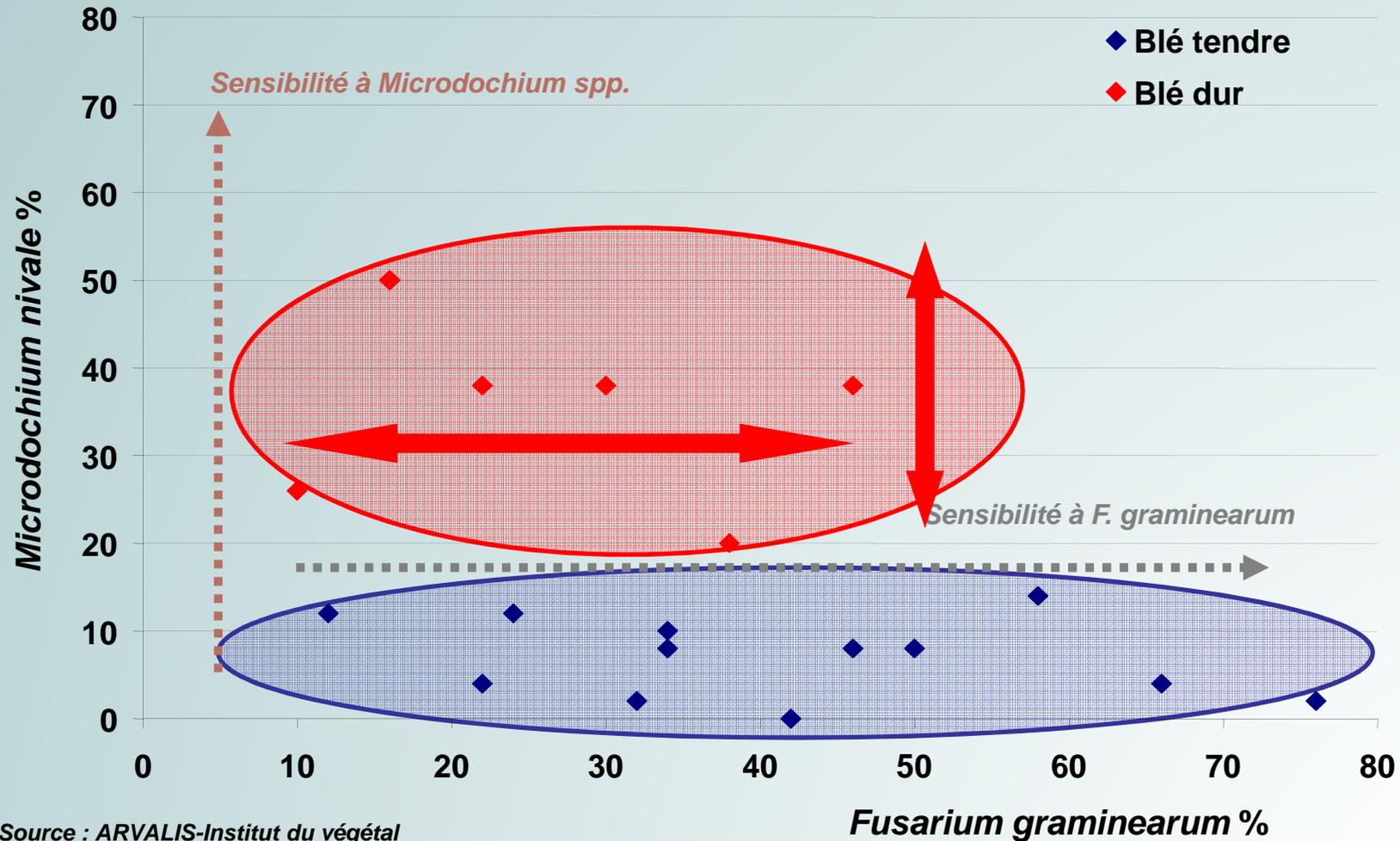
7	APACHE	RENAN	GRAINDOR		
6	CHEVALIER	GALIBIER	HYMACK	HYSUN	
5	ALIXAN	(AREZZO)	ARLEQUIN	(HYSTAR)	(GARANTUS)
4.5	ACCOR	(BUENNO)	(DIALOG)	(FIORETTO)	
	PALEDOR	MERCATO	SANKARA	RUSTIC	SOISSONS
4	ALTIGO	AUBUSSON	(AMUNDSEN)	CCB INGENIO	KORELI
	EUCLIDE	(EXELCIOR)	PEPIDOR	SELEKT	(SOLLARIO)
3.5	ALDRIC	AMBITION	BAGOU	CAMPERO	
	DINOSOR	(INTERET)	(PHARE)	PREMIO [#]	
3	BERMUDE	BOISSEAU	(BOREGAR) [#]	CAPHORN	(EXPERT) GARCIA
	(GALACTIC) [#]	(MINOTOR)	ROSARIO	(TIAGO)	TOISONDOR (VALODOR) [#]
2	(MAXWELL)	PR22R58	ROYSSAC	TIMBER	

() : peu de données

: en cours de confirmation

Source : Arvalis-Institut du végétal 2009

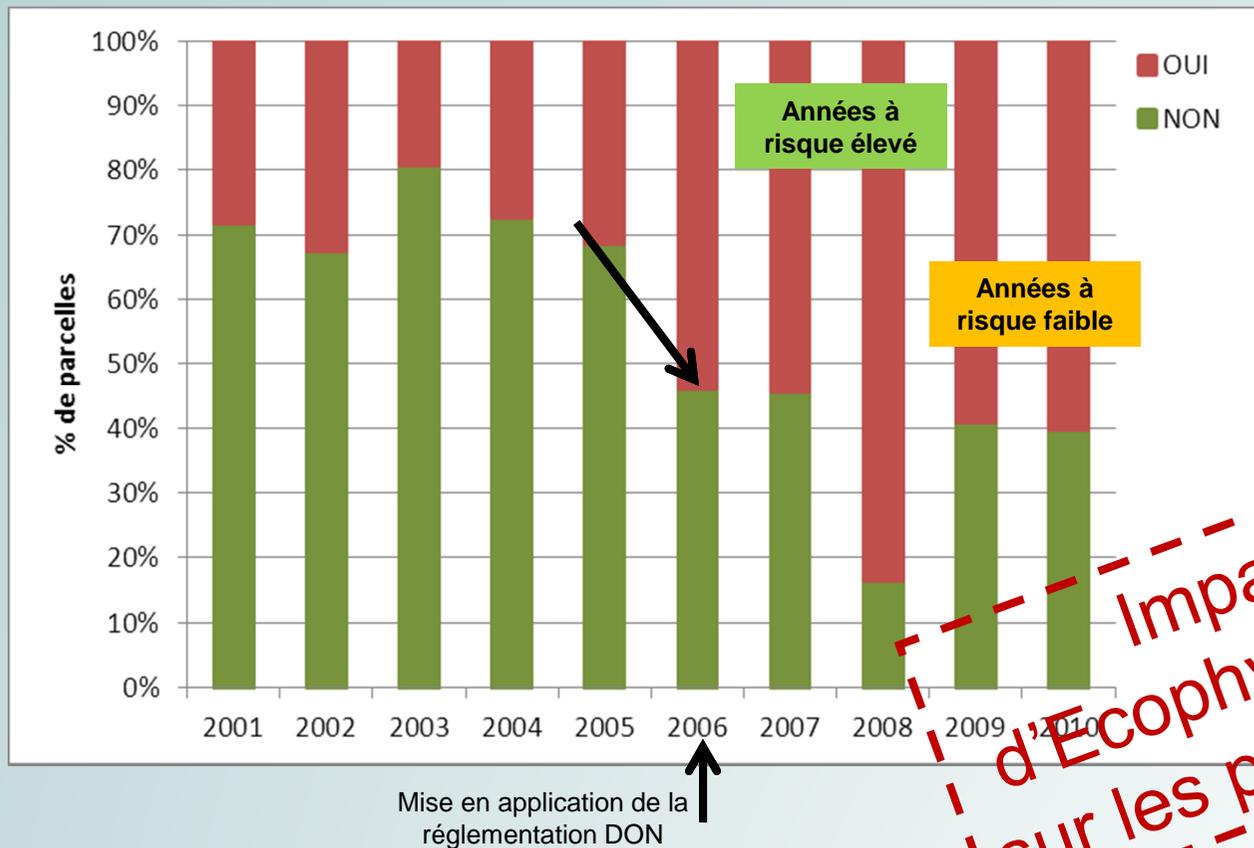
Enjeu : Mieux caractériser les sensibilités des espèces et variétés aux différentes espèces du complexe fusarien



Source : ARVALIS-Institut du végétal
 Analyses mycologiques des grains récoltés et désinfectés
 ESSAI BRUMISE et cannes de maïs – Ouzouer le Marché (41) - 2009

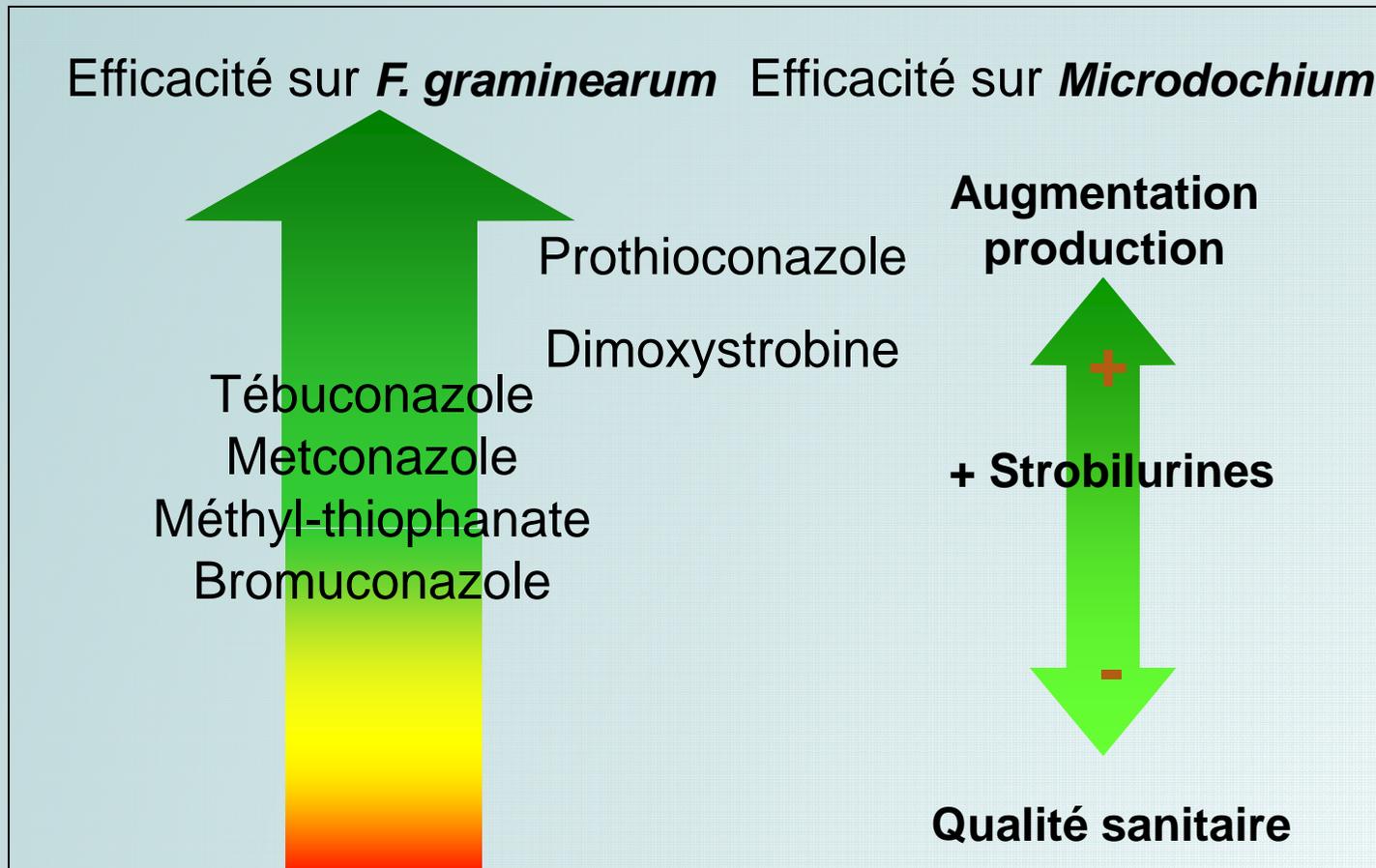
Lycée Agricole de Pau-Montardon, 22 Septembre 2011

La lutte chimique anti-Fusarium d'hier à aujourd'hui ?



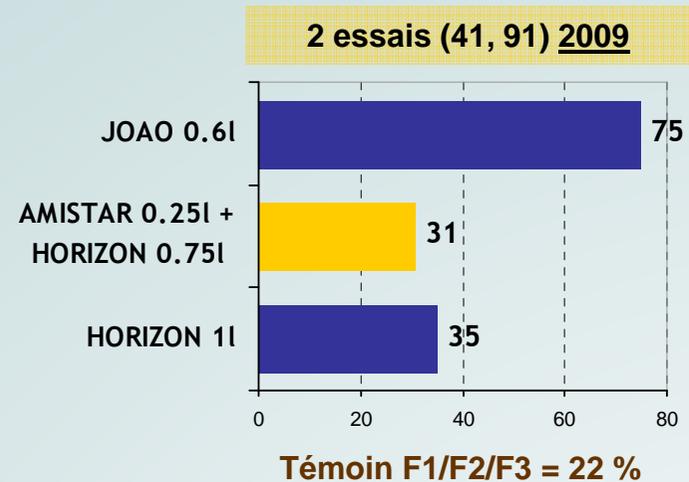
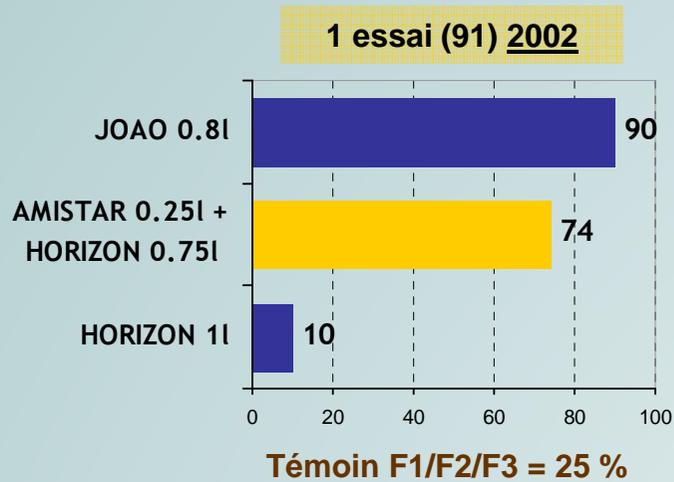
Source : enquêtes blé tendre/ blé dur agriculteurs ARVALIS-Institut du végétal 2001-2010
 Résultats donnés à titre indicatif sur un jeu de données non représentatif de la sole totale de blé

Equilibre de flore et matières actives

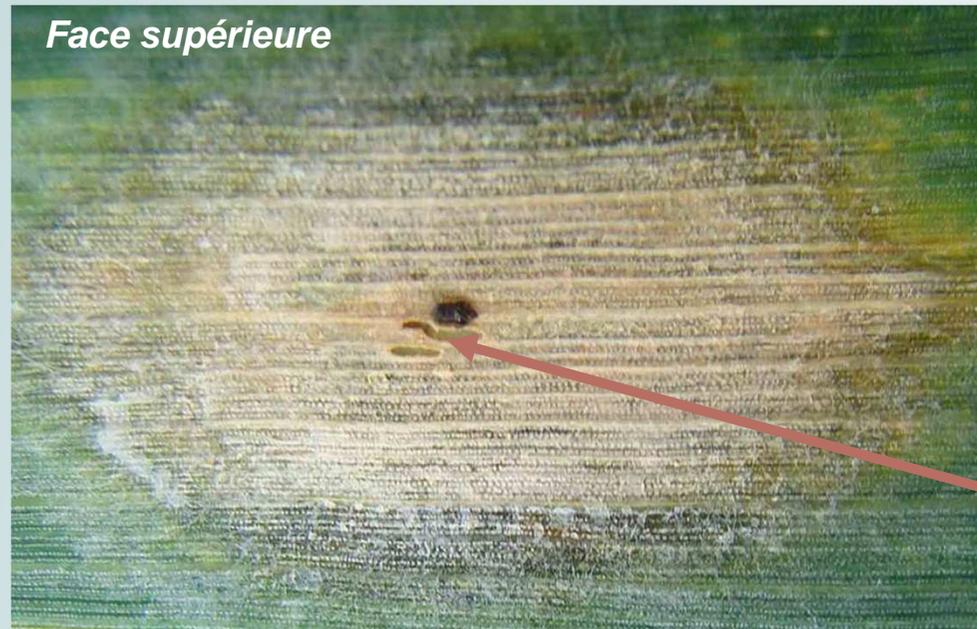


Oui mais ...

... apparition de résistances de *Microdochium* aux strobilurines



La résistance de *Microdochium spp.* aux strobilurines est associée à une perte d'efficacité de l'ensemble des représentant de la famille

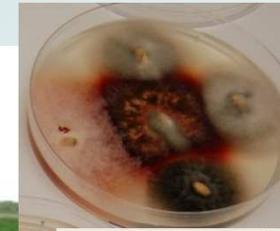


Microdochium spp. est un champignon opportuniste qui exploite les lésions provoquées par d'autres bioagresseurs (ici une morsure de cryocères)

Enjeu : étudier la flore fongique en présence pour évaluer le risque et ajuster le traitement



Choix de la matière active la plus efficace si nécessaire



Espèces fongiques ?
Résistance ?



Fongicides :

Efficacité à condition que :

- Bon stade d'application
- Bonne dose
- Spécificité



Limites :

- Compétition : *Fusarium/Microdochium*
- ↗ Toxines
- Pollution
- Intoxication
- Coût élevé

Biomolécules :

- Efficaces
- Spécifiques
- Non toxiques
- Produites industriellement à moindre coût et facilement

Enjeu pour la recherche :
mieux comprendre la toxinogenèse et sa régulation
pour aider à la définition d'approches alternatives

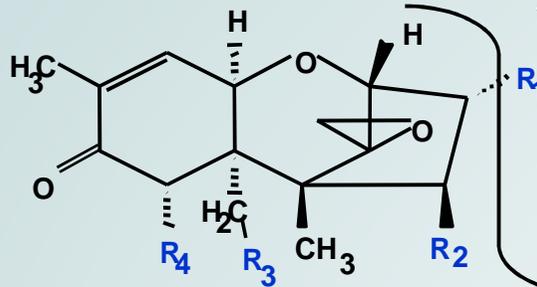
Enjeu pour la recherche : mieux comprendre la toxigenèse et sa régulation

Mycotoxines produites par *Fusarium*

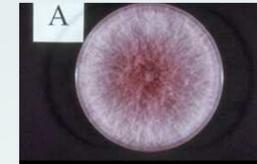
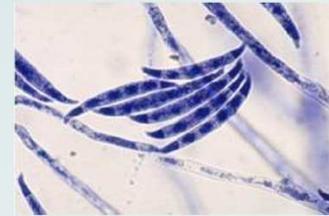
Trichothecenes B
Chemotype DON/ADON
R1 R2 R3 R4



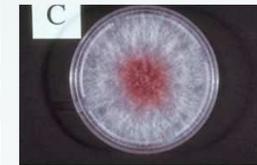
Chemotype NIV/FX
Zearalenone



F. graminearum



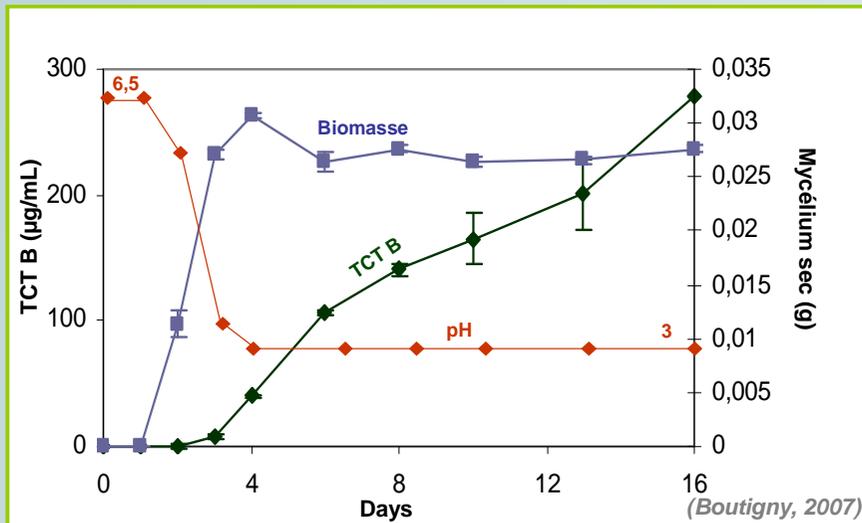
F. culmorum



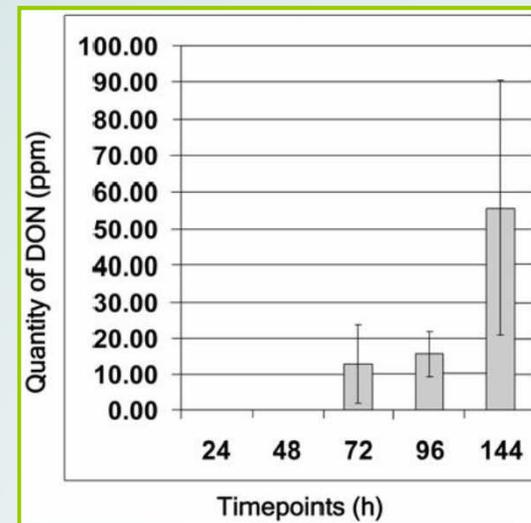
Enjeu pour la recherche : mieux comprendre la toxinogénèse et sa régulation

Cinétique de production du DON

En culture *in vitro*



Chez la plante

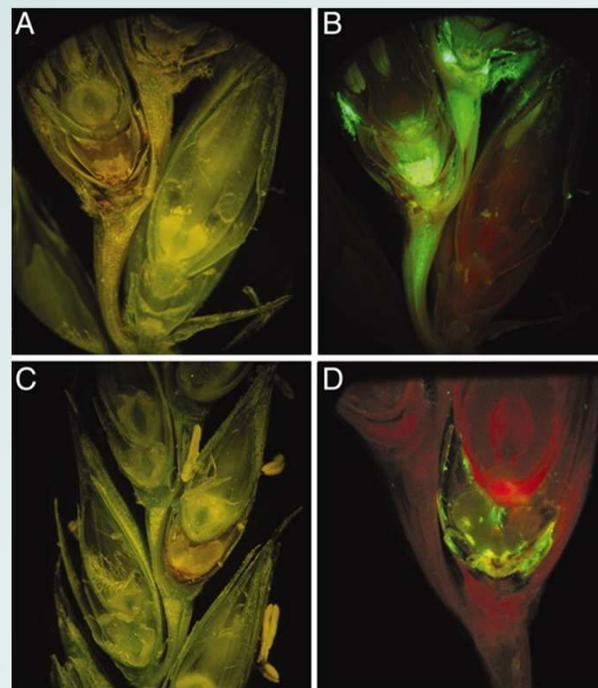
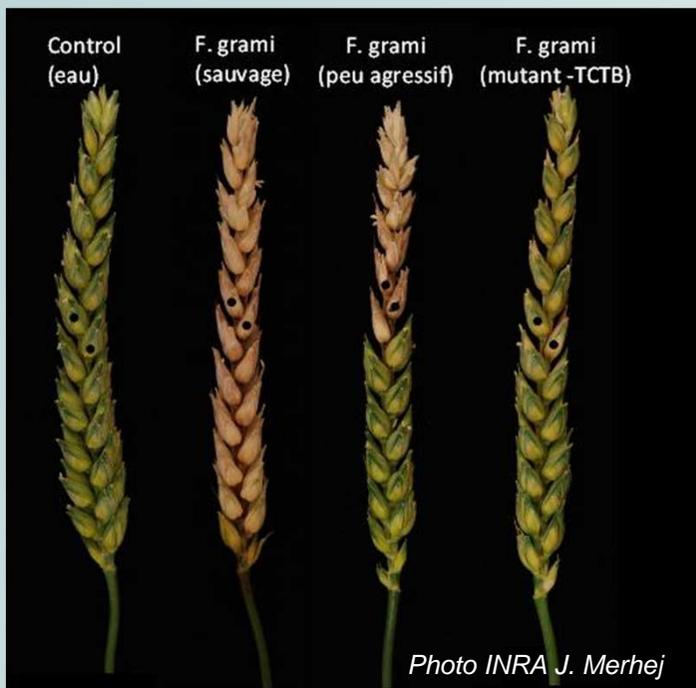


Enjeu pour la recherche : mieux comprendre la toxinogénèse et sa régulation

Le DON est un facteur d'agressivité

La toxine est importante pour la progression de la maladie

La toxine permet la progression de *Fusarium* d'un épillet à l'autre en passant par le rachis



Jansen C. et.al. PNAS 2005;102:16892-16897

Enjeu pour la recherche : mieux comprendre la toxinogénèse et sa régulation

Voie de biosynthèse du DON (déoxynivalénol) chez *Fusarium graminearum*

D'après Ponts 2005 (Thèse U. Bordeaux1 2007); Kimura et al. 2003 FEBS Letters 539 (2003) 105-110; Kimura et al. 2007 Biosci. Biotechnol. Biochem. 71:2105-2123

METABOLISME PRIMAIRE

Voie des isoprénoïdes

Farnesyl-PP → STEROLS

Tri5 Trichodiène synthétase

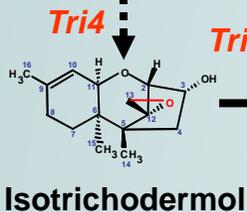
Trichodiène

Tri4

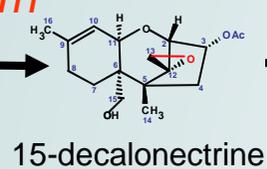
Tri4

Tri4

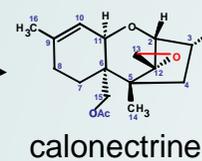
Self-protection



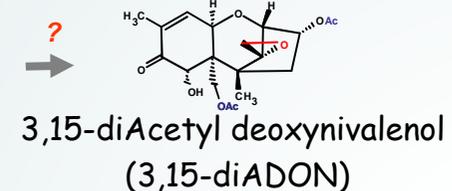
Tri101 **Tri11**



Tri3



Tri1 **Tri1**

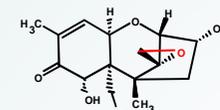
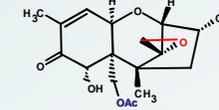
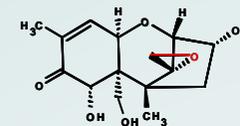


Deoxynivalénol (DON)

Tri101?

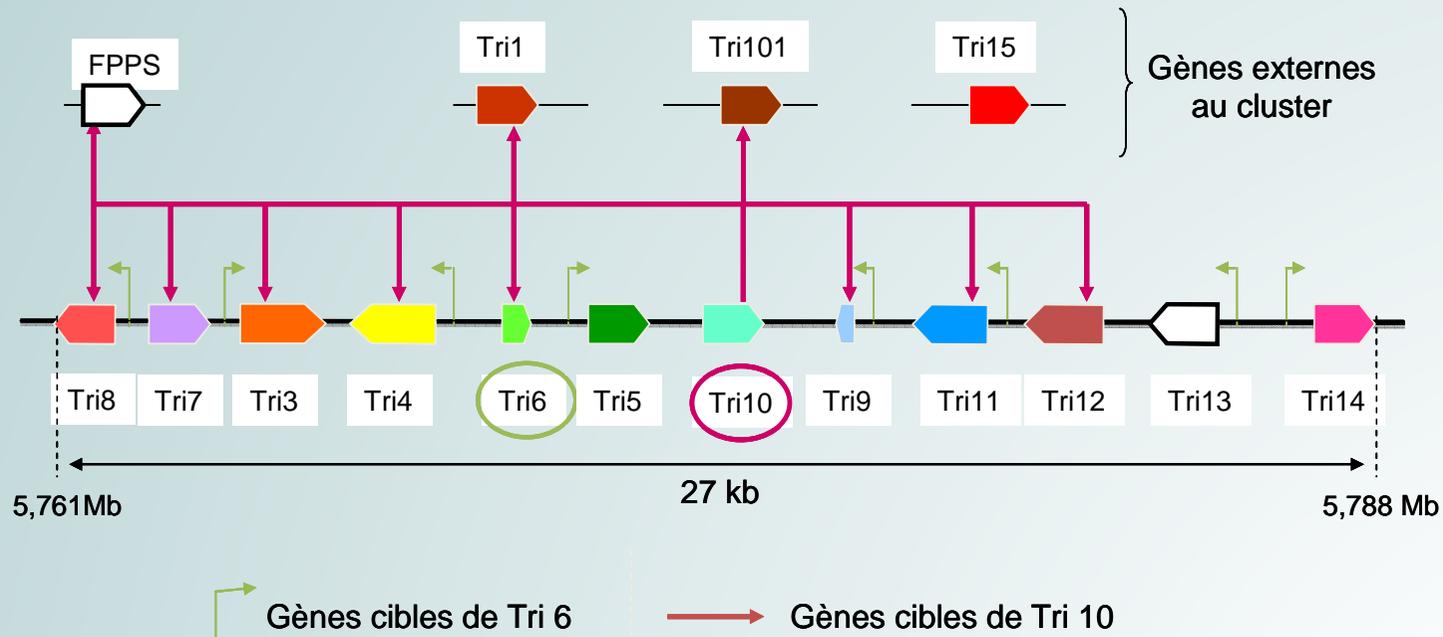
15-Acetyl deoxynivalénol (15-ADON)

Tri8c3



Enjeu pour la recherche : mieux comprendre la toxigenèse et sa régulation

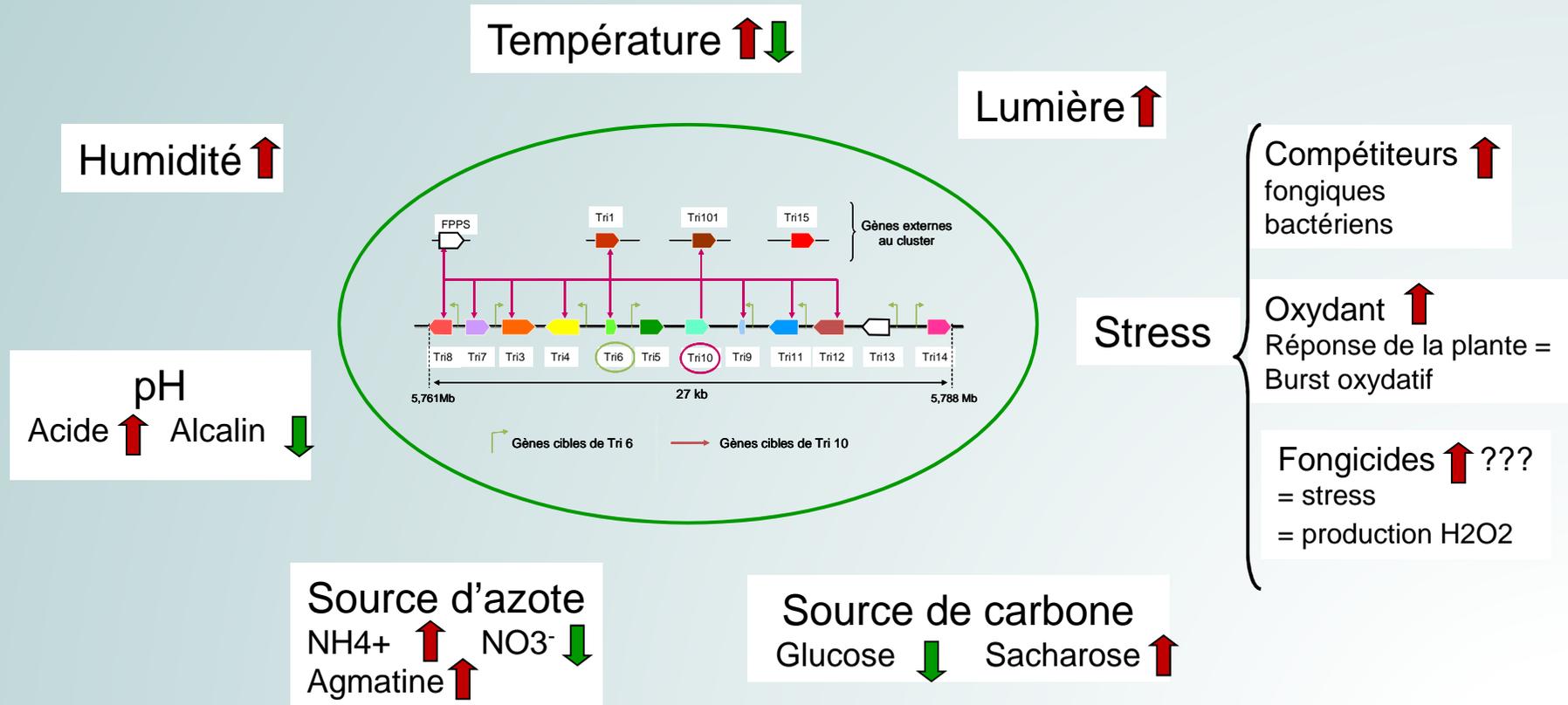
Les gènes *Tri* de biosynthèse du DON sont regroupés dans un « cluster ».



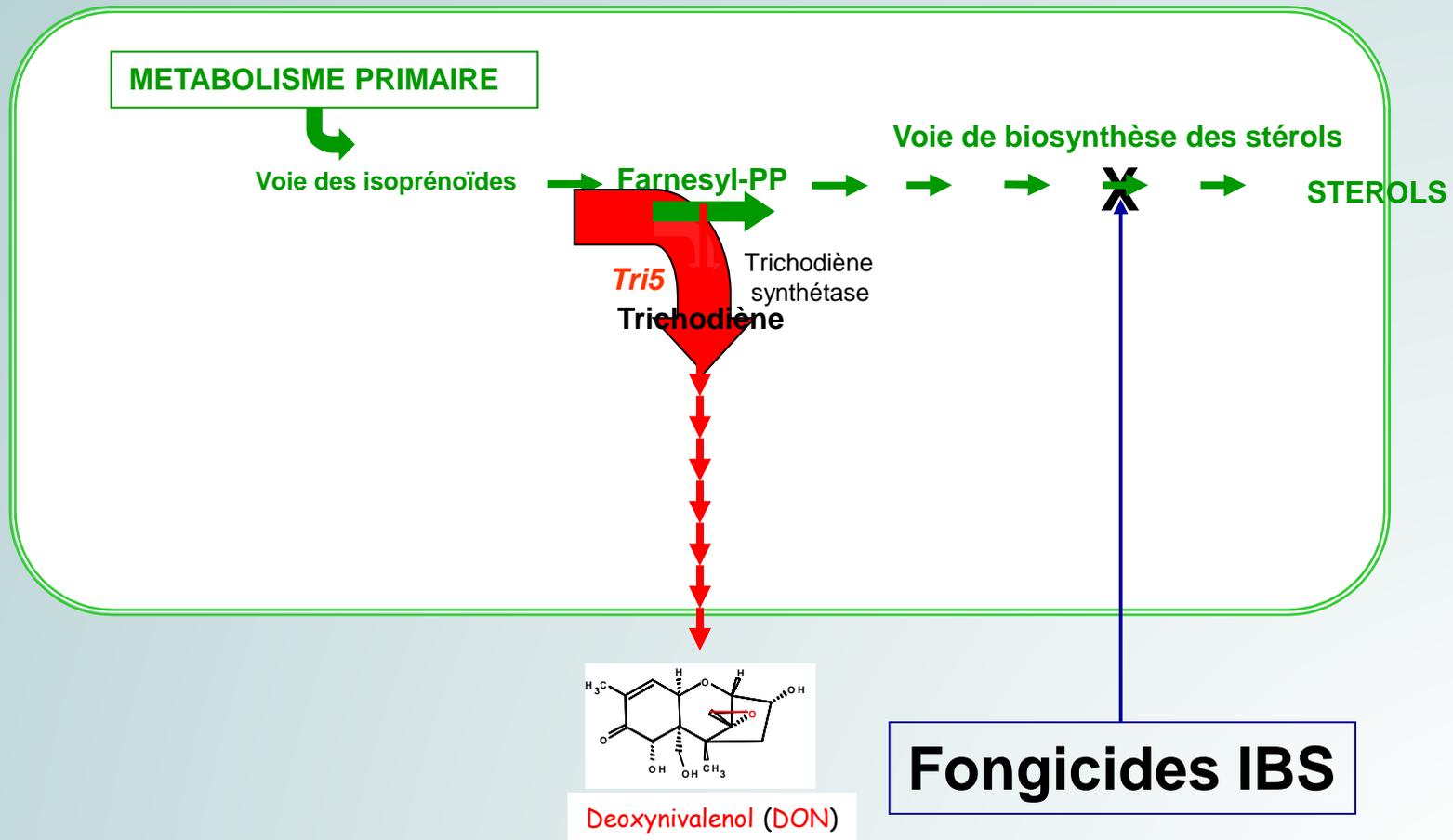
Deux régulateurs transcriptionnels *Tri 6* et *Tri 10* sont présents dans le "cluster"

Enjeu pour la recherche : mieux comprendre la toxigenèse et sa régulation

L'expression des gènes *Tri* et la biosynthèse du déoxynivalénol sont soumis à des mécanismes complexes de régulation



Effet potentiel des fongicides IBS sur la biosynthèse du DON



Il est important d'appliquer les fongicides IBS avant l'envahissement par *Fusarium*!

***Nouvel enjeu pour la recherche:
trouver des substances alternatives aux fongicides***

Deux impératifs:

- Cribler des molécules d'origine biologique efficaces pour limiter le développement des espèces fongiques responsables de la fusariose
- Rechercher des molécules ayant un effet "antimycotoxinogénique"

Projet CASDAR Tâche 3

Raisonner la lutte chimique : optimisation des traitements classiques et évaluation de nouvelles molécules issues de la chimie verte

Projet Région Aquitaine ECOPRESERVGRAIN

Volet caractérisation de l'activité antifongique d'essences végétales sur les champignons mycotoxinogènes

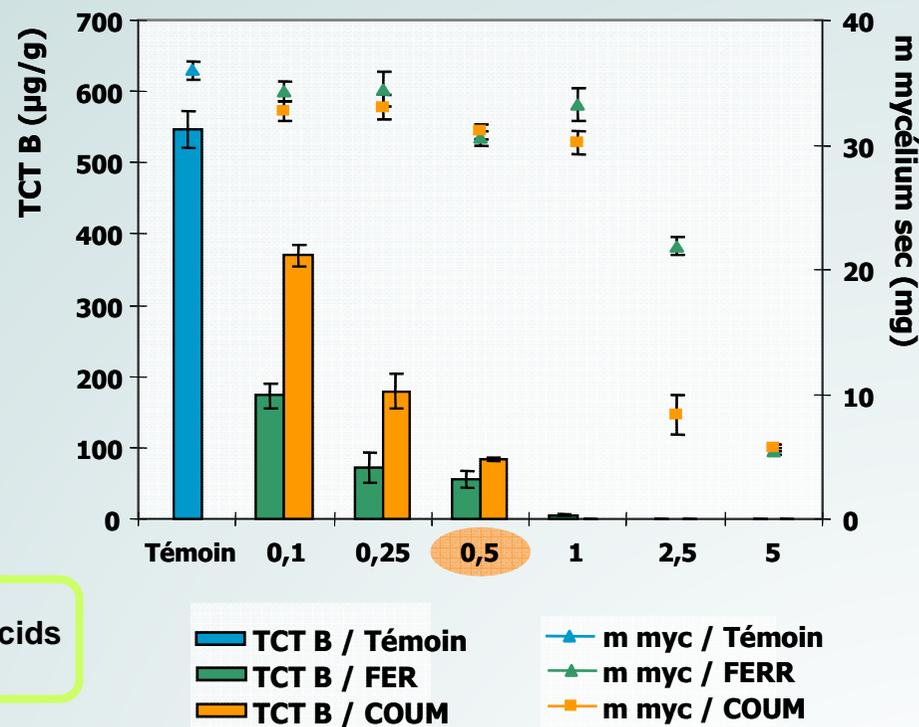
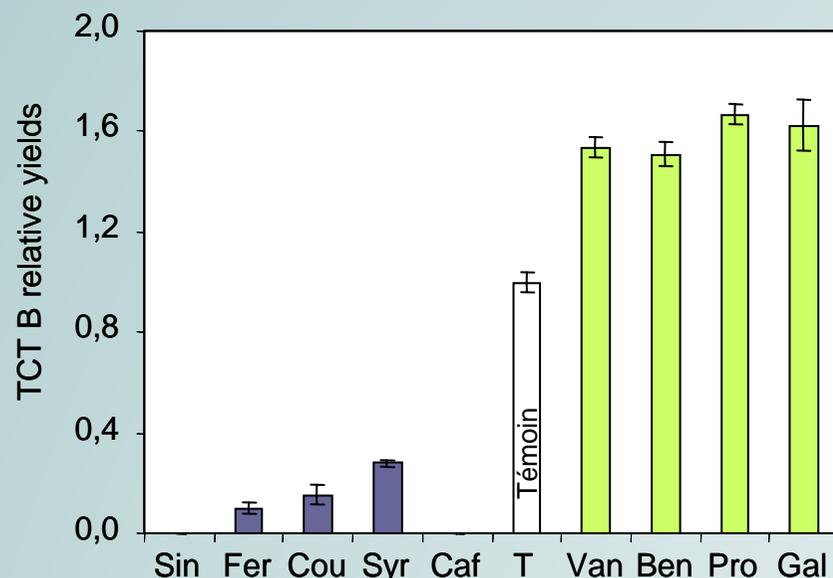
***Nouvel enjeu pour la recherche:
trouver des substances alternatives aux fongicides***

- Molécules naturellement présentes dans le grain
 - Molécules candidates
 - Acides phénols
 - caroténoïdes
 - Tocopherols
 - Autres

- Molécules issues d'autres végétaux ou d'autres organismes
 - Dérivés des acides férulique et caféique
 - Dicafeoylquinique
 - Curcumine
 - Huiles essentielles (ex: eugénol)
 - Chitosane (dérivé de la chitine de la carapace de crustacés)
 - Autres

- Criblage d'un grand nombre de molécules pour leur effet sur la croissance et sur la toxinogénèse (criblage à haut débit)

Inhibition de la biosynthèse du DON et de la croissance fongique par les acides phénoliques



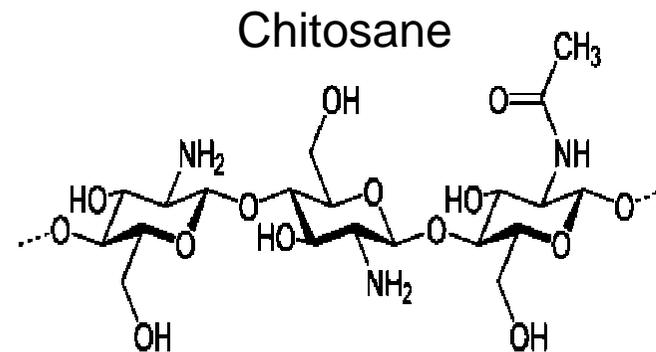
Boutigny, A. L., et al., (2008). "Natural mechanisms for cereal resistance to the accumulation of *Fusarium* trichothecenes." European Journal of Plant Pathology 121 (4): 411-423

Les acides phénoliques dérivés de l'acide cinnamique ont un effet inhibiteur de la croissance et de la toxinogénèse

Molécules naturelles comme biofongicides ?

Biofongicide :

- disponible
- faible coût
- efficace (spécifique)



- Effet perméabilisant sur la membrane fongique (*Neurospora crassa*)
(palma-Guerrero J. *et al*,2010)
- Pas de travaux sur *Fusarium*
- *Si effet perméabilisant/membrane fongique est vérifié pour Fusarium : le chitosane augmente-t-il l'efficacité de molécules antimycotoxines ?*

Etude de l'effet synergique du chitosane et de l'acide férulique

Concentration en chitosane en µg/ml

0 µg/ml

10 µg/ml

20 µg/ml

50 µg/ml

100 µg/ml

500 µg/ml



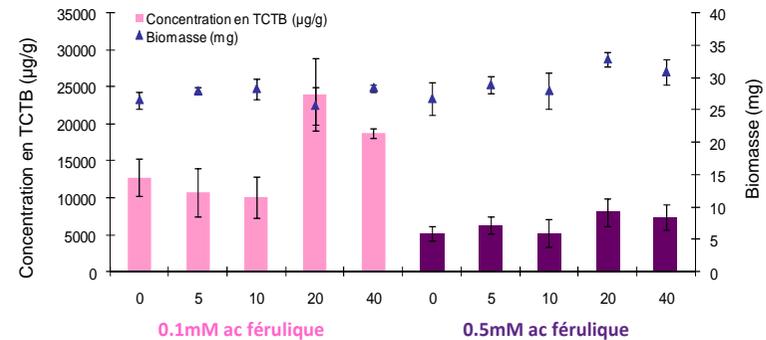
Avec chitosane

Inhibition de la germination aux concentrations >50µg/ml

Chitosane ajouté 12 h après l'inoculation (après la germination)



Pas d'effet sur la croissance après germination



Le chitosane n'augmente pas l'effet inhibiteur de l'acide férulique

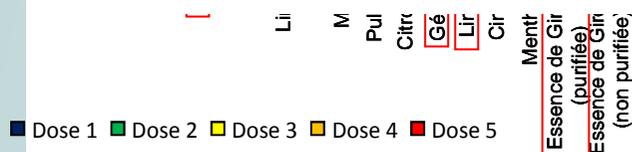
Pas d'effet synergique et seulement inhibition de la germination des spores

Cribler des molécules d'origine biologique diverses pour leurs propriétés antifongique et antimycotoxinogénique

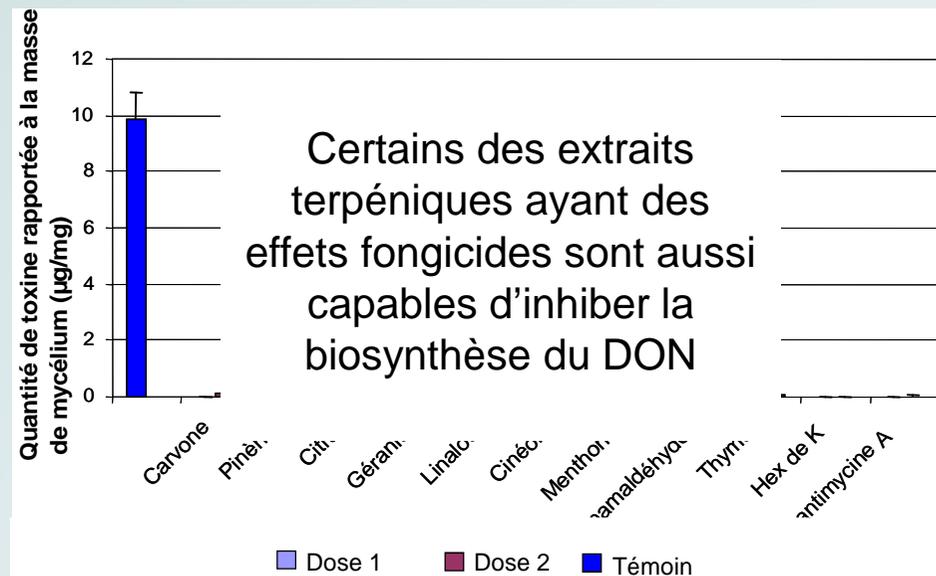
Effet de terpènes *in vitro* (Projet Région ECOPRESERVGRAIN)

Sur la croissance de *F. graminearum*

Des extraits de différentes plantes aromatiques ont des effets fongicides et sont capables d'inhiber la germination et/ou la croissance de Fusarium



Sur la production de déoxynivalénol par *F. graminearum*



Il est donc possible d'identifier des biomolécules capables d'inhiber à la fois la germination, la croissance et la toxinogénèse de Fusarium

Conclusion

La recherche de nouveaux fongicides laisse espérer identifier de nouvelles biomolécules issues de la chimie verte

Cependant; les différents résultats ont été observés *in vitro*!

Essais préliminaires → A valider sur plante et au champ
projet ECOFUSA; Projet Europeen PURE

Autres voies de lutte à l'étude pour réduire l'impact de la fusariose :

- Biocontrôle par d'autres microorganismes
 - Champignon compétiteur non toxigène
 - Espèces endophytes
- Résistance variétale
 - Evaluation précise des variétés existantes
 - Création de nouvelles variétés en sélectionnant des variétés résistantes à la fois à la fusariose et à la mycotoxinogénèse.

Nous vous remercions de votre attention

