

# Le phénotypage de la fusariose de l'épi : du passage de l'expert sur la parcelle à l'analyse automatique d'images prises au champ



Travaux réalisés par l'équipe DOPM  de l'Unité PHACC :  
Pierre Desray, Marlène Faure, Magali Joannin, Sylvie Roche,  
Frédéric Serre, Denis Tourvieille,

en collaboration avec



et

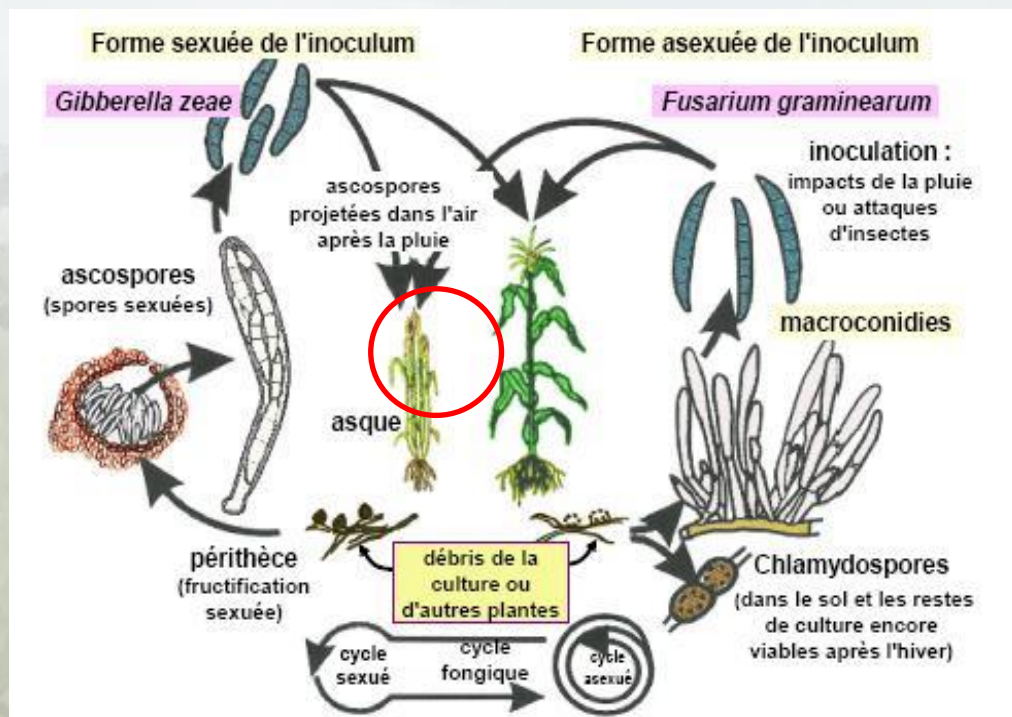


Réunion du Groupe Céréales – Clermont-Ferrand 8 & 9 avril 2015

# Introduction : problématique « fusariose de l'épi »

Le risque d'apparition des fusarioses sur les épis de blé résulte d'une combinaison de trois facteurs :

- une forte humidité ou des épisodes pluvieux autour du stade floraison.  
(40 mm de pluies à cette période augmente considérablement le risque)
- la présence sur le sol de résidus de culture contaminés.
- la sensibilité des variétés aux fusarioses.



Cycle



Stade de sensibilité

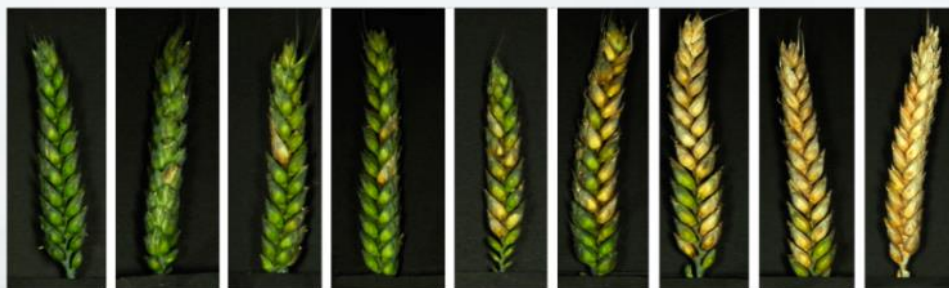


# Introduction : problématique « fusariose de l'épi »

Les dégâts de la fusariose sur épis de céréale s'apprécient par observations visuelles d'experts selon deux critères:

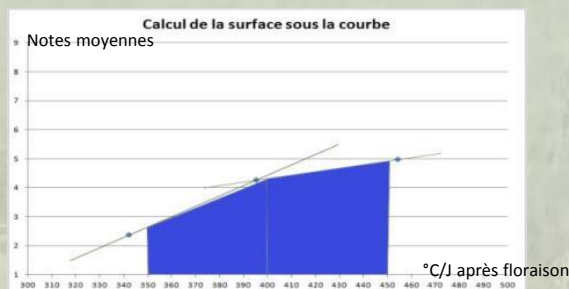
## - La sévérité:

Note de 1 à 9 de l'importance des symptômes sur l'épi



## Notation d'une parcelle de céréale

Tous les épis de la parcelle sont notés à trois dates : proches de 350, 400 et 450 °C/J après la floraison. La note de la parcelle correspond à la surface sous la courbe entre 350 et 450 °C/J

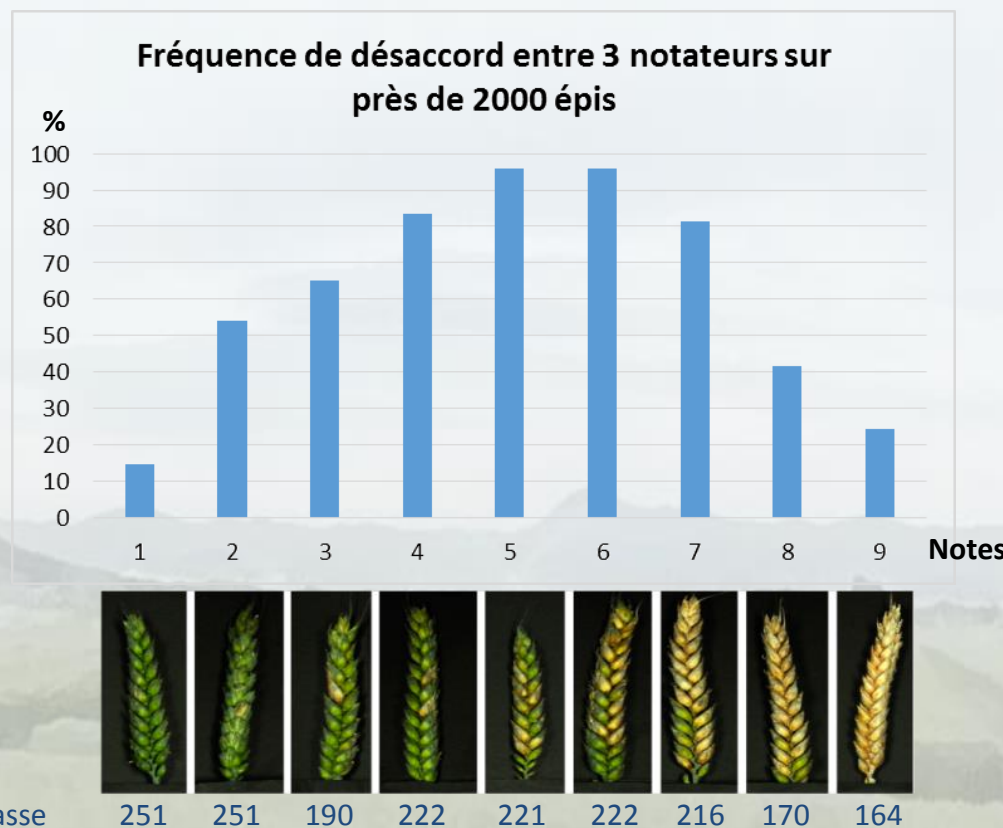


## - Le taux d'attaque:

$\frac{\Sigma \text{ épis avec note de 2 à 9}}{\text{nombre d'épis notés}}$



# Introduction : problématique « fusariose de l'épi »

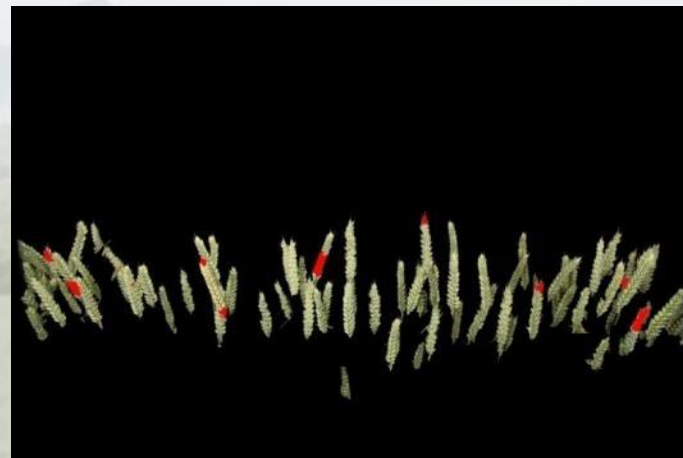


Méthodologies incompatibles

- avec le phénotypage moyen/haut débit
- avec la précision exigée pour du phénotypage fin (caractère subjectif lié au notateur)

# Objectif

Remplacer la notation visuelle expert par une analyse automatique d'images prises au champ



**I. Valider le principe sur des photographies prises en laboratoire**

**II. Adapter le principe à des photographies prises au champ**



## I. Valider le principe sur des photographies prises en laboratoire

1. Isoler l'épi qui est l'organe d'intérêt
2. Choisir le matériel d'acquisition (vidéo, image RVB, image IR)
3. Valider la fiabilité des notations sur photographies par rapport aux observations *in situ*
4. Développer un outil d'analyse d'image



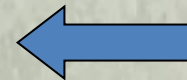
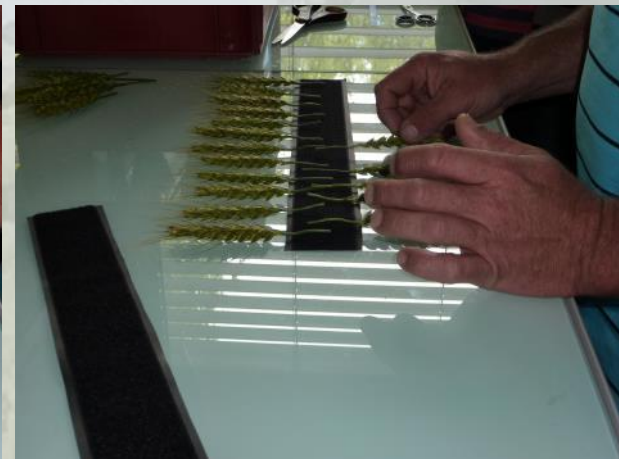
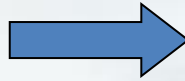
Statif de prise de vue RVB

# 1. Isoler l'épi qui est l'organe d'intérêt (segmentation physique mais destructrice)

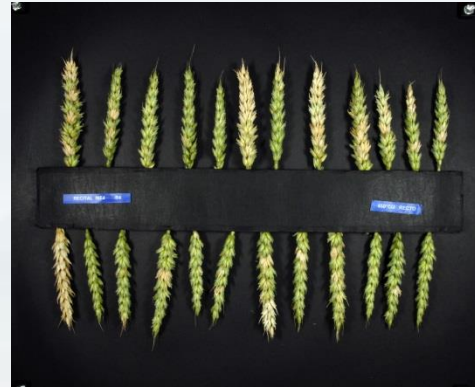




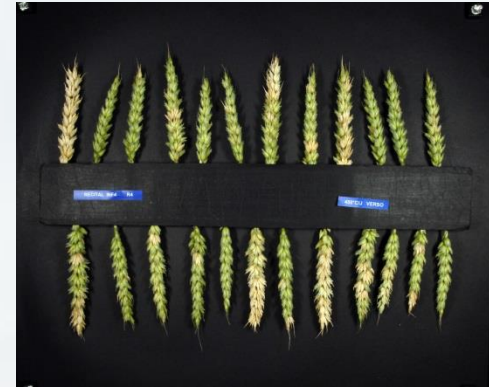
# 1. Isoler l'épi qui est l'organe d'intérêt (segmentation physique mais destructrice)



## 2. Choisir le matériel d'acquisition (vidéo, image RVB, image IR)



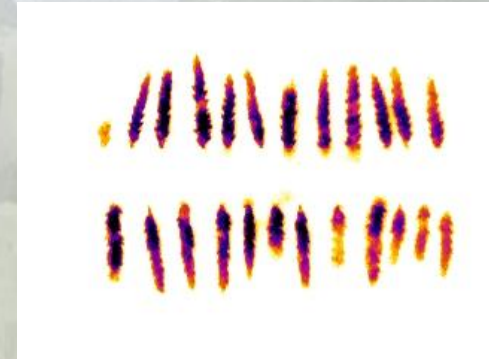
recto



verso



recto

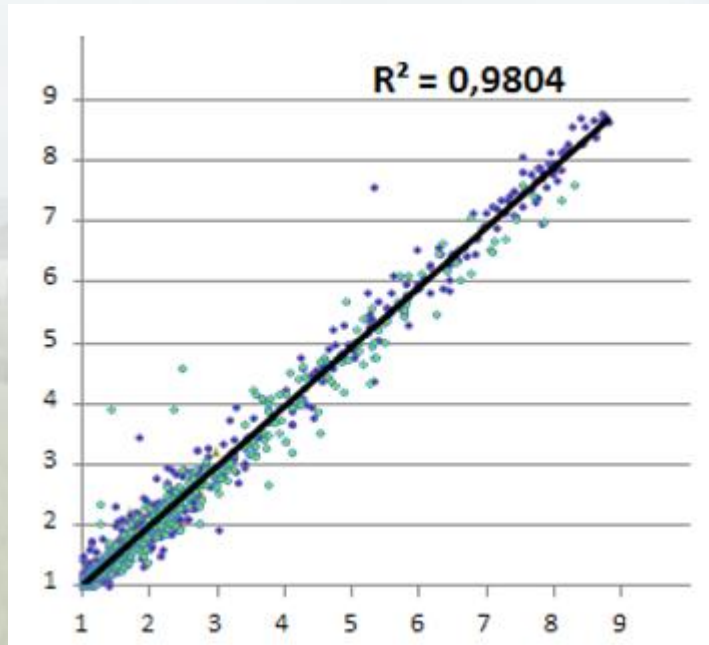


verso

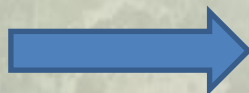
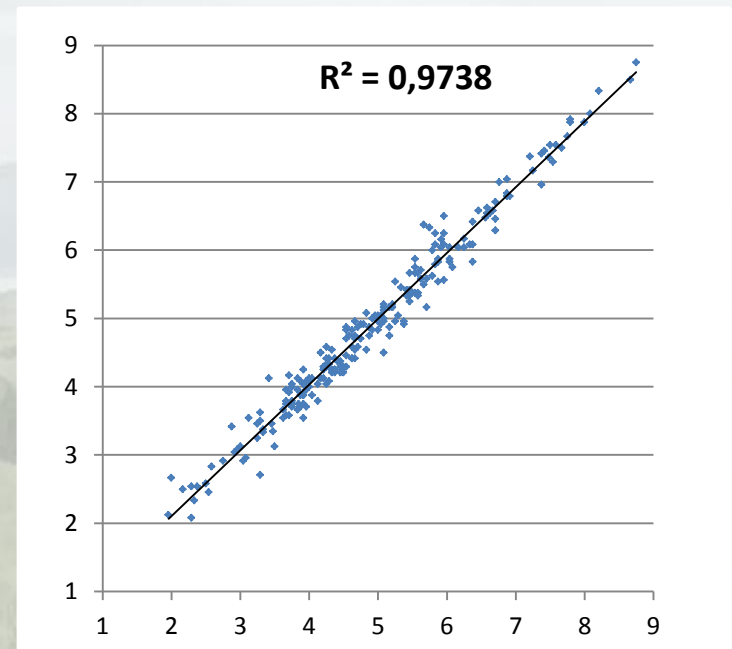
### 3. Valider la fiabilité des notations sur photographies par rapport aux observations *in situ*

Pour avoir une information fidèle sur un organe 3D, faut-il photographier recto et verso ?

Validation du protocole sur 1100 échantillons de Blé sur 3 années d'expérimentation



Validation du protocole sur 224 échantillons de Triticale sur 3 années d'expérimentation



une seule photo par échantillon suffit.



### 3. Valider la fiabilité des notations sur photographies par rapport aux observations *in situ*

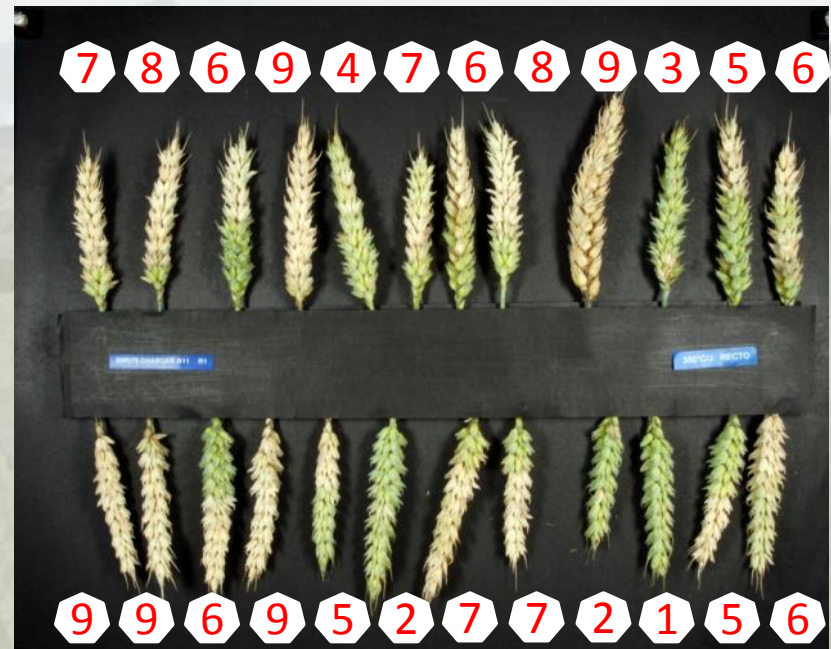
Pour avoir une information fidèle au comportement de la parcelle ( $\approx 200$  épis), combien d'épis devons nous prélever ?

Nous avons comparés les notes d'experts effectuées sur la parcelle (de 50 à 100 épis) avec les notes d'experts réalisées sur photographies (24 épis), les observations portent sur les mêmes parcelles mais pas sur les mêmes épis.

Notation *in situ*

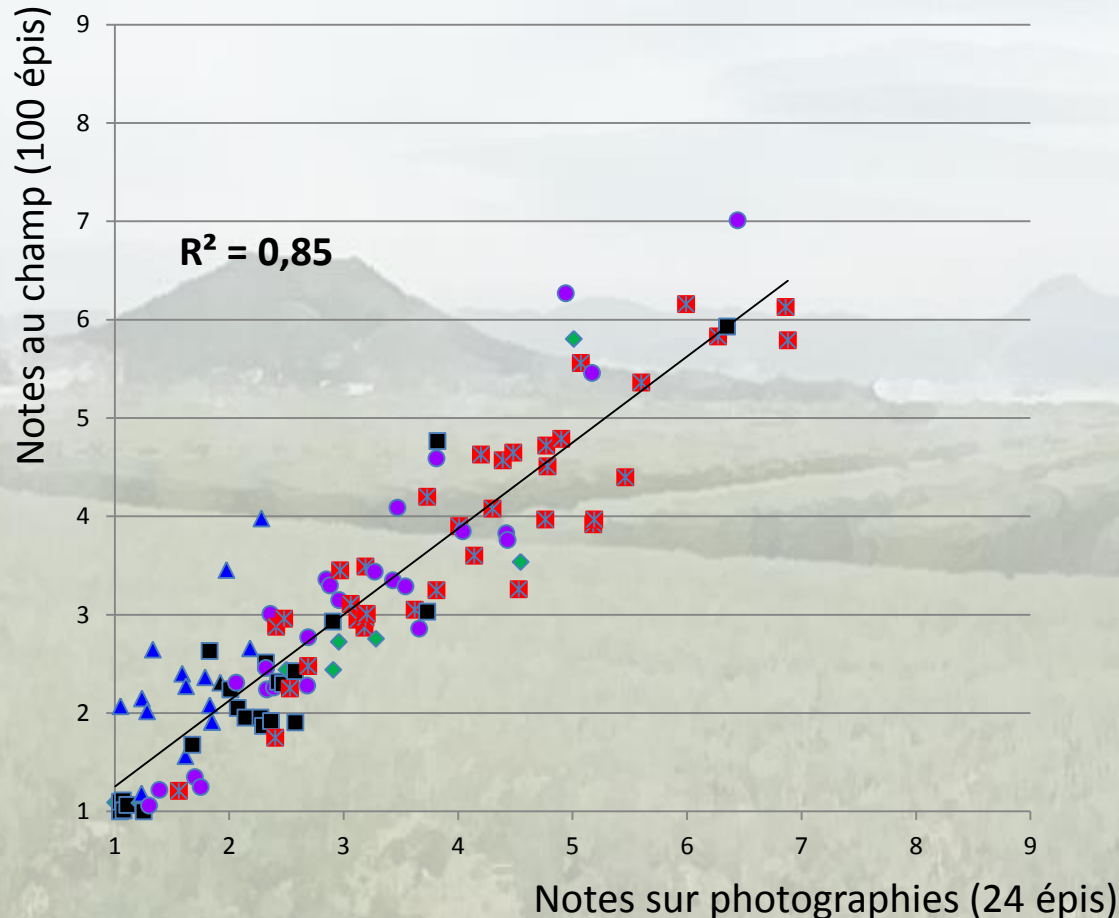


Notation sur photographies prises en labo



### 3. Valider la fiabilité des notations sur photographies par rapport aux observations *in situ*

Pour avoir une information fidèle au comportement de la parcelle ( $\approx 200$  épis), combien d'épis devons nous prélever ?



#### Validation du protocole sur Blé sur 5 années d'expérimentation

La notation sur photographies de 24 épis prélevés au champ est représentative des observations que nous pouvons faire sur une même parcelle d'expérimentation, bien que ces dernières soient issues de groupes indépendants.

## 4. Développer un outil d'analyse d'images

### a) Validation du principe

Les premières analyses ont été réalisées à l'aide des logiciels Photoshop® (création de filtres) et ImageJ (calcul des surfaces)

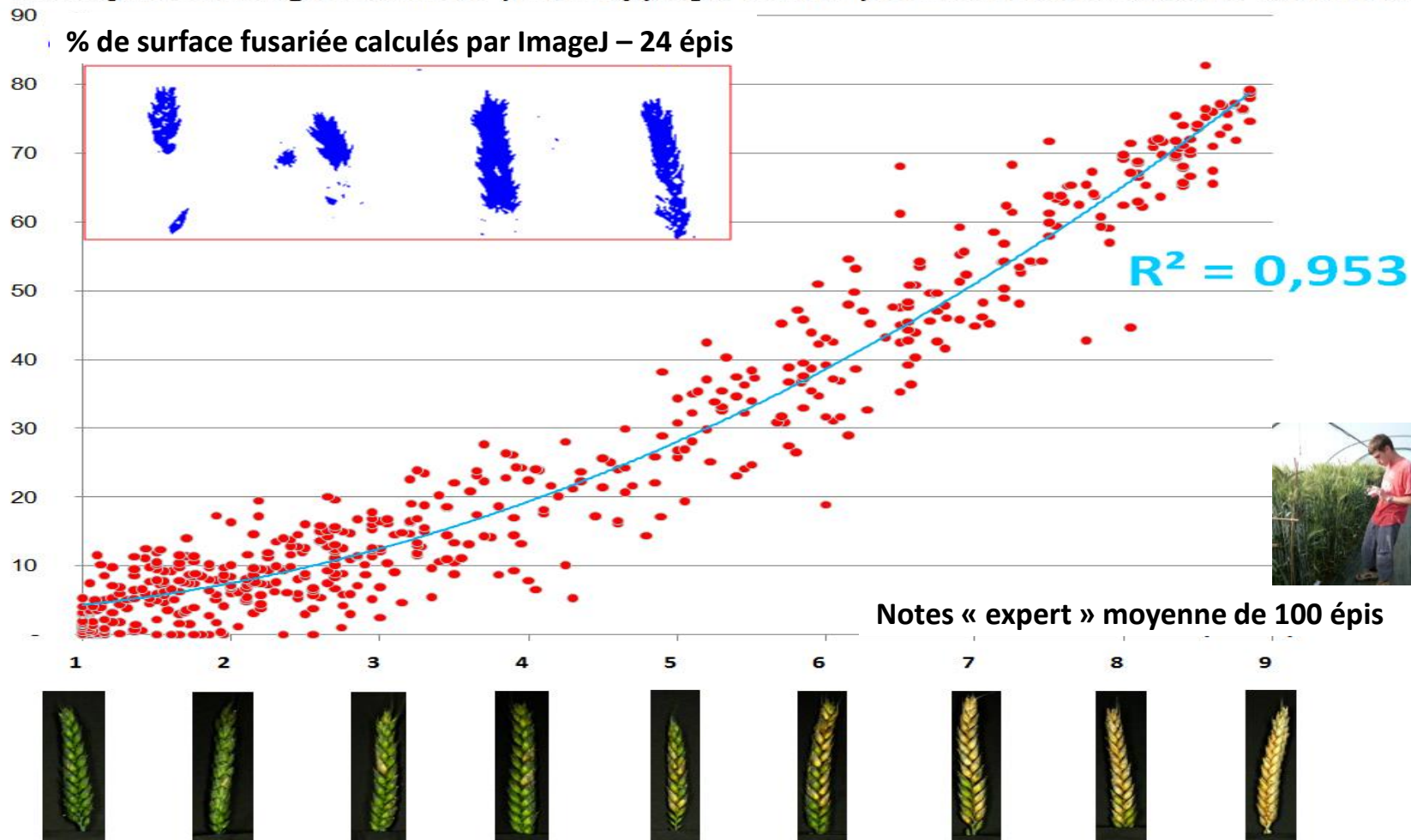




# 4. Développer un outil d'analyse d'images

## a) Validation du principe

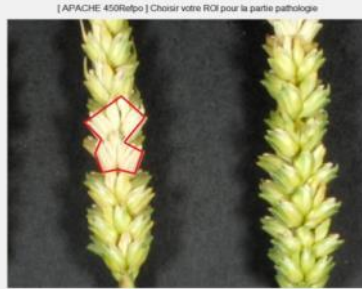
**L'analyse d'image** : outil de phénotypage du blé pour la résistance à la fusariose



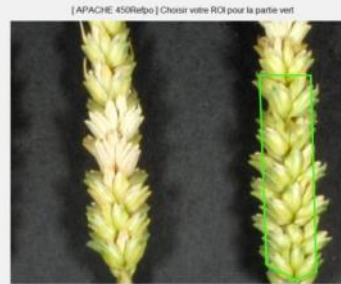
# 4. Développer un outil d'analyse d'images

## b) Développement d'un outil *fusanote* sous MATLAB®

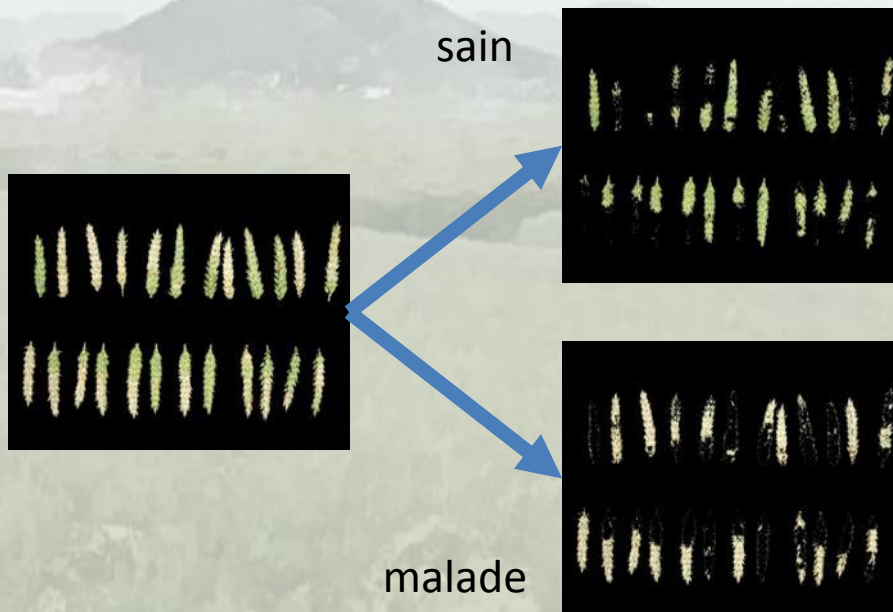
Sélectionner une zone malade :



Sélectionner une zone saine :



Sélectionner le fond :



**Fusariose Check**

Choisir votre méthode

☒ Classification Supervisée

☐ Seuillage Automatique

Choisir votre série de image

**Resultat**

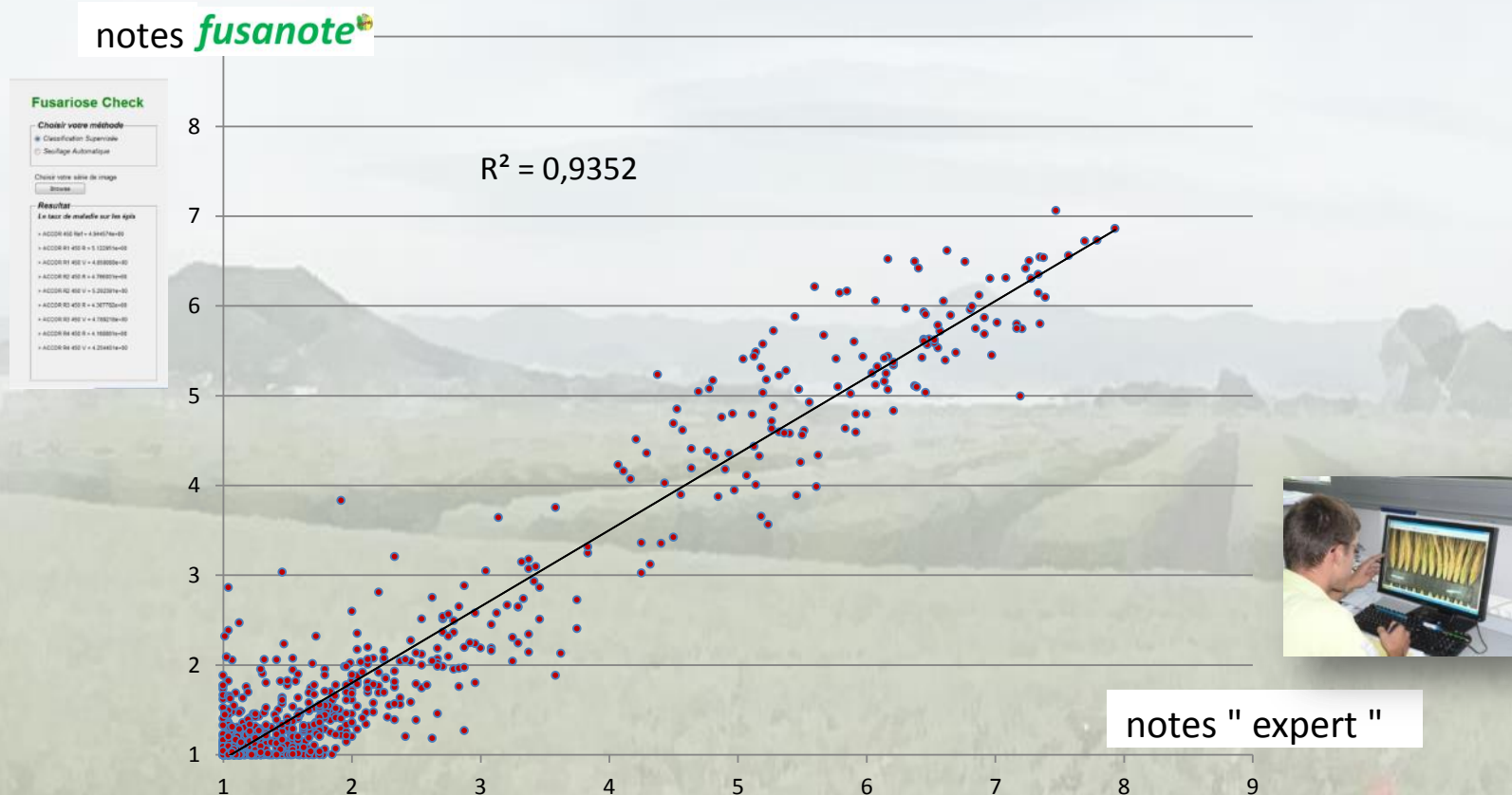
**Le taux de maladie sur les épis**

- > ACCOR 450 Ref = 4.944574e+00
- > ACCOR R1 450 R = 5.122951e+00
- > ACCOR R1 450 V = 4.859068e+00
- > ACCOR R2 450 R = 4.766001e+00
- > ACCOR R2 450 V = 5.202391e+00
- > ACCOR R3 450 R = 4.367782e+00
- > ACCOR R3 450 V = 4.789218e+00
- > ACCOR R4 450 R = 4.168881e+00
- > ACCOR R4 450 V = 4.254401e+00

# 4. Développer un outil d'analyse d'images

## b) Développement d'un outil *fusanote* sous MATLAB®

Comparaisons notes « expert » / notes *fusanote* sur Triticale.




Notations de 768 photos RVB des 4 témoins sous statif en labo



## 4. Développer un outil d'analyse d'images

### b) Développement d'un outil *fusanote* sous MATLAB®

#### Avantage :

- En plus de fournir des résultats comparable à la notation visuelle il permet de créer une base de données (photographies) diversement et constamment exploitable.
- Validé dans le programme «  » WP2 sur 220 génotypes en 2013 à l'INRA de Clermont-Ferrand.

#### Inconvénients :

- Définition subjective des régions malades et des régions saines pour chaque génotype.
- Test destructif : prélèvement des épis au champ pour les photographier en laboratoire sous statif.
- Méthode développée spécifiquement pour le triticales qui présente peu de variabilité morphologique.
- Non adapté pour du phénotypage moyen-haut débit.

 **Développer un outil de diagnostic « plein champ »**

## II. Adapter le principe à des photographies prises au champ en développant des algorithmes spécifiques.



Pascal Walser, Daniel Jolivot 2009 Inra

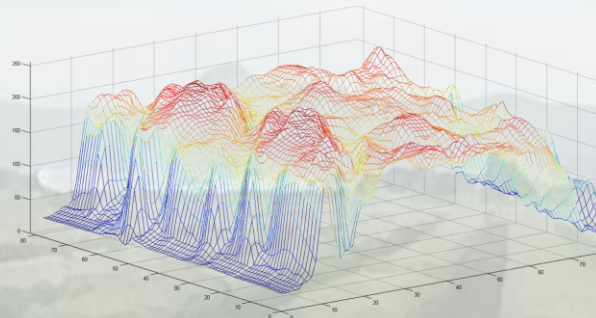
Guy Aurel Loko, stagiaire 2012 Inra/Véodis-3D

# Développer des algorithmes de segmentation

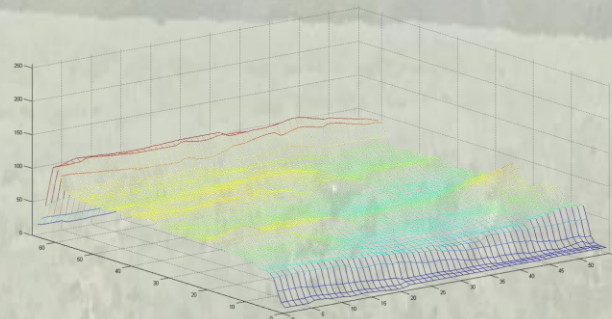
## a) Segmentation des épis : SegEpi ©

Texture  $\Leftrightarrow$  variation de l'intensité de la couleur

→ Conversion de l'image en niveaux de gris



Intensité au  
niveau  
d'un épi



Intensité au  
niveau  
d'une feuille

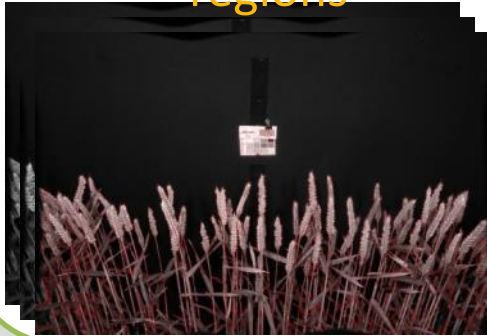


# Développer des algorithmes de segmentation

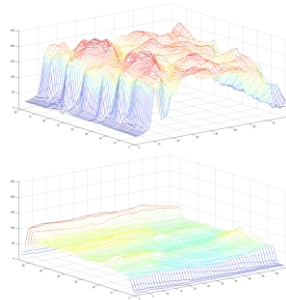
## a) Segmentation des épis : SegEpi ©

### APPRENTISSAGE

Découpage de l'image en régions



Description de la texture de chaque région



⇔ épi

⇔ bruit

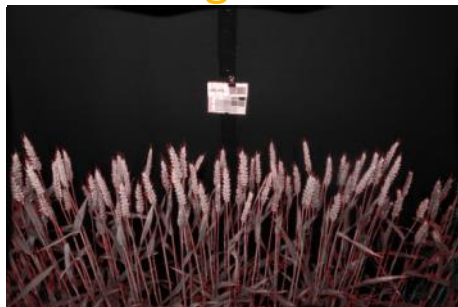
Construction du modèle



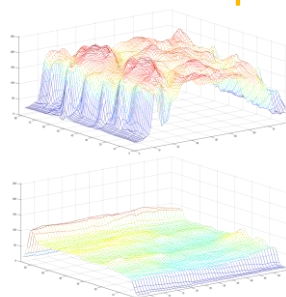
Modèle

### TEST

Découpage de l'image en régions



Description de la texture de chaque région



⇔ épi

⇔ bruit

Classification



Modèle



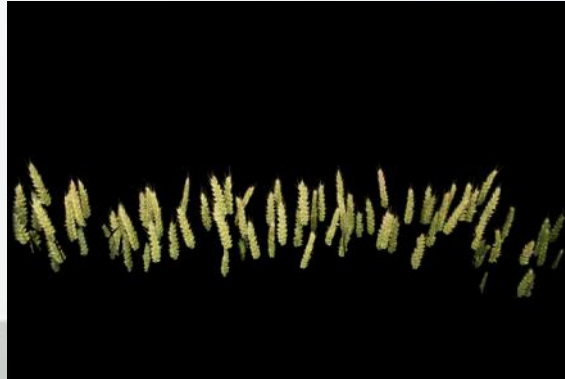
# Développer des algorithmes de segmentation

## a) Segmentation des épis : SegEpi ©

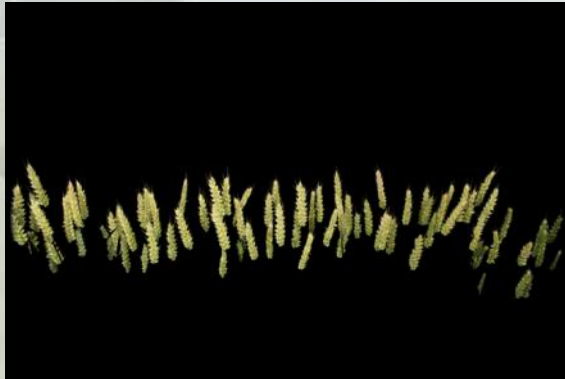
Epis non barbus

Epis barbus

Résultat  
algorithmique



Segmentation  
manuelle



Pourcentages moyens de bonne segmentation :

- épis non barbus : **96% ± 2%**
- épis barbus : **91% ± 2%**

# Développer des algorithmes de segmentation

## a) Segmentation des épis : SegEpi ©



Calcul de caractères phénotypiques

- Fusariose de l'épi
- Nombre de grains par épis ?
- Fertilité ?



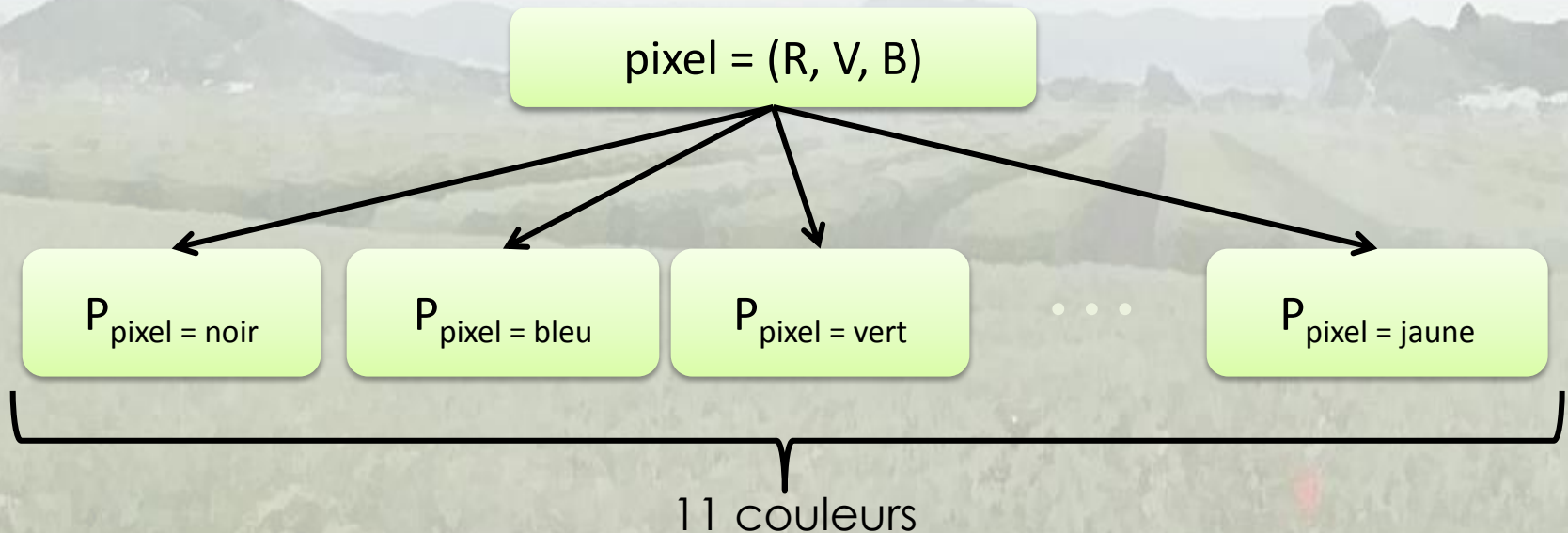
# Développer des algorithmes de segmentation

## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

### Approche couleur

**But** : définir la couleur d'un pixel (R, V, B) parmi une palette de 11 couleurs  
(noir, bleu, marron, gris, vert, orange, rose, violet, rouge, blanc et jaune)

**Principe** :

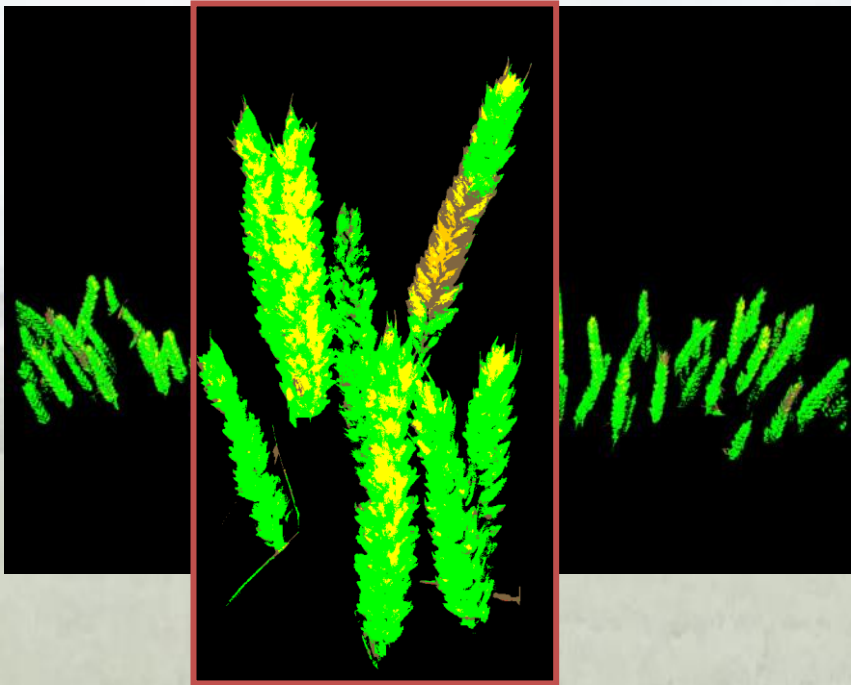


# Développer des algorithmes de segmentation

## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

### Approche couleur

Résultat avec 11 couleurs



Segmentation manuelle



- > Couleur de la fusariose : marron

# Développer des algorithmes de segmentation

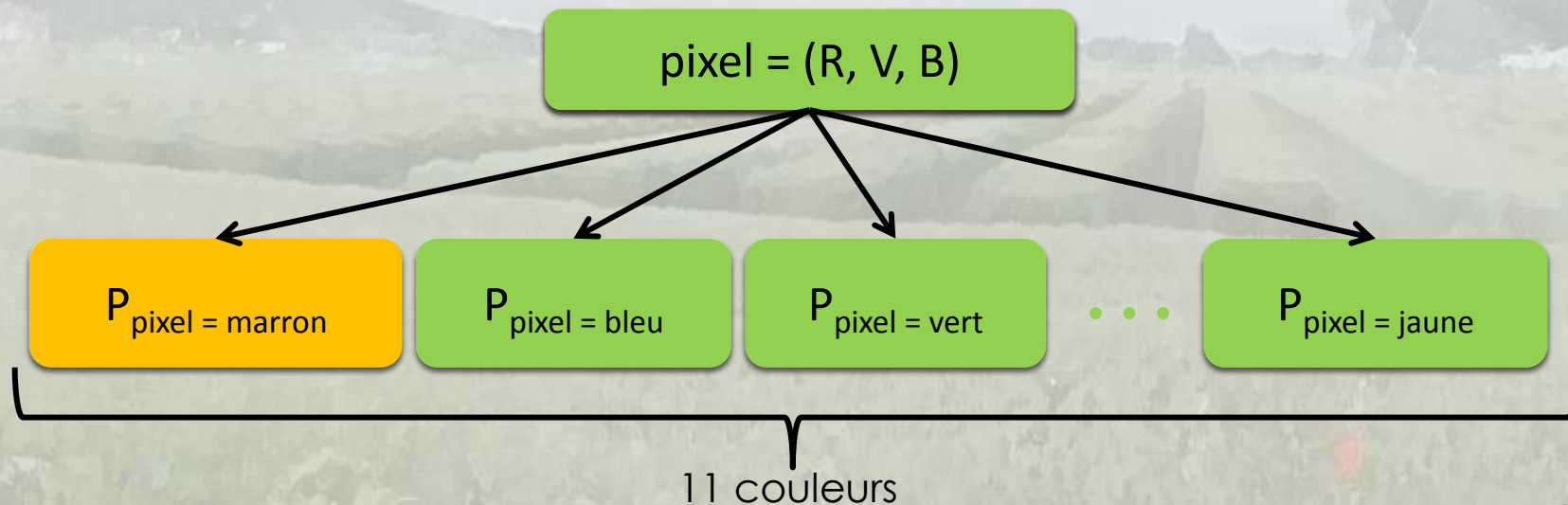
## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

Adaptation à notre problème : 1<sup>ère</sup> version

### 11 couleurs :

- Couleur marron  $\Leftrightarrow$  zones malades
- Autres couleurs  $\Leftrightarrow$  zones saines

### Principe :



26



# Développer des algorithmes de segmentation

## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

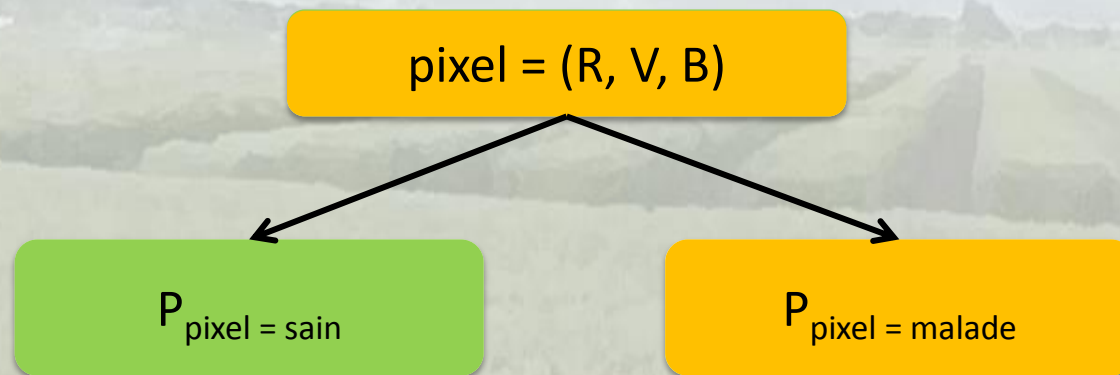
Adaptation à notre problème : 2<sup>ème</sup> version

### 2 couleurs :

- Couleur 1  $\Leftrightarrow$  zones saines
- Couleur 2  $\Leftrightarrow$  zones malades

photographies prises à 450°C/j

### Principe :



# Développer des algorithmes de segmentation

## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

Combinaison des 2 versions



Version 1



Version 2



Version 3



Segmentation  
manuelle

# Développer des algorithmes de segmentation

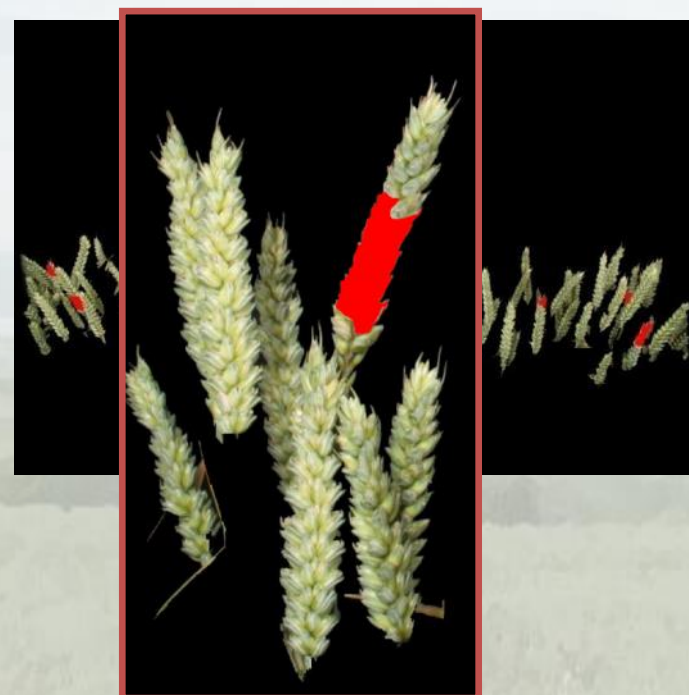
## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

### Validation méthodologique

Résultat algorithmique



Segmentation manuelle  
faite par un expert



- Application à toutes les photographies
- Pourcentage moyen de bonne détection : **80% ± 10%**

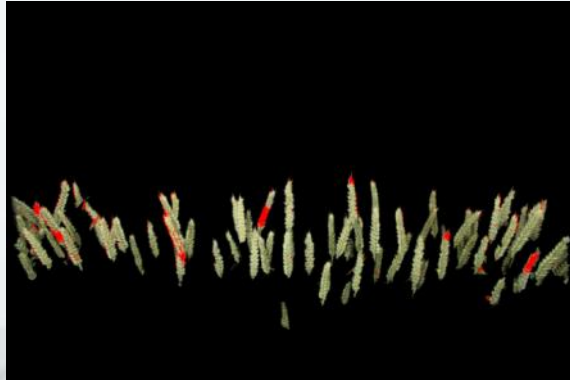


# Développer des algorithmes de segmentation

## b) Segmentation des symptômes de fusariose : SegFusa ©

Notation de l'image

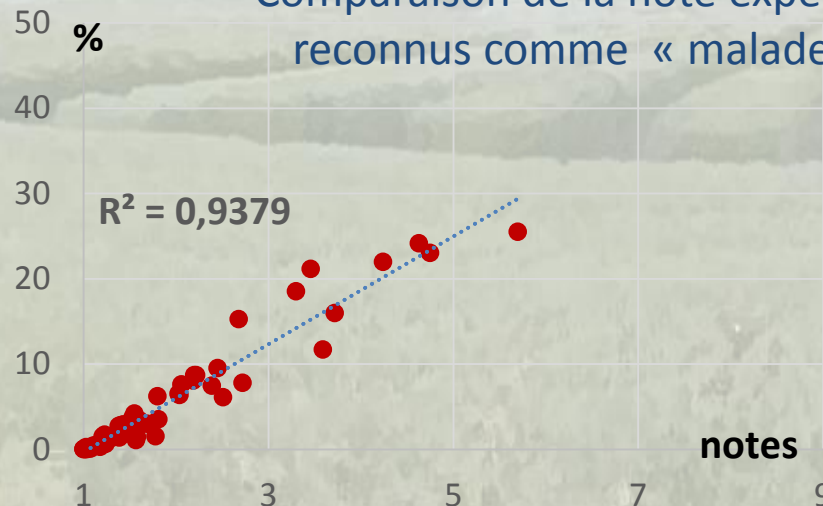
Résultat algorithmique



Sévérité =

% pixel rouge - % pixel rouge calculé  
sur le témoin sain

Comparaison de la note expert et du taux de pixels  
reconnus comme « malades » par l'algorithme



(30 génotypes de blé à  
350°J et 450°J après  
infection)

# Conclusions

## 1) Acquis

- L'intérêt de l'imagerie pour le phénotypage des céréales vis-à-vis de leur comportement à la fusariose de l'épi est démontré
- La possibilité de réaliser un phénotypage fin par analyse d'images prises *in campo* est effective pour les résistances de type I (résistance à la pénétration du champignon) et de type II (résistance à la propagation du pathogène au sein de l'épi). Le paramètre phénotypique qu'est la sévérité (pourcentage d'épillets atteints) ainsi évalué est plus rapide, plus précis, reproductible et notateur indépendant.

## 2) Perspectives

- Il reste à développer un algorithme pour le calcul de l'incidence (nombre d'épis atteint/nombre total d'épis)
- Il reste à développer un vecteur pour rendre cette approche compatible avec le phénotypage à moyen/haut débit
- Il reste à envisager l'utilisation de l'imagerie multispectrale pour apporter de la précision sur la corrélation entre symptômes et teneur en mycotoxines, résistances type III (résistance à l'infection des grains) et type V (résistance à l'accumulation de mycotoxines dans les grains).

Merci de votre attention

**Fusatech**

**Collaboration INRA - Véodis 3D**  
**Limagrain - Secobra - AgriObtentions**

