

Imagerie sur épi et fusarioses

Van Muoi BUI, Carole FRINDEL, David ROUSSEAU, Université Lyon 1

Frédéric SERRE, Denis TOURVIEILLE, INRA Clermont-Ferrand

david.rousseau@univ-lyon1.fr



La fusariose de l'épi

Une maladie fongique nocive qui affecte toutes les céréales (ex. blé, orge, triticales, avoine, seigle, etc.).

Un défi constant à la production céréalière car sa présence entraîne des **pertes de rendement** par échaudage pouvant aller de 30 à 70 % et est une cause trop fréquente de déclassement lors de la commercialisation du fait de la présence de **mycotoxines**, au-dessus des seuils critiques réglementaires, qui affecte la qualité et rend le grain impropre à la consommation (humaine ou animale).



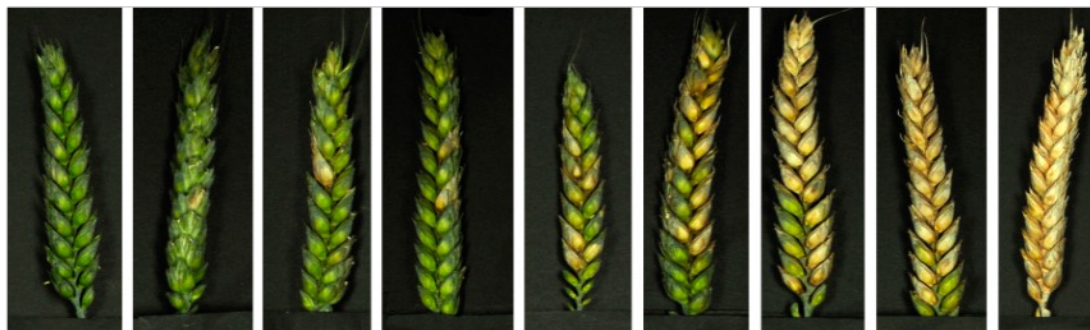
La lutte intègre la création de variétés de céréales présentant un haut niveau de résistance au champ ce qui nécessite de maîtriser le phénotypage des génotypes pour leur comportement vis-à-vis de cette maladie.

Plusieurs dispositifs d'infection artificielle ont été proposés afin d'analyser une grande quantité de génotypes élevés en plein champ. Cependant, la notation (quantification des symptômes) reste un point délicat.



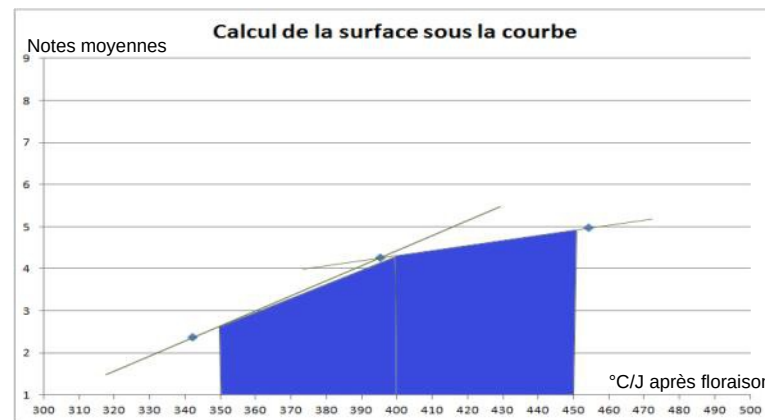
Notation des symptômes

A – Note de 1 à 9 de l'importance des symptômes sur l'épi ([ITCF](#))



B – Notation d'une parcelle de céréale AUDPC ([INRA Rennes](#))

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



Méthodologies incompatibles avec le phénotypage moyen/haut débit



Apport de l'imagerie

- Objectiver les notations
- Automatiser le suivi
- Augmenter le débit
- Echelle et environnement d'observation :

Épis isolés en laboratoire pour étalonnage

Épis sur plantes dans tunnel irrigué pour moyen-débit



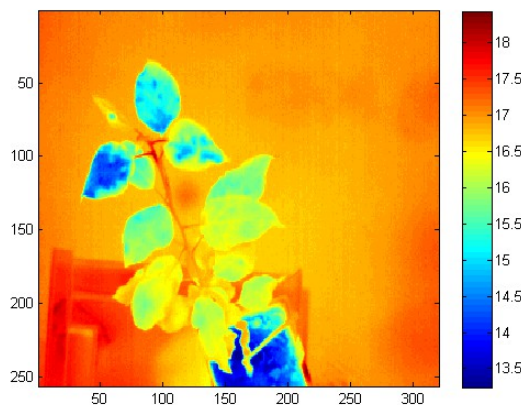
Épis sur plantes au champ pour haut-débit

- Choix des canaux : RVB-IR

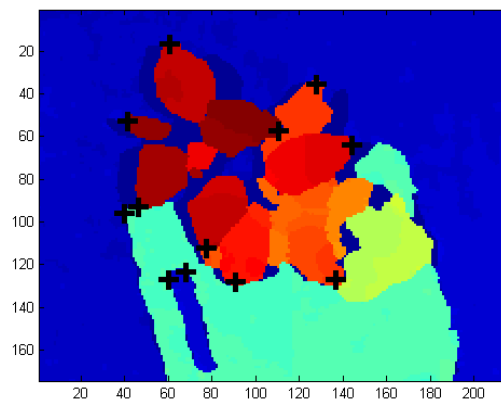


Transposer approche ci-dessous au blé

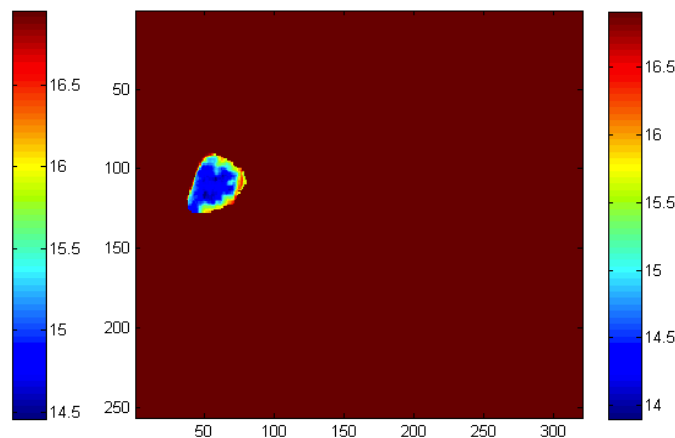
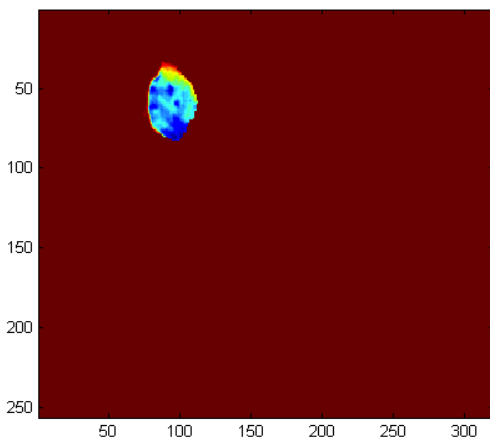
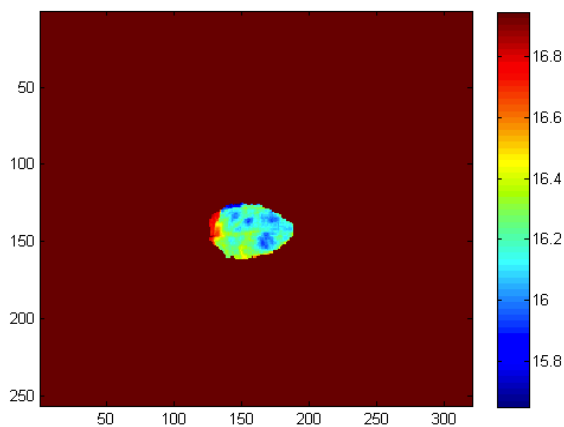
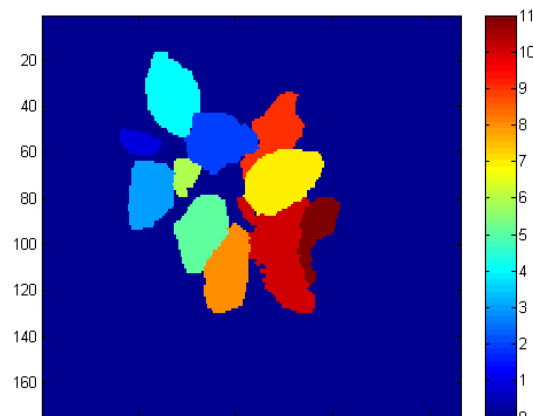
Thermography



Depth



Segmentation



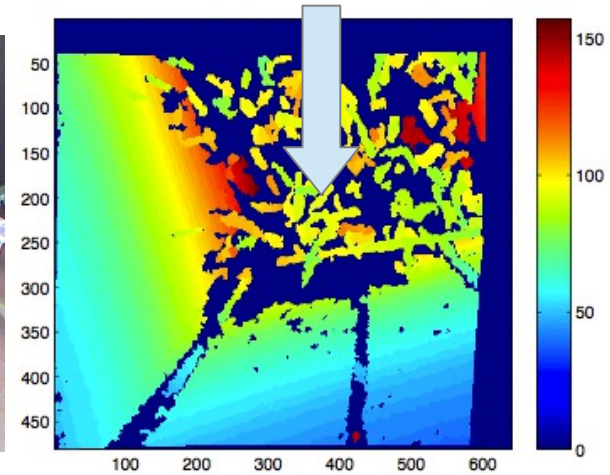
Non invasive diagnostic on numerically detached leaves

Y. Chéné, D. Rousseau, P. Lucidarme, J. Bertheloot, V. Caffier, P. Morel, É. Belin, F. Chapeau-Blondeau. "On the use of depth camera for 3D phenotyping of entire plants " *Computers and Electronics in Agriculture* 82 : 122–127 (2012).

Imagerie RGB-IR-Depth



Segmentation de l'épis dans la profondeur



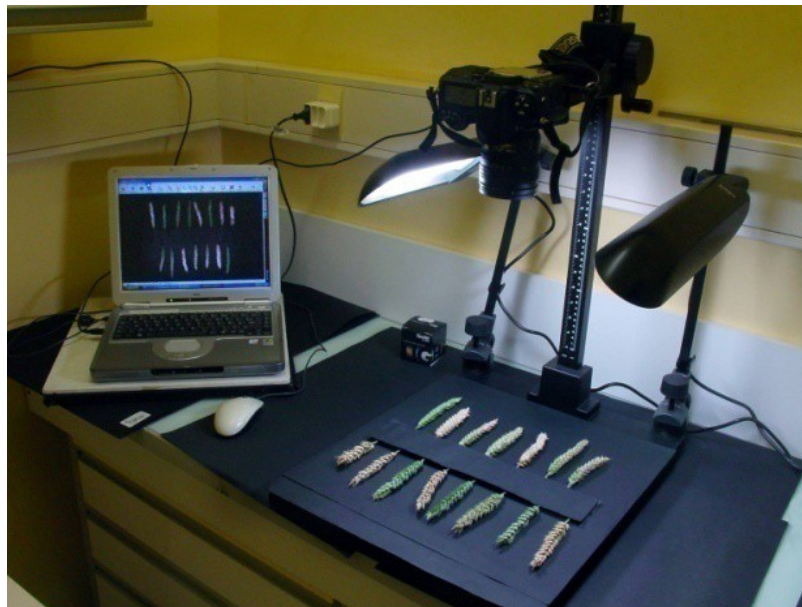
Quantification de la fusariose en RGB-IR



Analyse d'images RVB prises en laboratoire

Permet de « figer » un état
dans des conditions standards
de prises de vues.

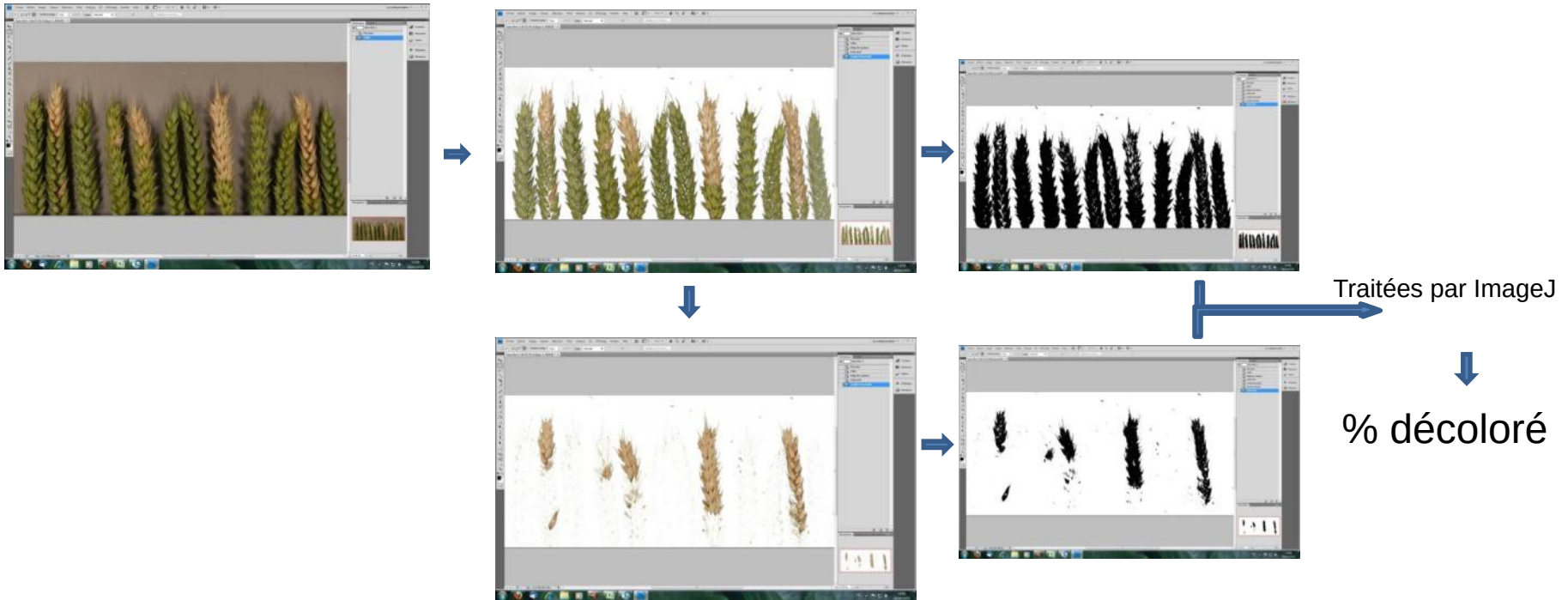
Utile pour étalonner les
méthodes automatiques
d'analyse d'image



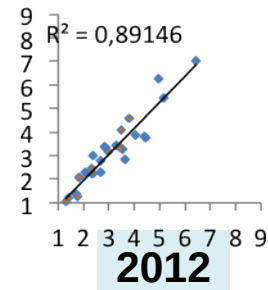
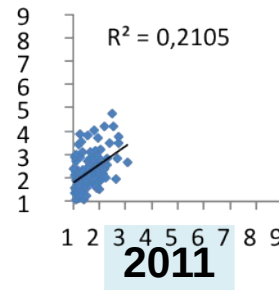
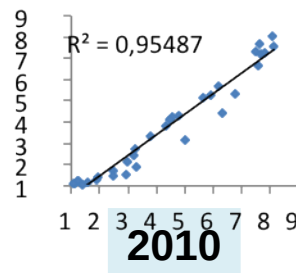
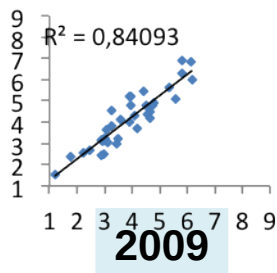
Constituer une vérité terrain numérique
Constituer des critères objectifs pour l'analyse
d'image



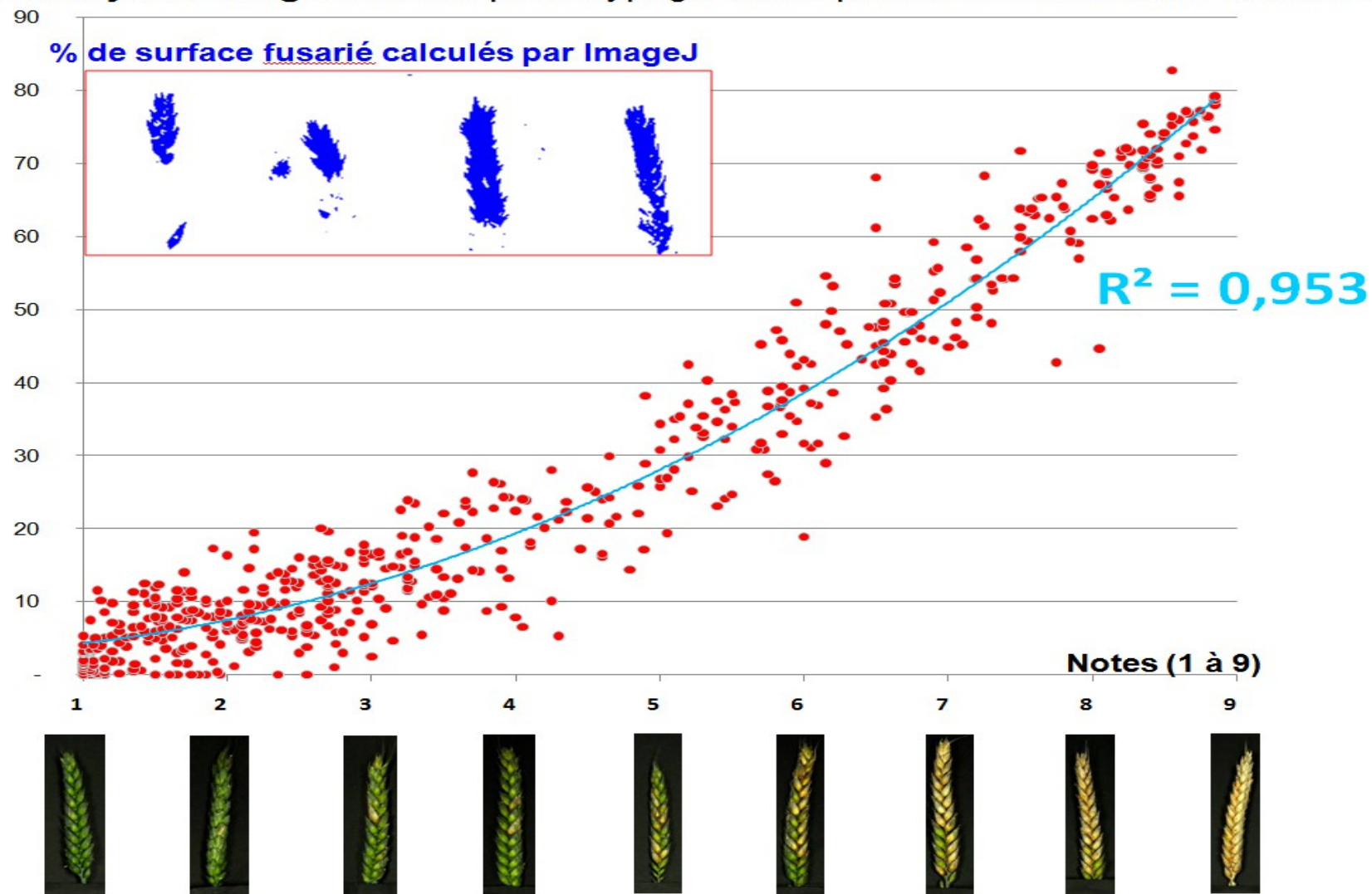
Vérité terrain numérique



Corrélations entre notes
réalisée sur la parcelle (> 100 épis) et établies sur photographie (24 épis)

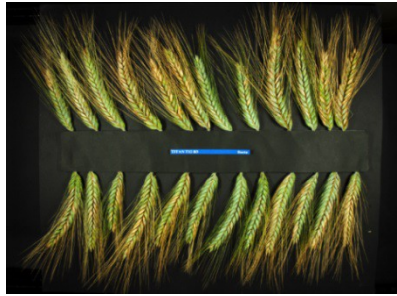


L'analyse d'image : outil de phénotypage du blé pour la résistance à la fusariose





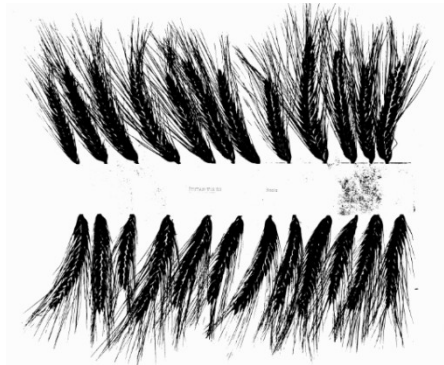
Objectivation des critères *Creatis*



Choisir 1 ' espace
colorimétrique



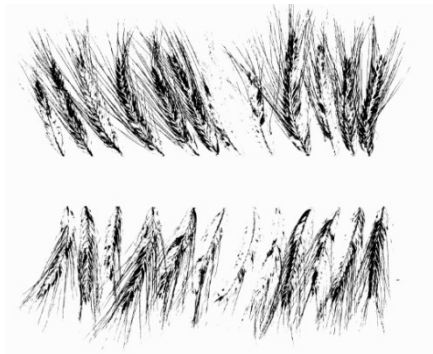
Binarisation



Masque épis (A)



Binarisation



Masque pathologie (B)

$$\% = \text{sum}(B) / \text{sum}(A)$$

Les espace couleurs

- RGB (caméra).
- MYCK (imprimant).
- YUV, YIQ, YCbCr (vidéo).

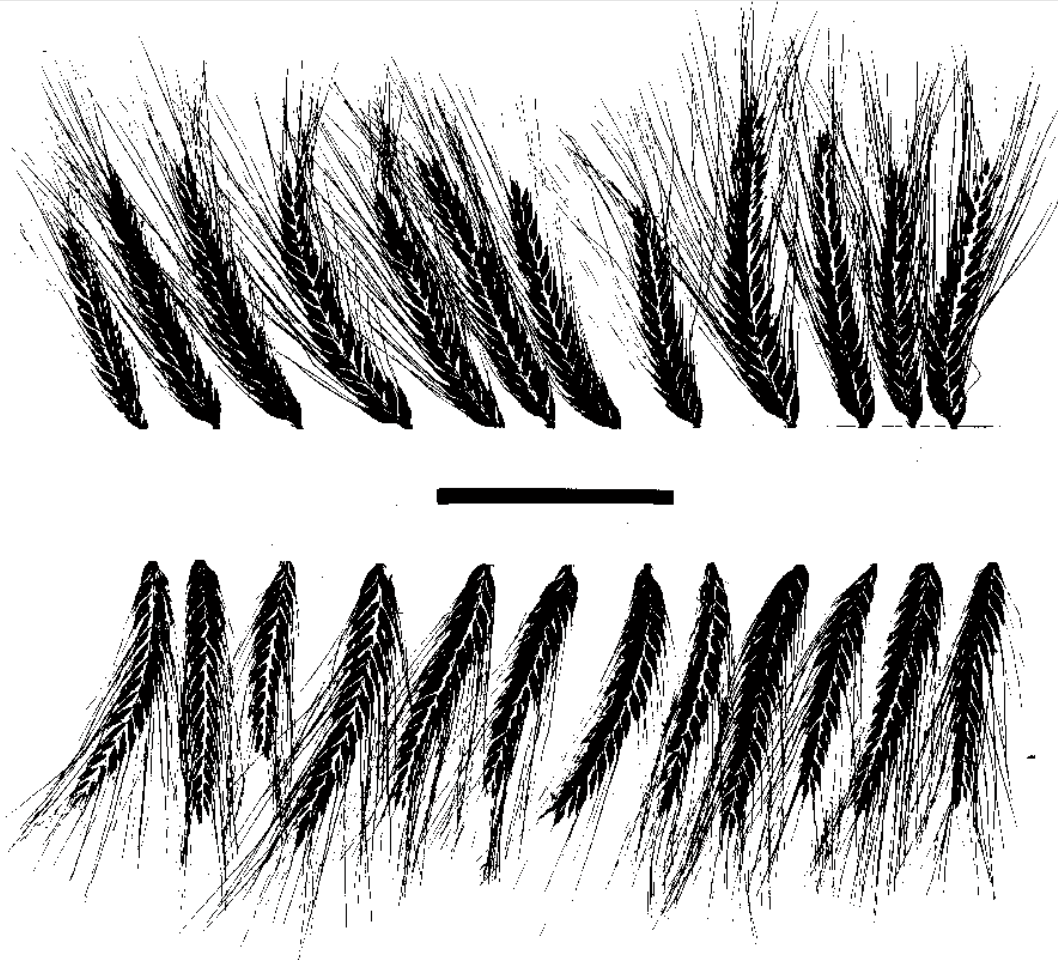
$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0,29900 & +0,58700 & +0,11400 \\ -0,14713 & -0,28886 & +0,43600 \\ +0,61500 & -0,51498 & -0,10001 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- Lab (l'œil humain).

RGB

RGB -> NG->seuillage (automatique selon Otsu)

Image agv



RGB

R -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

Image R



TITAN T12 B3

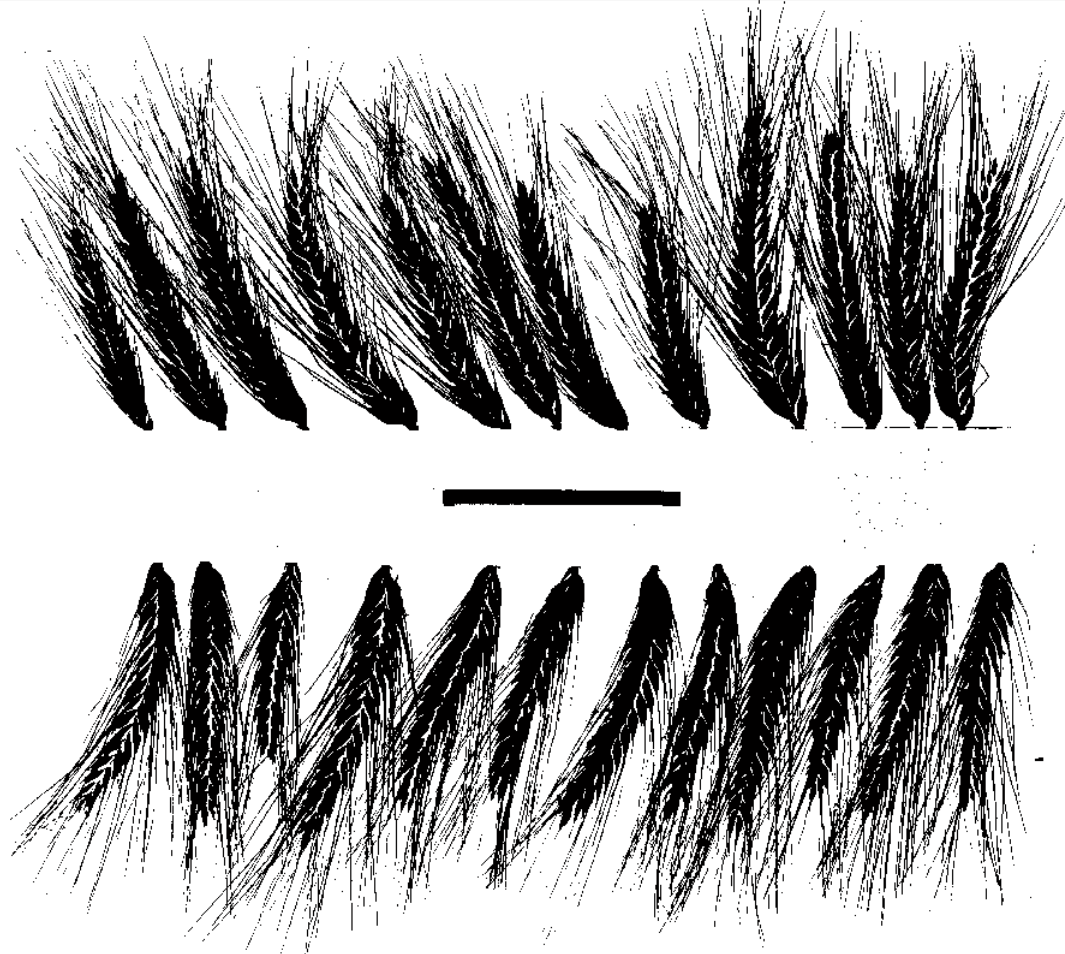
Reels



RGB

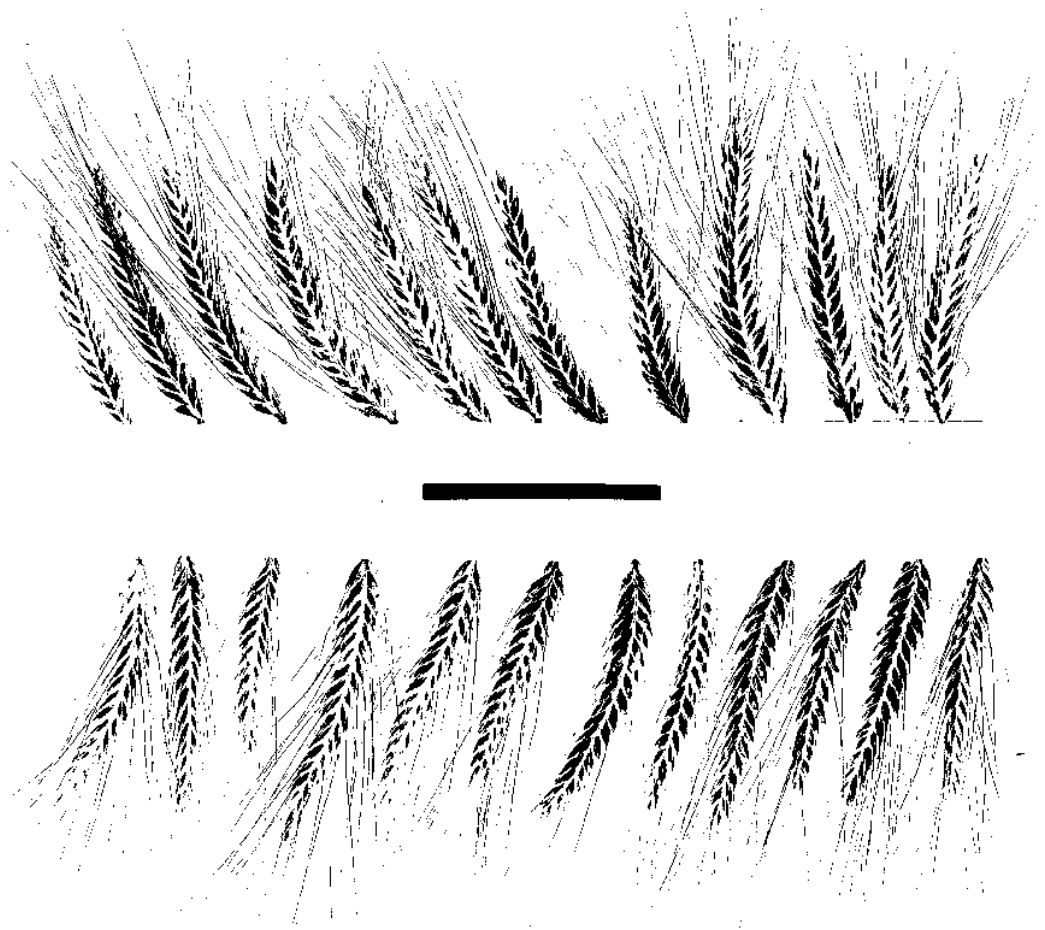
G -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

Image G



B -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

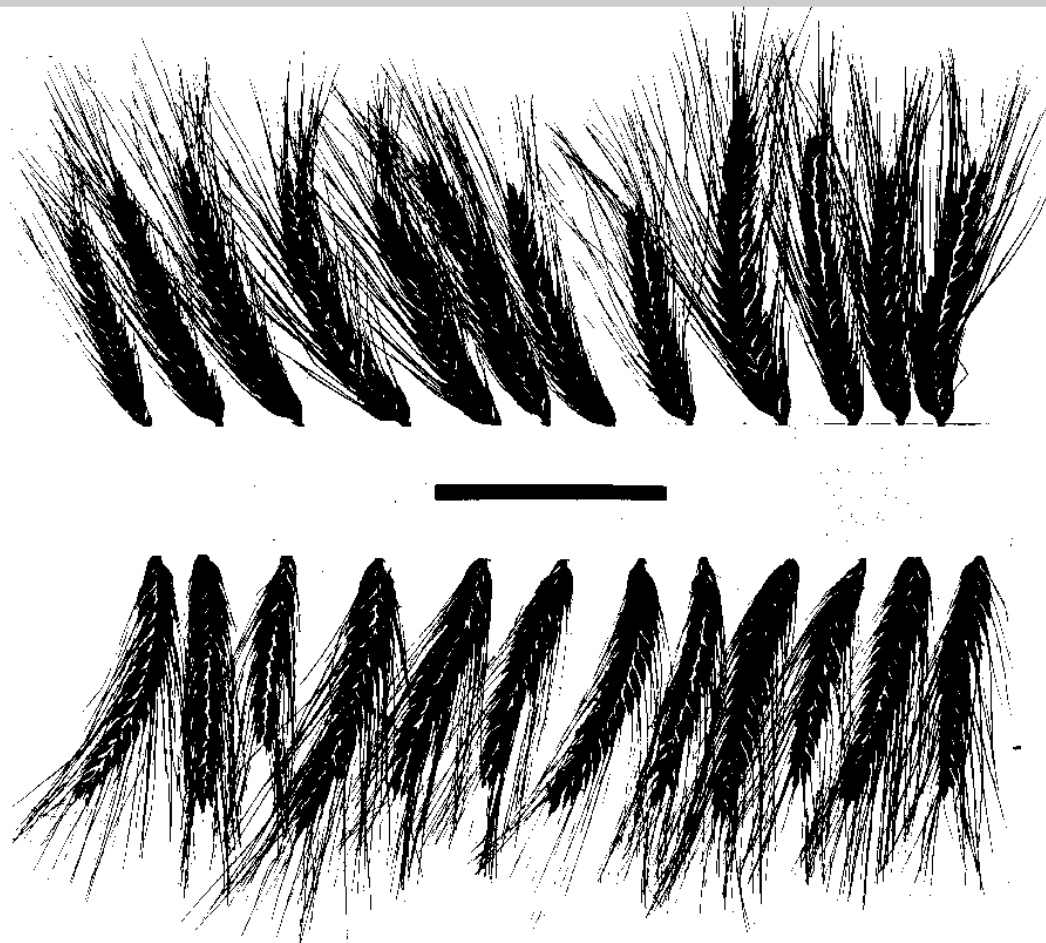
Image B



CMYK

K -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

Image K



CMYK

C -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

Image C

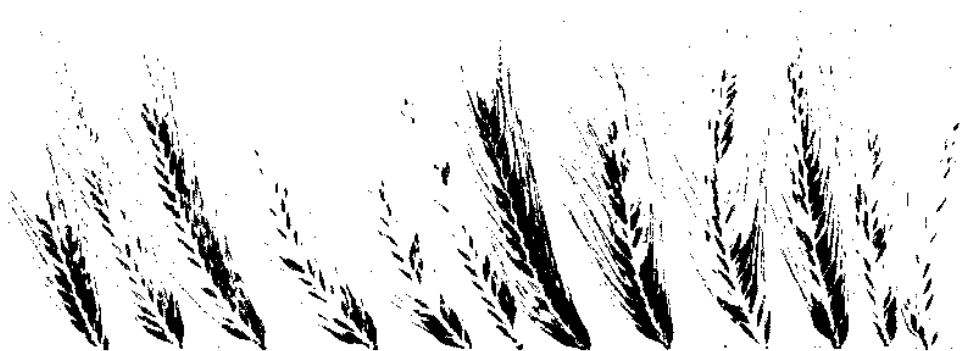


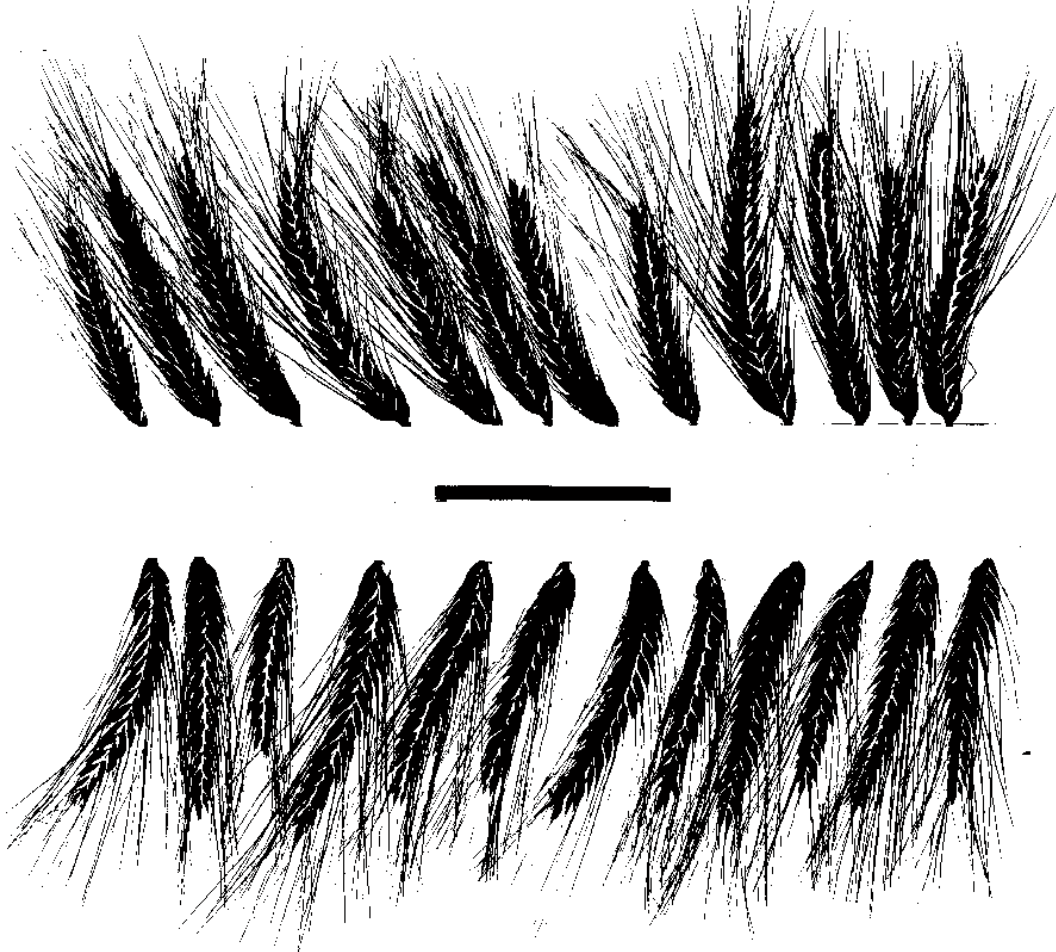
Image C



YUV, YIQ, YCbCr

Y -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

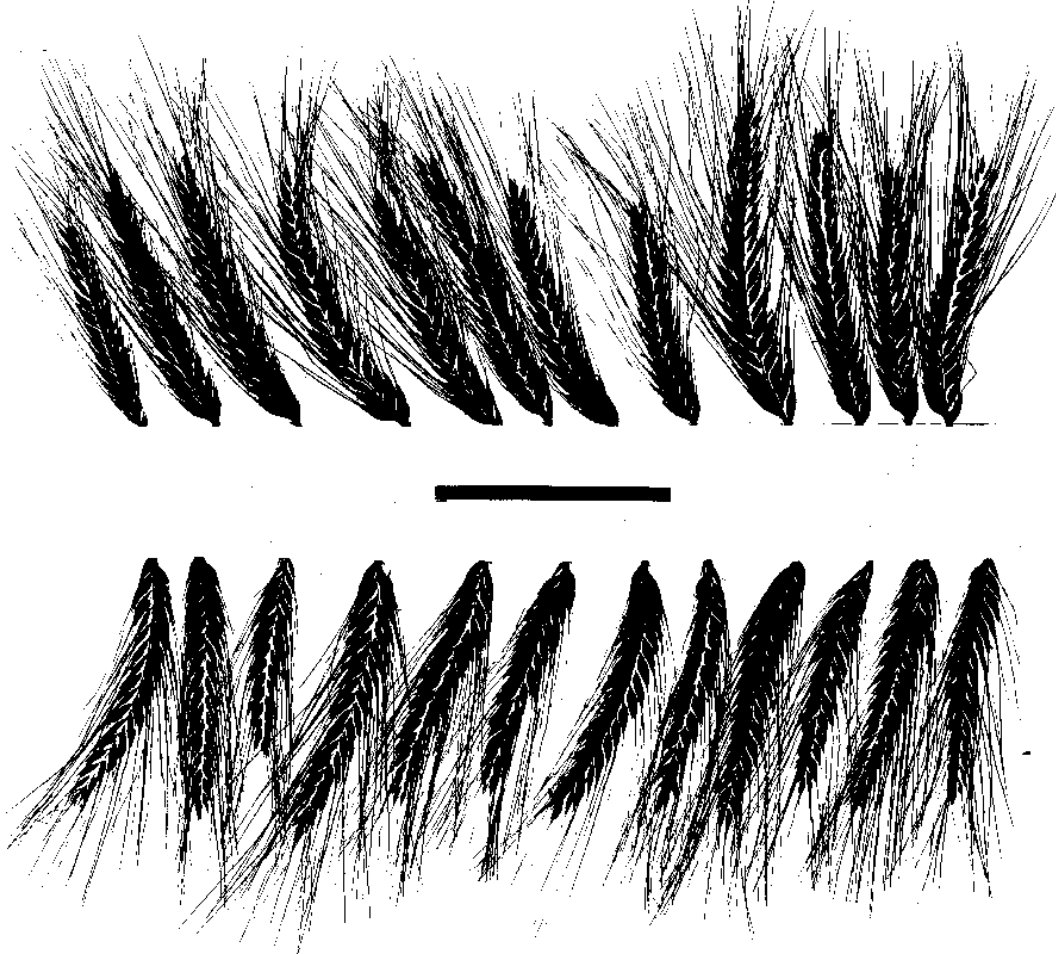
Image Y



YUV, YIQ, YCbCr

Y -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

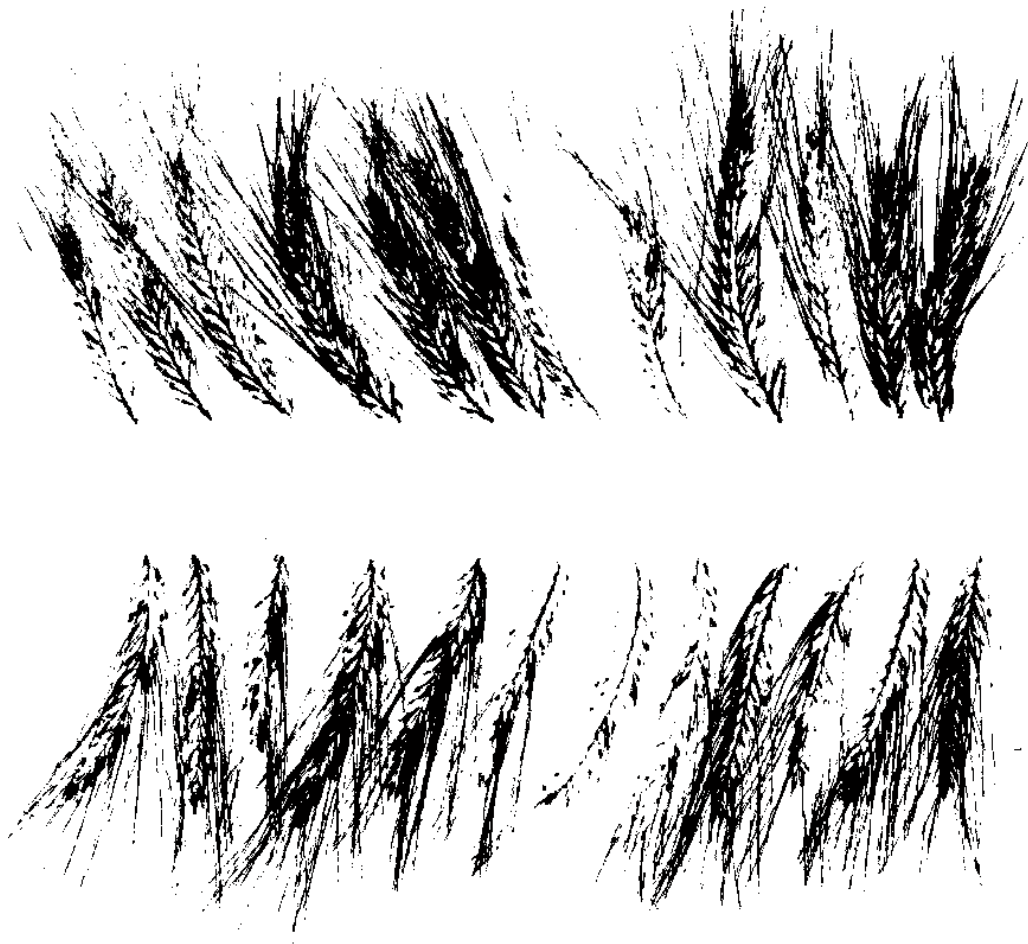
Image Y



YUV, YIQ, YCbCr

I -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

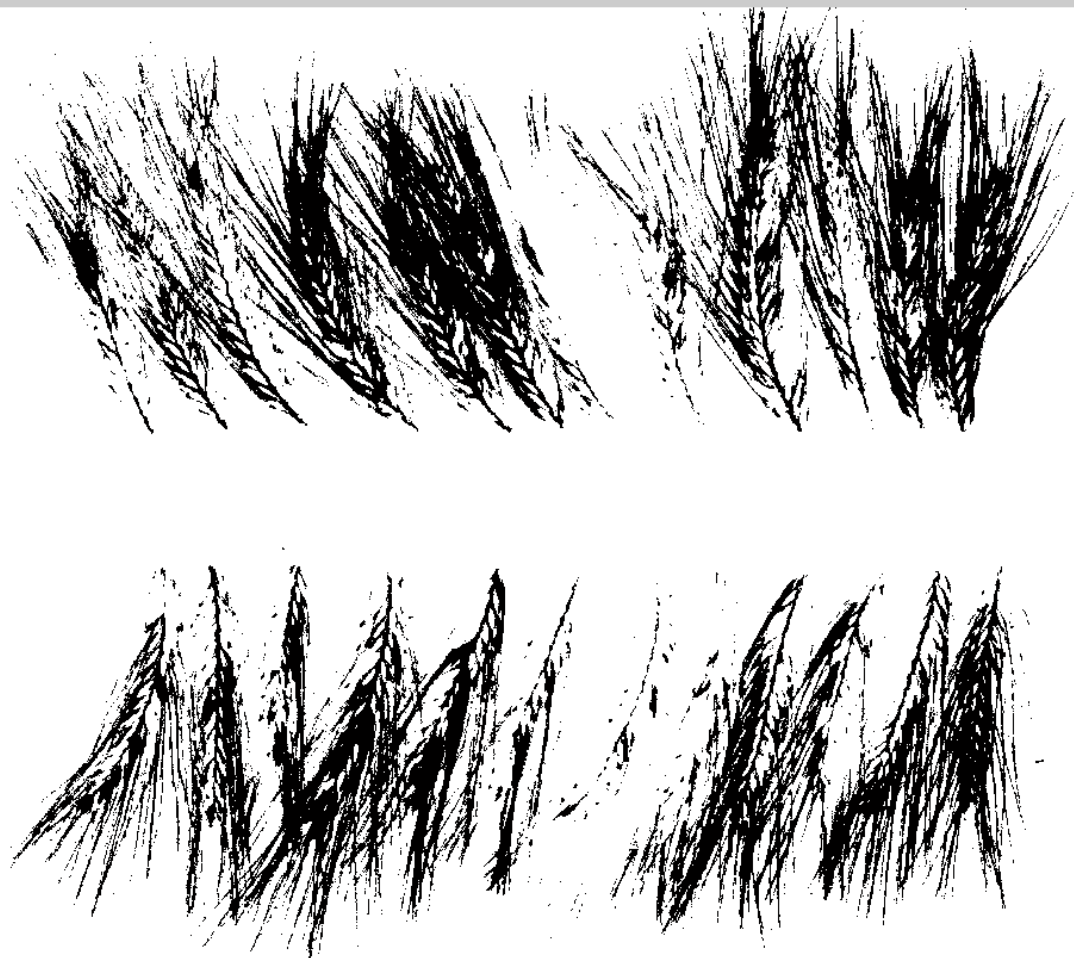
Image I



YUV, YIQ, YCbCr

Cr -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

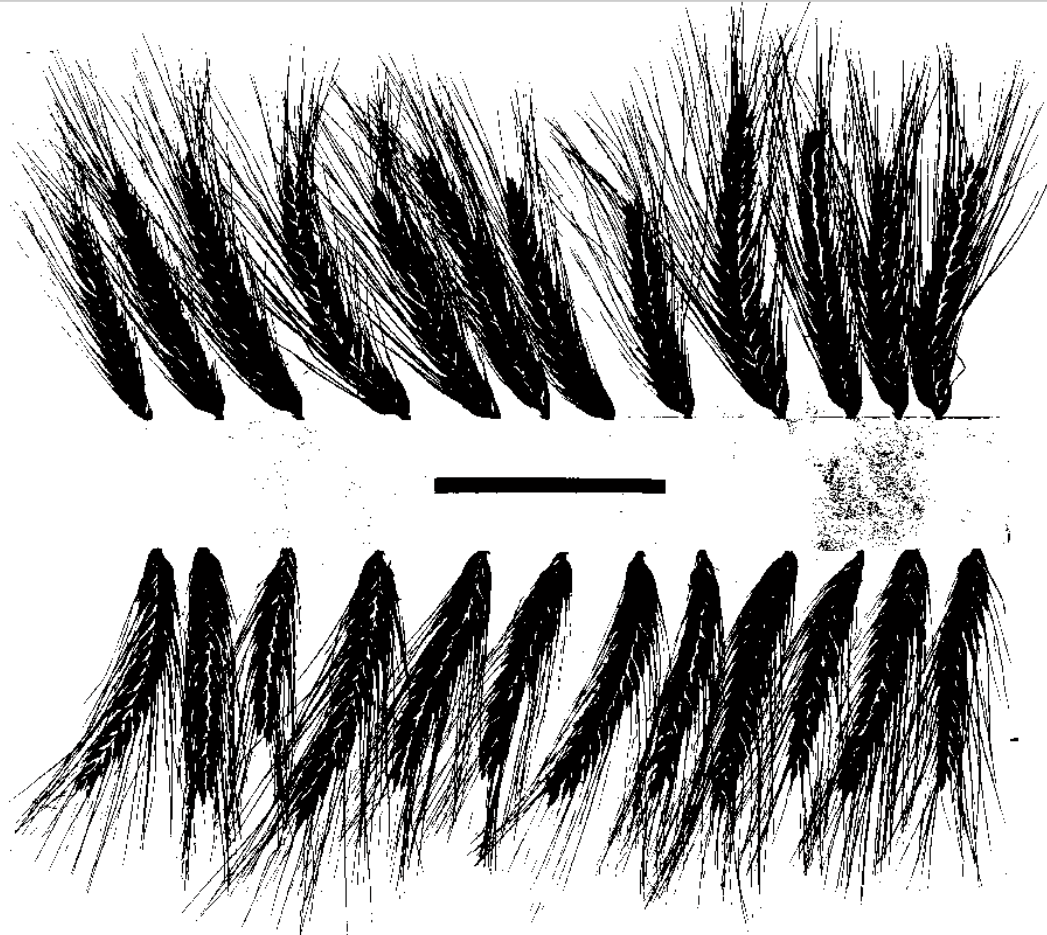
Image Cr



Lab

L -> NG -> seuillage (automatique selon Otsu)

Image L

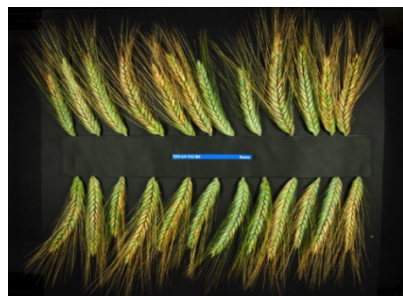




Synthèse rapide

- % erreur masque épis:
 - Image R (RGB) : 0.05%
 - Image K (CMYK) : 0.03%
 - Image Y (YUV, YIQ, YcbCr) : 0.12%
 - **Image L (Lab) : 0.065 %**
- % erreur masque pathologie
 - Image V (YUV) : 28 %
 - **Image I (YIQ) : 20%**
 - Image Cr (YcbCr) : 24 %

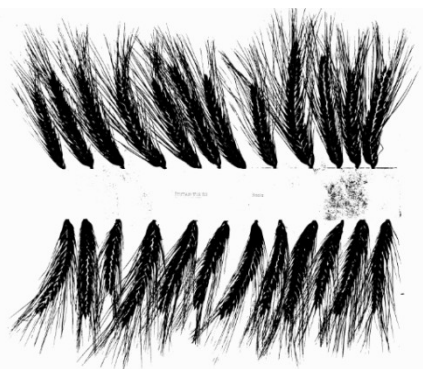
Autres approches possibles *Creatis*



ACP, clustering,
espace couleur
hybride, ...

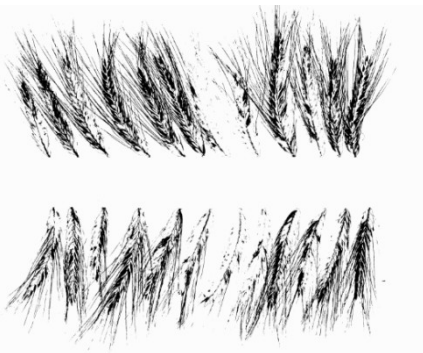


Binarisation



Masque épis (A)

Binarisation

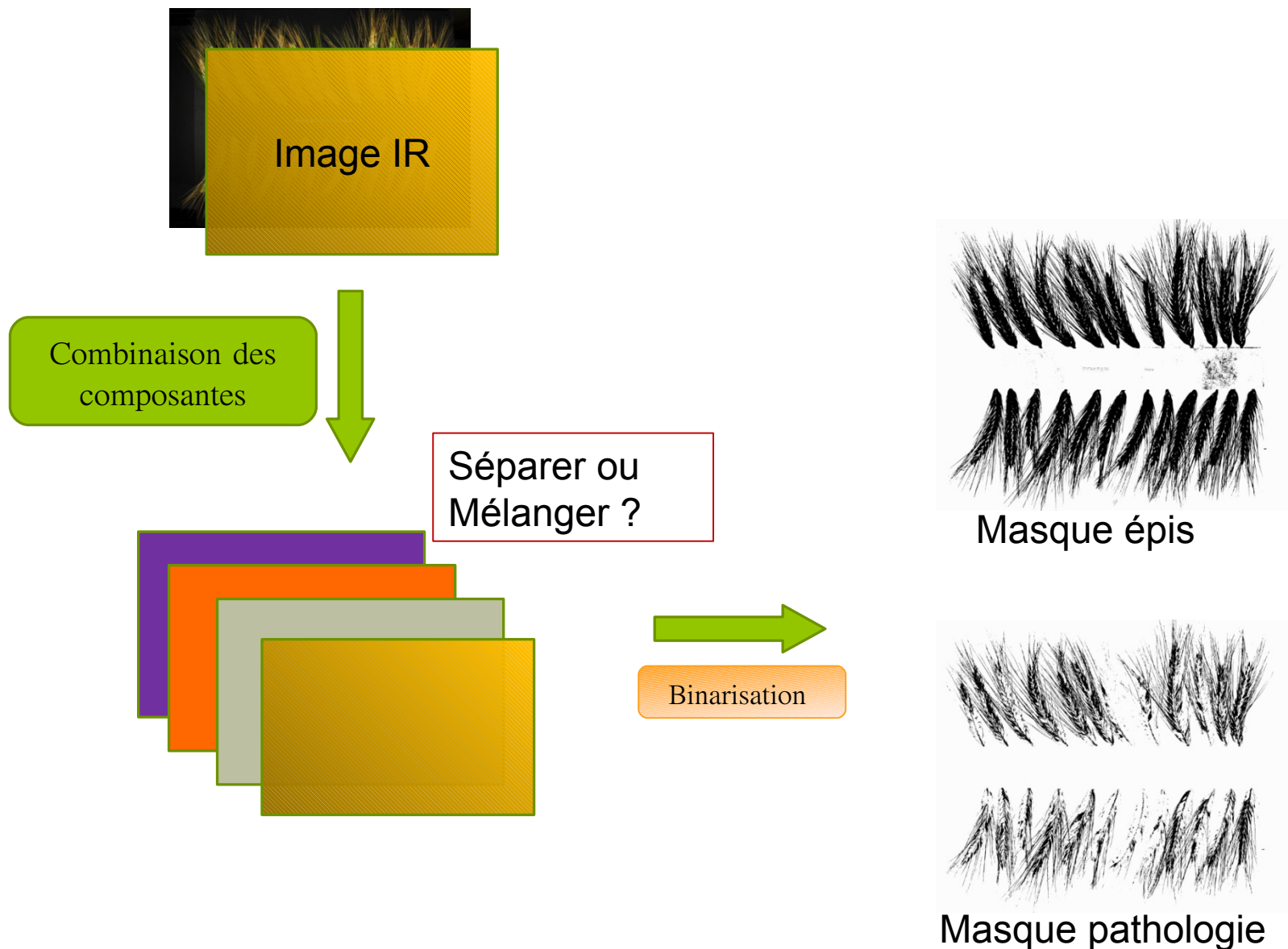


Masque pathologie (B)

$$\% = \text{sum}(B) / \text{sum}(A)$$

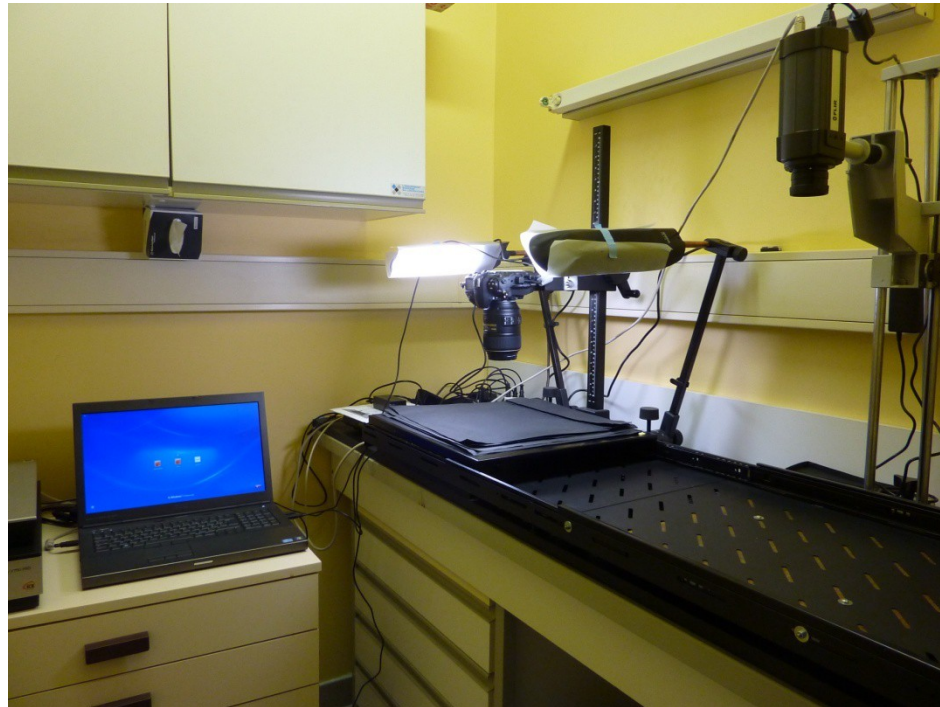


Ajout d'un nouveau canal *Creatis*





Analyse d'images Infra Rouge prises en laboratoire

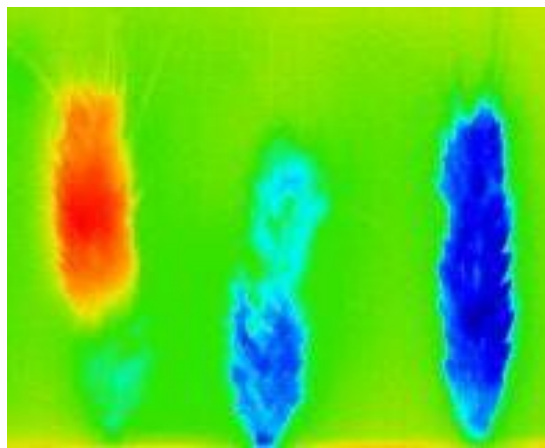




Analyses d'images thermiques **IR**

Première approche :

Essais avec une caméra thermique sur épis de blé.



Les tissus **sains** se distinguent aisément des tissus malades ou **desséchés**



Jusqu'à 3°C de différence

2012:

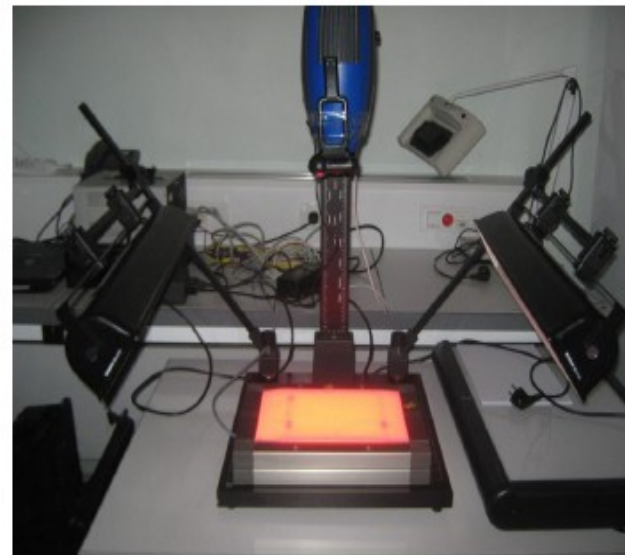
Prises de vues thermique **IR** systématique en parallèle avec la prise de vues en lumière visible **RVB** avec le D200 au statif.



Imagerie thermique le principe

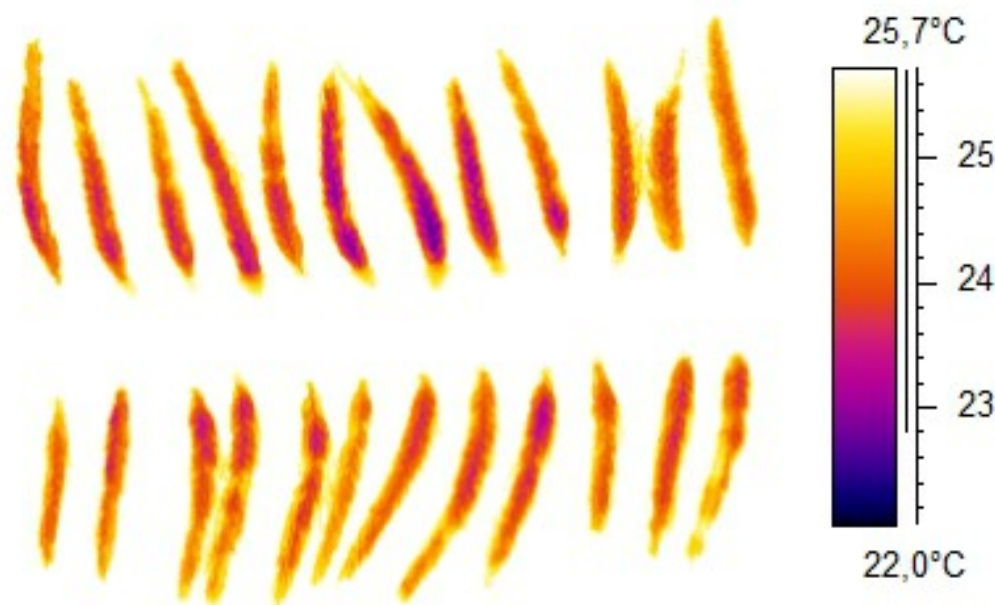
Thermographie

LOI	EXPRESSION	CONSTANTES
PLANCK (luminance spectrique)	$L_{\lambda}^{CN}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right)}$ (en $W.m^{-2}.sr^{-1}.m^{-1}$)	$C_1 = 2hc^2$ $= 1.1905.10^{-16} W.m^{-2}.sr^{-1}.m^4$ $C_2 = \frac{hc}{k} = 1.4385.10^{-2} K.m$
WIEN (coordonnées du maximum d'émission)	$\lambda_{Max}.T = K_1$ $L_{\lambda}^{MAX}(T) = K_2.T^5$ (en $W.m^{-2}.sr^{-1}.m^{-1}$)	$K_1 = \frac{hc}{5k} = 2.8972.10^{-3} K.m$ $K_2 = \frac{2.5^5 k^5}{h^4 c^3 . (e^5 - 1)}$ $= 4.095.10^{-6} W.m^{-2}.sr^{-1}.m^{-1}.K^{-5}$
STEFAN (luminance totale)	$L^{CN}(T) = \int_0^{\infty} L_{\lambda}^{CN}(\lambda) d\lambda = K_3 T^4$ (en $W.m^{-2}.sr^{-1}$)	$K_3 = \frac{2k^4}{h^3 c^2} \frac{\pi^5}{15}$ $= 1.806.10^{-8} W.m^{-2}.sr^{-1}.K^{-4}$



$$L_{\lambda}^{Mes} = \tau_{\lambda}^{Atm} \left[\varepsilon_{\lambda} L_{\lambda}^{CN}(T_{vraie}) + R_{\lambda} L_{\lambda}^{CN}(T_{env}) \right] + (1 - \tau_{\lambda}^{Atm}) L_{\lambda}^{CN}(T_{atm})$$

Sur une série de 24 épis récoltés la veille, maintenu dans les conditions du laboratoire, puis observés dans le labo photo à l'obscurité, la caméra thermique nous donne l'image **IR** suivante (après réglage de la gamme de couleur) :



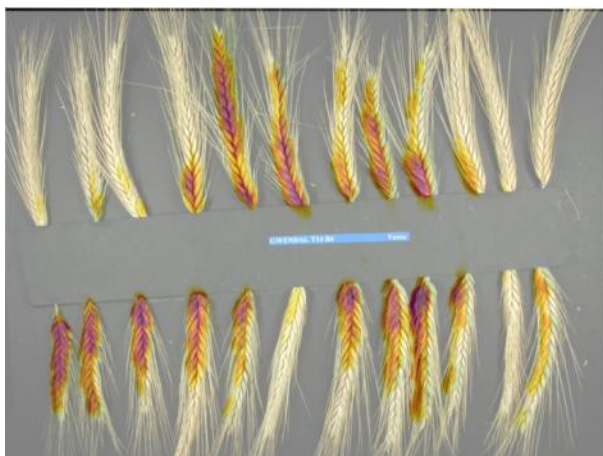
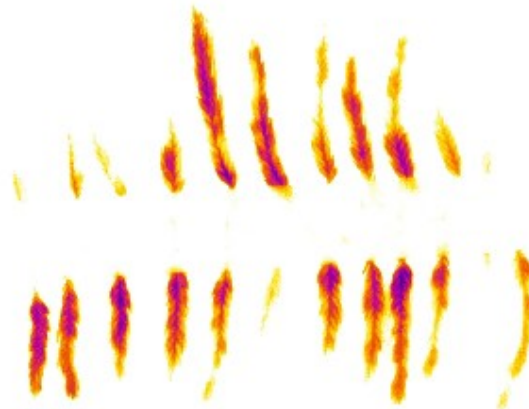
Le fond blanc correspond à la température de la pièce : ici 25,7°C
Les tissus plus froids que l'air ambiant apparaissent colorés et semblent correspondre aux parties saines des épis.

Un exemple : variété GWENDAL

Photo D200 (RVB)



Photo FLIR (IR)



Superposition RVB et IR



RVB moins IR



Protocole

Génotype : 54 variétés de Triticale (+ 2 témoins)

Infection sous tunnel irrigué (humectostat)

Inoculum : *Fusarium graminearum* 

Stade : floraison

Lecture à $\approx 400^\circ/\text{J}$ après l'infection

4 répétitions

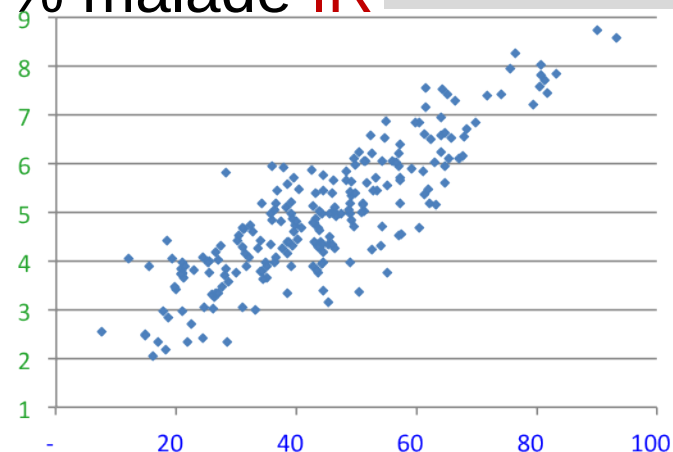
Méthodes comparées :

- Notes (1 à 9) sur tous les épis de la parcelle (> 100 épis)
- Notes (1 à 9) sur photographies **RVB** (24 épis)
- % d'épi nécrosés sur photographies **RVB** (24 épis)
- % d'épi vivants sur photographies **IR** (24 épis)



Sur les 224 parcelles analysées, nous avons de bonnes corrélations entre les méthodes mises en œuvre :

	Notes au champ	Notes sur Photo	% malade RVB	% malade IR
Notes au champ	1,000	0,847	0,790	0,801
Notes sur Photo		1,000	0,866	0,859
% malade RVB			1,000	0,803
% malade IR				1,000



Comparaison entre les % de tissus malades calculés sous IR sans intervention d'un expert et la notation (1-9) réalisé par un expert (224 parcelles)

To be continued

- Automatisation des traitements via un soft
- Optimisation du choix des caméras RGB avec information hyperspectrale.
- Couplage RGB_IR_Depth