

Suivi par imagerie multispectrale des changements morphologiques de grains de blé, lors de la germination

Dominique Bertrand¹, Eloïse Lancelot², Benoit Jaillais^{3*}

¹ *DATA_FRAME, Nantes, FRANCE*

² *ThermoFischer Scientific, 16 avenue du Québec, BP 30210, 91941 Courtaboeuf Cedex*

³ *StatSC, Oniris INRAE, Rue de la géraudière, 44322, Nantes, France*

Quand faut-il récolter?



- Le blé est mature
- Le grain bien rempli
- La couleur dorée du grain
- ↳ **Au bon moment!**
- Dépend du lieu de production, du climat, de la variété...

Nouveaux outils de caractérisation d'évolutions tissulaires dans le grain de blé!

Epi : de vert à jaune?



Changements :

- Développement du grain
- Changements moléculaires et morphologiques
- Remplissage du grain
- Changement de la couleur à 20 jours après anthèse
- Accumulation de caroténoïdes
- Fluorescence rouge décroissante de la chlorophylle
- Décroissance de la fluorescence bleue verte de l'acide hydroxy cinnamique

Développement de l'albumen

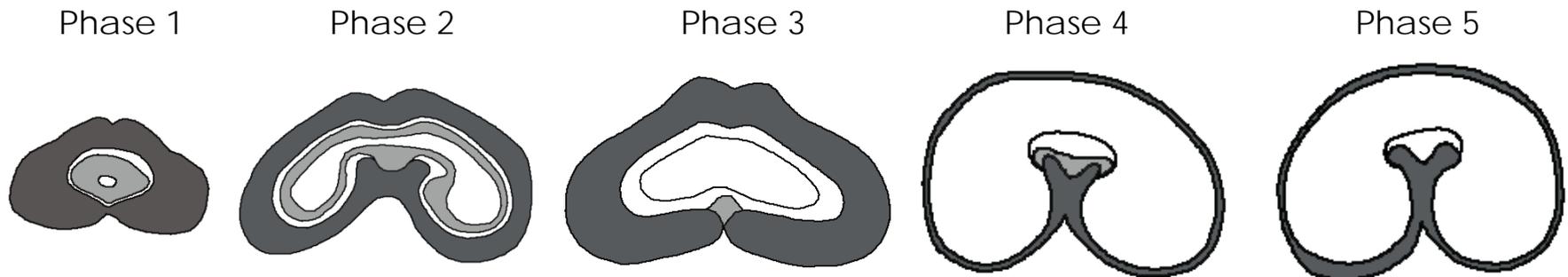
Phase 1 : Formation du premier noyau de l'albumen

Phase 2 : Cellularisation de la couche de cellules de l'endosperme qui tapisse le sac embryonnaire

Phase 3 : Fin de l'activité méristemique

Phase 4 : Atteinte du poids sec maximal

Phase 5 : Maturité pour la récolte



Adapted from Evers (1970)

Augmentation de la masse et du volume de l'embryon et de l'albumen (toutes phases)

Dégénérescence du péricarpe parenchymateux du centre vers l'extérieur (P2, P3)

Expansion de l'albumen (P2, P3)

Accumulation des composants de stockage (P4)

Séchage (P5)

Objectif

- Application de l'imagerie multivariée pour étudier la maturité physiologique du grain de blé

Comment?

- En utilisant 8 longueurs d'onde pour caractériser les tissus
- En acquérant des images RGB pour chaque longueur d'onde
- En assemblant toutes les images RGB pour chaque échantillon
- En traitant les réponses spectrales des pixels-vecteurs

Matériel et méthode

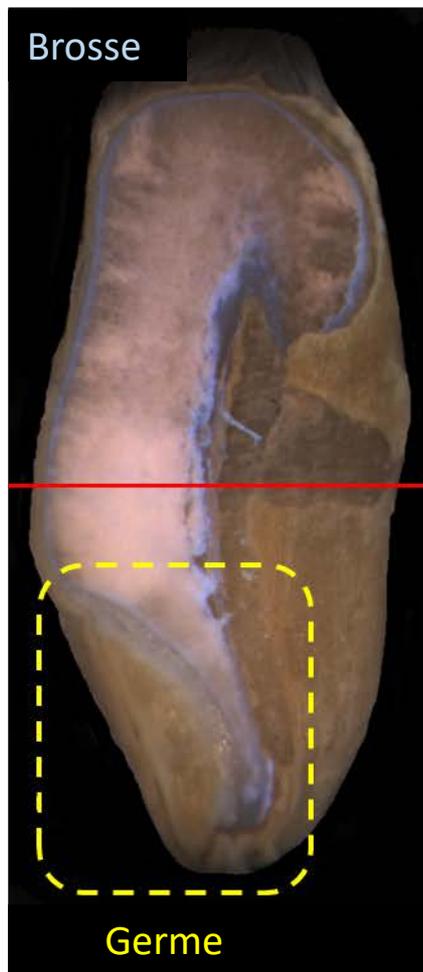
Collecte des échantillons

- Variété : Récital
- Culture en conditions contrôlées (INRA Rennes)

- 10 grains pour chaque temps de développement
- 14 temps de développement (en jaa) :

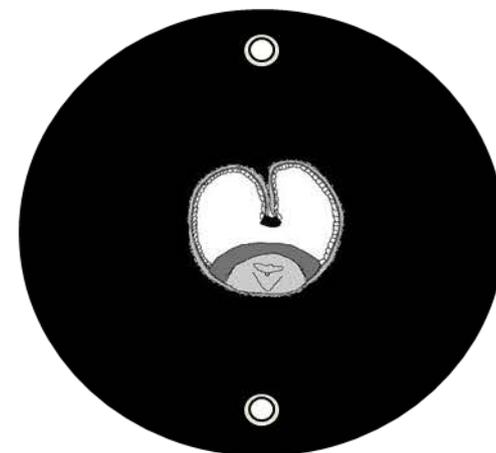
4	5	6	8	11	14	15
16	17	18	21	24	25	28

Préparation de l'échantillon



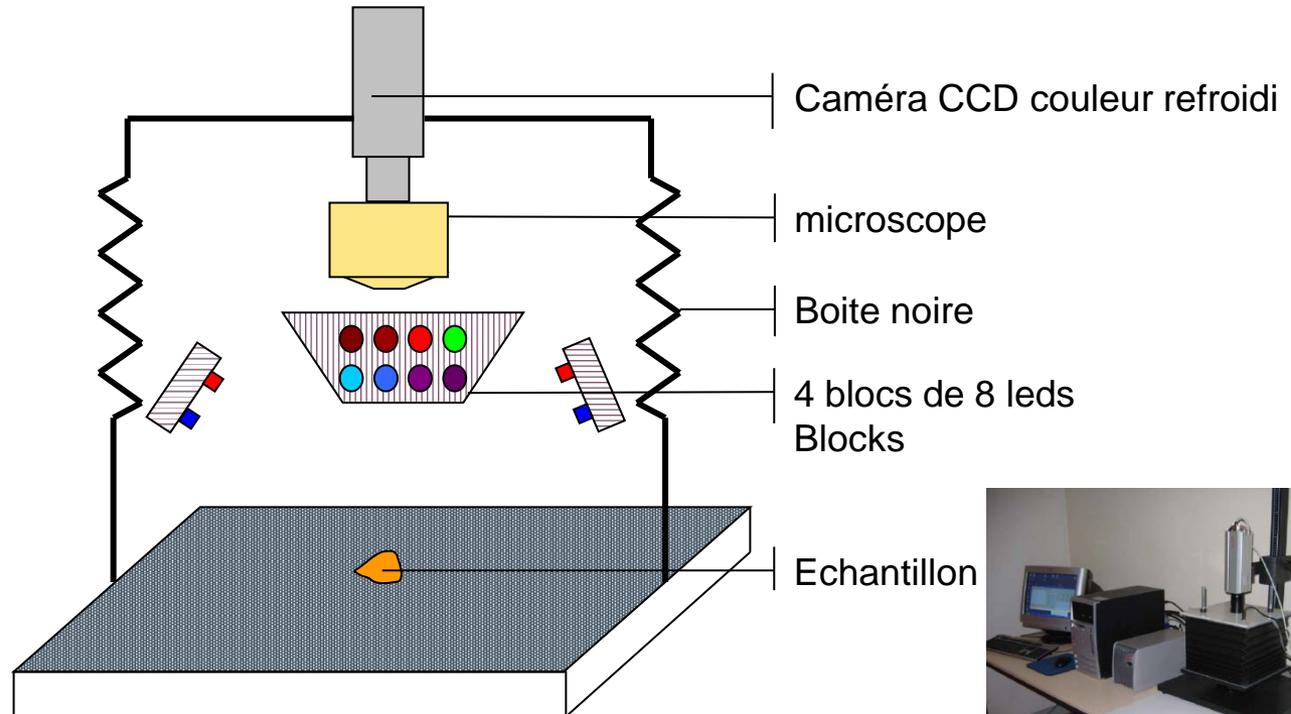
Temps estimé : 10 s

Lame de rasoir



MUWI (Multiway Imager)

	NIR 950 nm
	NIR 875 nm
	Red
	Green
	Blue
	UV 400 nm
	UV 370 nm
	UV 360 nm



8 conditions d'illumination x 3 canaux RGB = 24 plans-image pour chaque échantillon

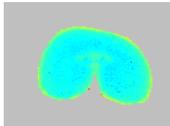
Temps exposition vs Longueur d'onde

- Le temps d'exposition pour obtenir une image bien exposée varie avec les longueurs d'onde.
- Nécessité de pouvoir piloter le système avec différentes valeurs de temps d'intégration de la caméra.
- Pour une image bien exposée, le temps d'intégration requis est :
 - environ 7s pour les leds UV
 - Entre 0.02 et 0.1 s pour les leds Visible
 - Environ 0.02 s pour les leds infrarouge

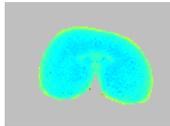
Temps estimé : 30 s

Images en fausses couleurs

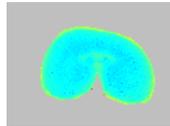
IR875red



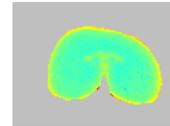
IR875gre



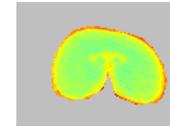
IR875blu



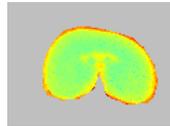
UV360red



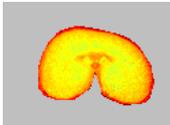
UV360gre



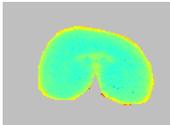
UV360blu



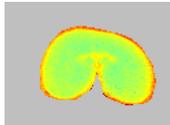
greenred



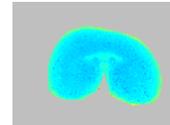
greengre



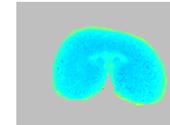
greenblu



red red



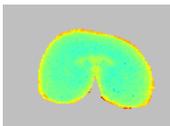
red gre



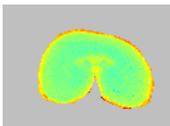
red blu



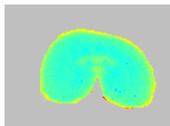
UV400red



UV400gre



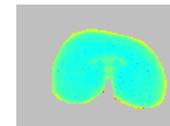
UV400blu



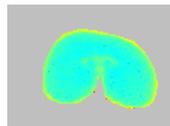
IR950red



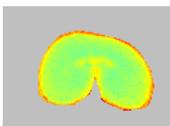
IR950gre



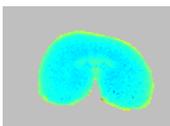
IR950blu



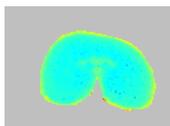
blue red



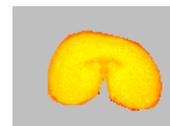
blue gre



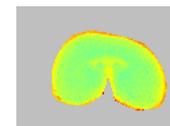
blue blu



UV370red



UV370gre

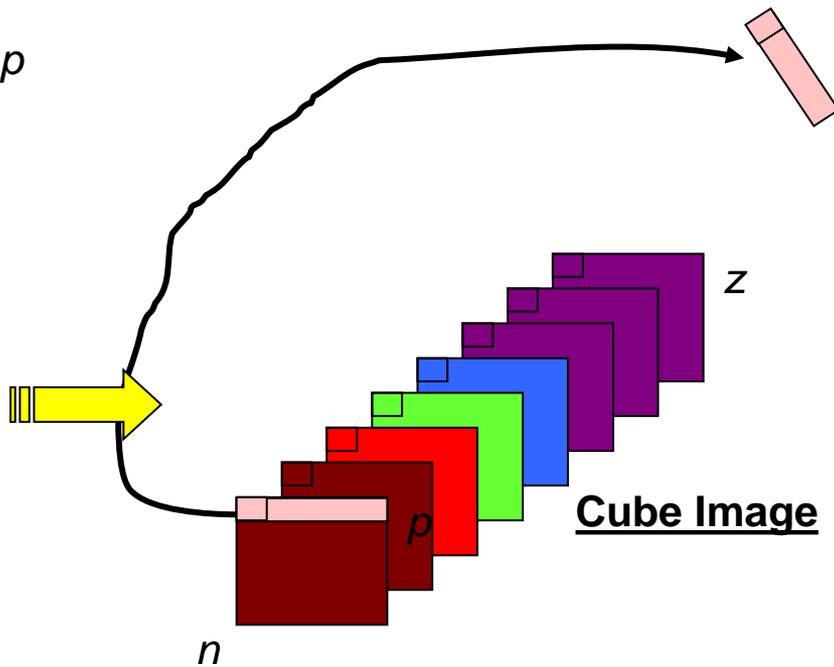
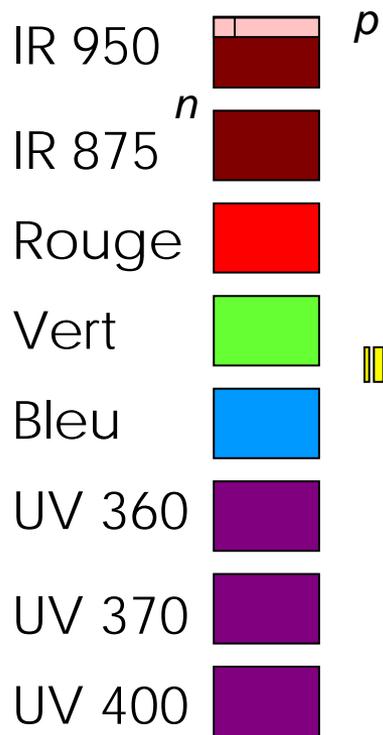


UV370blu

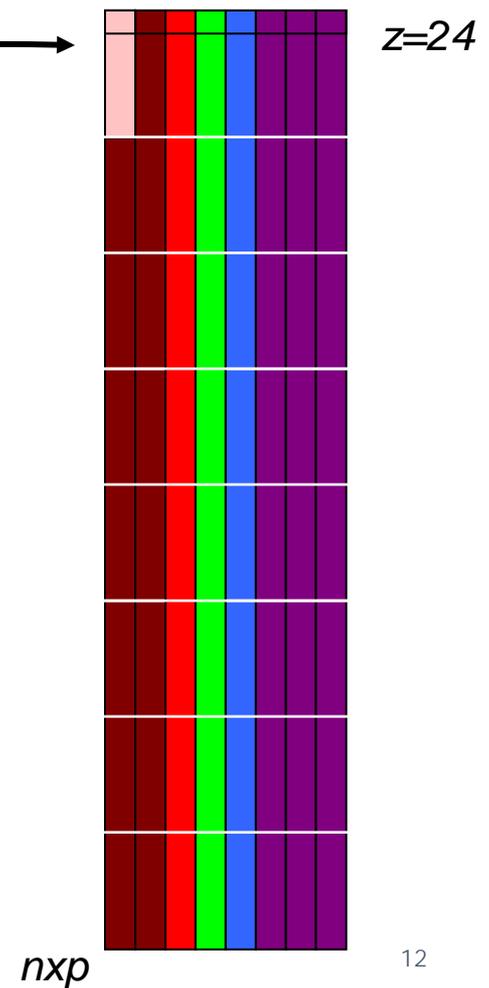


Prétraitement des images

Image λ



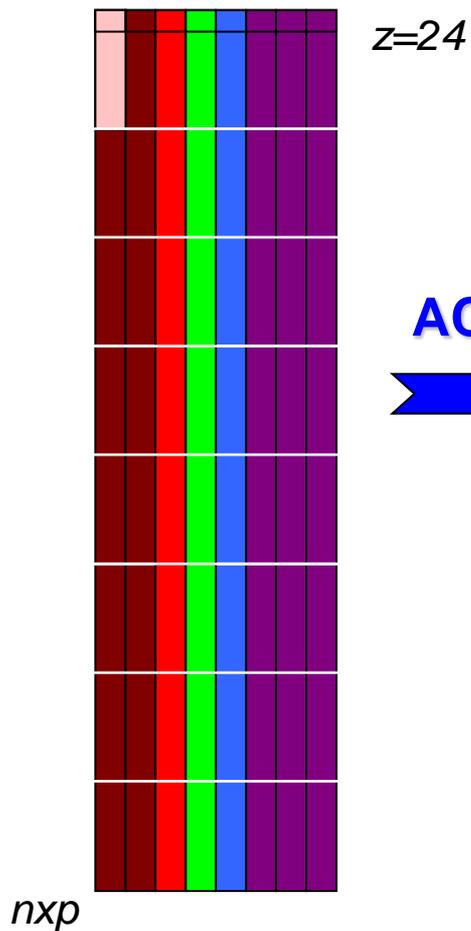
Cube image déplié



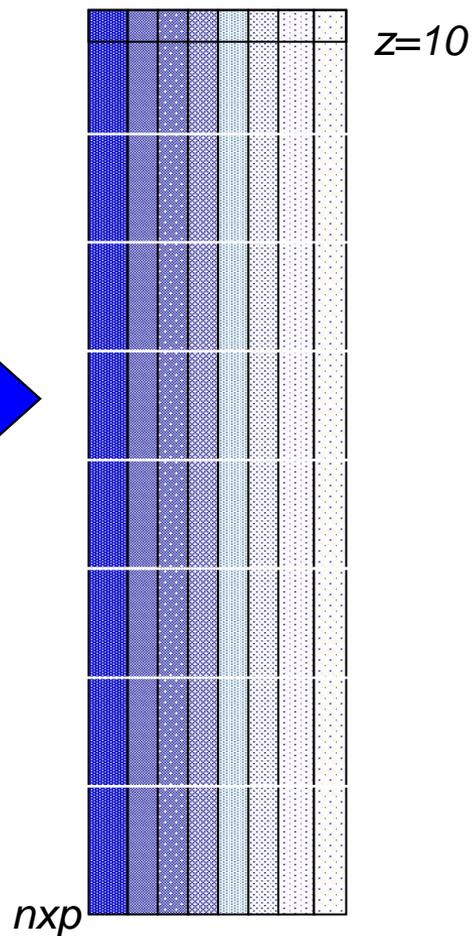
Dépliage de l'image multivariée :
Chaque pixel est un individu caractérisé par un vecteur de 24 intensités (i.e. réponses spectrales)

PC image-score

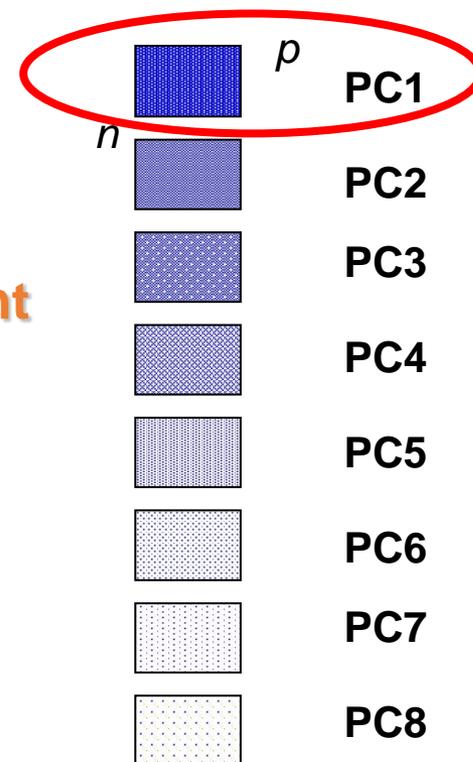
Cube Image déplié



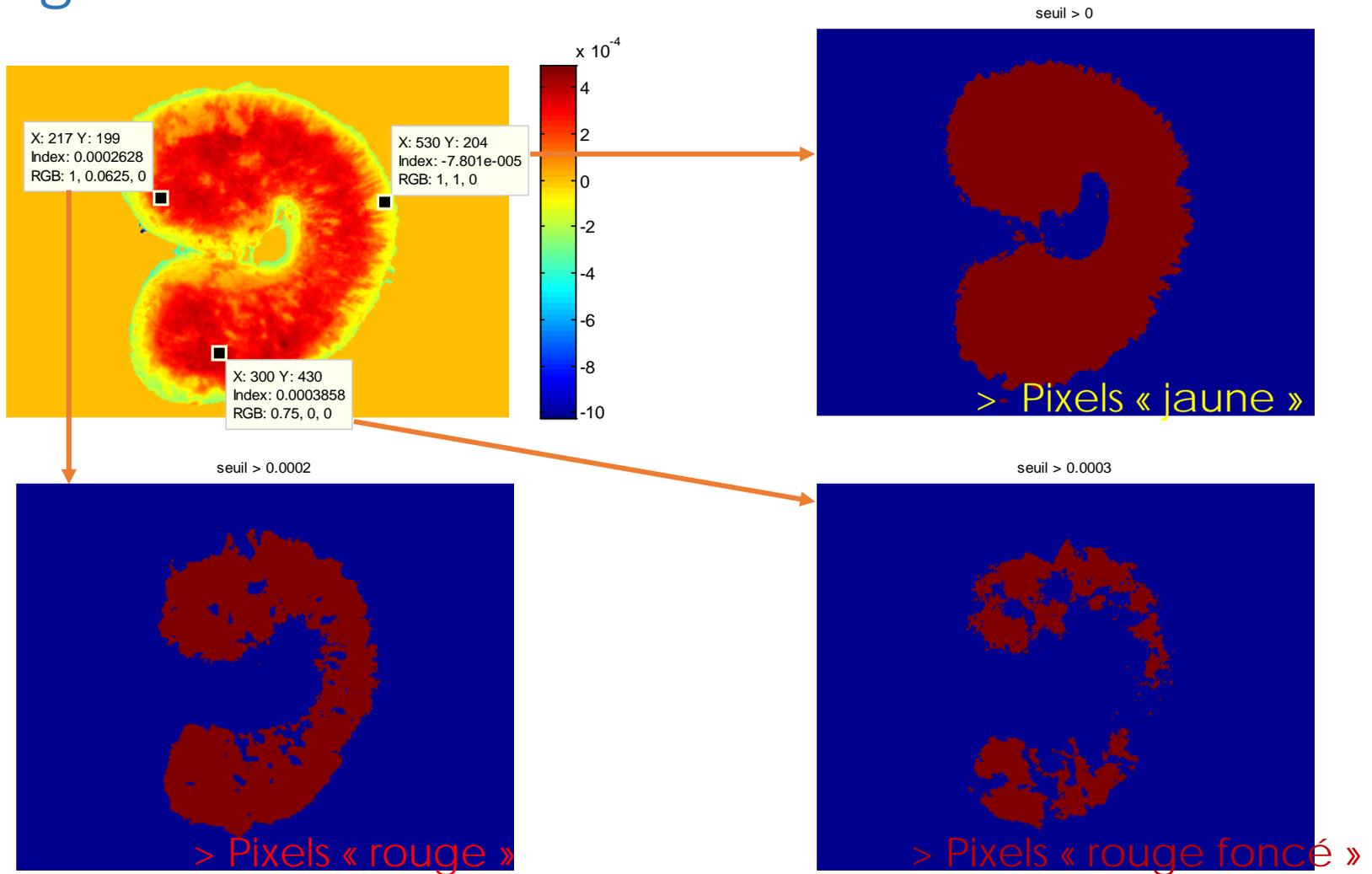
Scores



Scores repliés



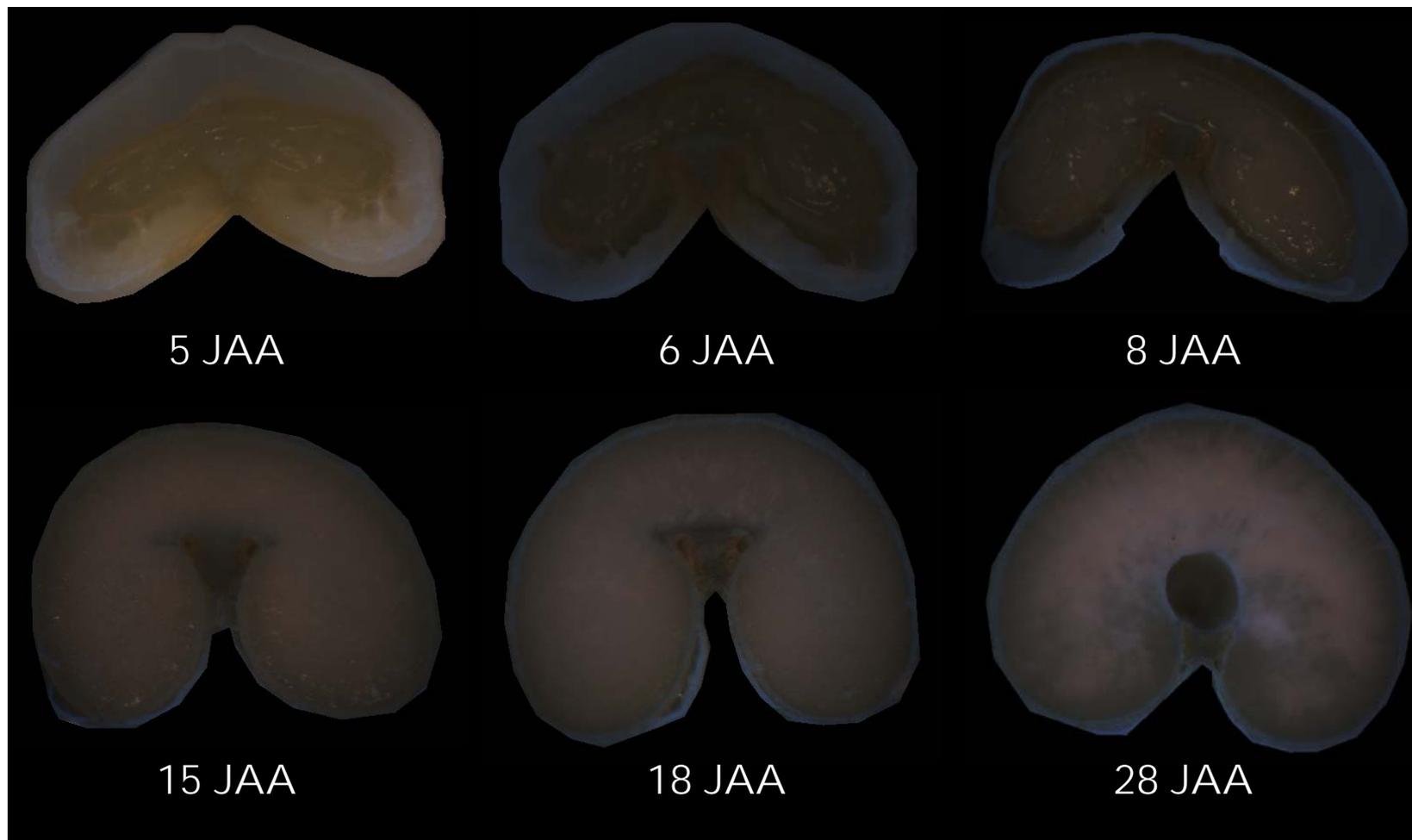
Segmentation



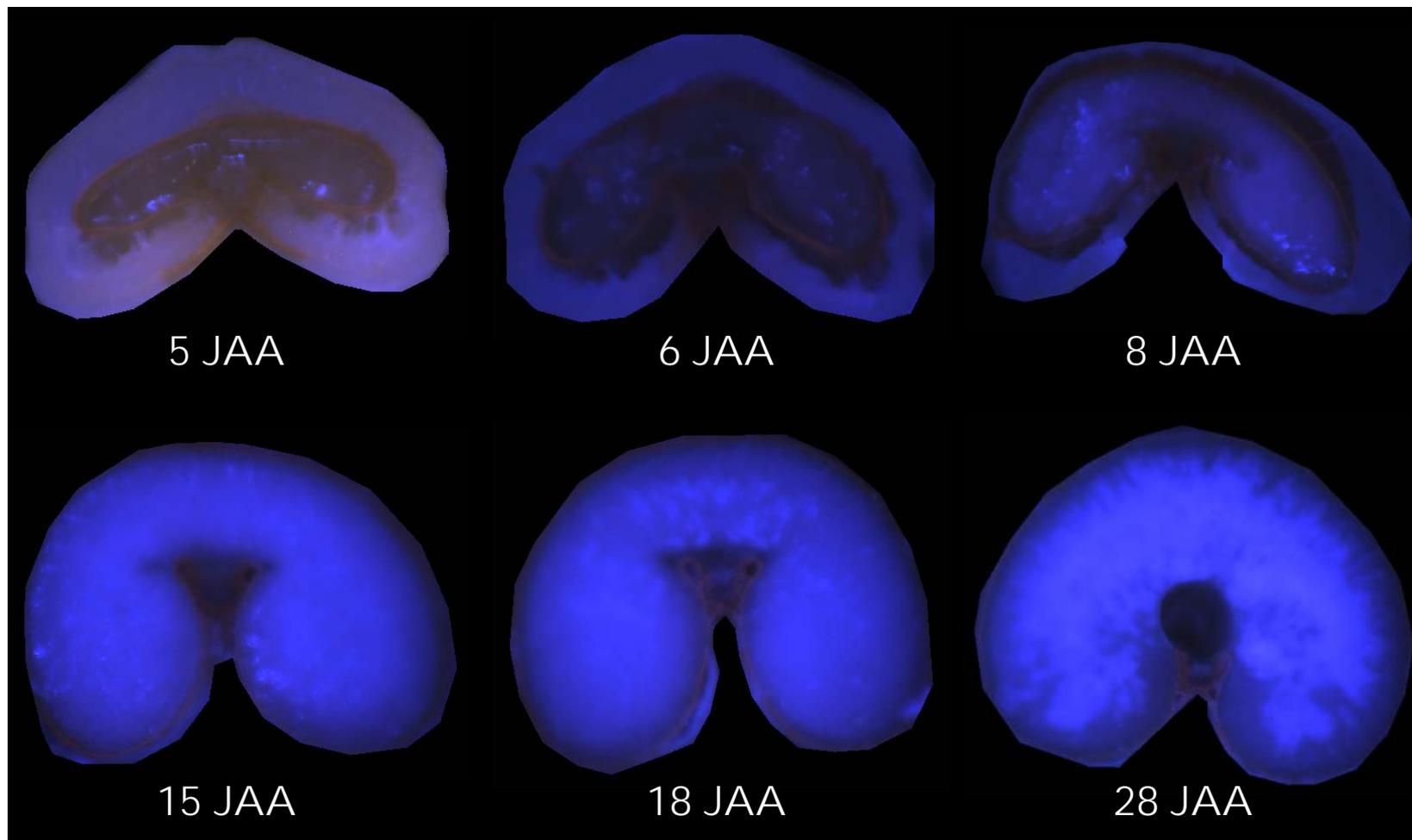
Temps estimé : 2 min

Résultats

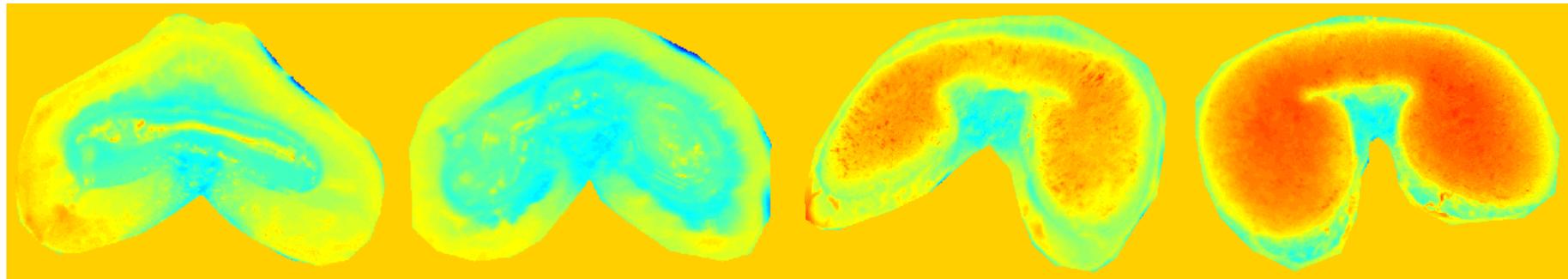
Séquence d'images RGB UV 360nm



Séquence d'images RGB UV 400nm



Evolution des images-scores PC1

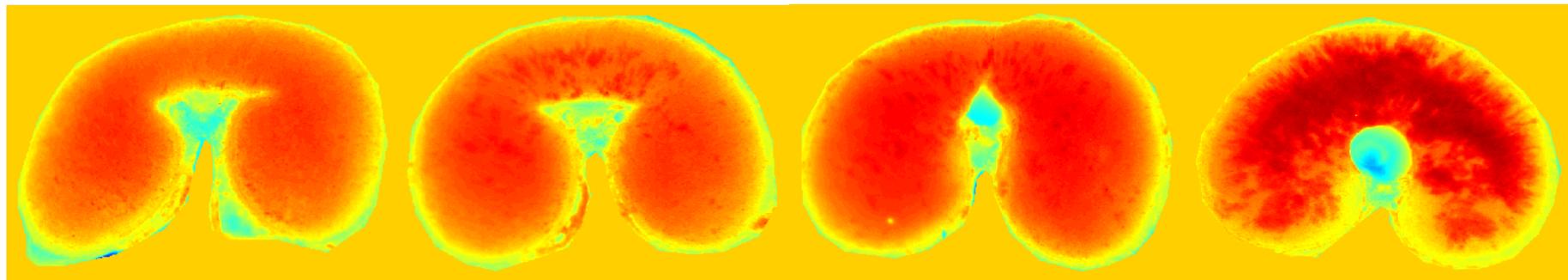


4 JAA

6 JAA

11 JAA

14 JAA



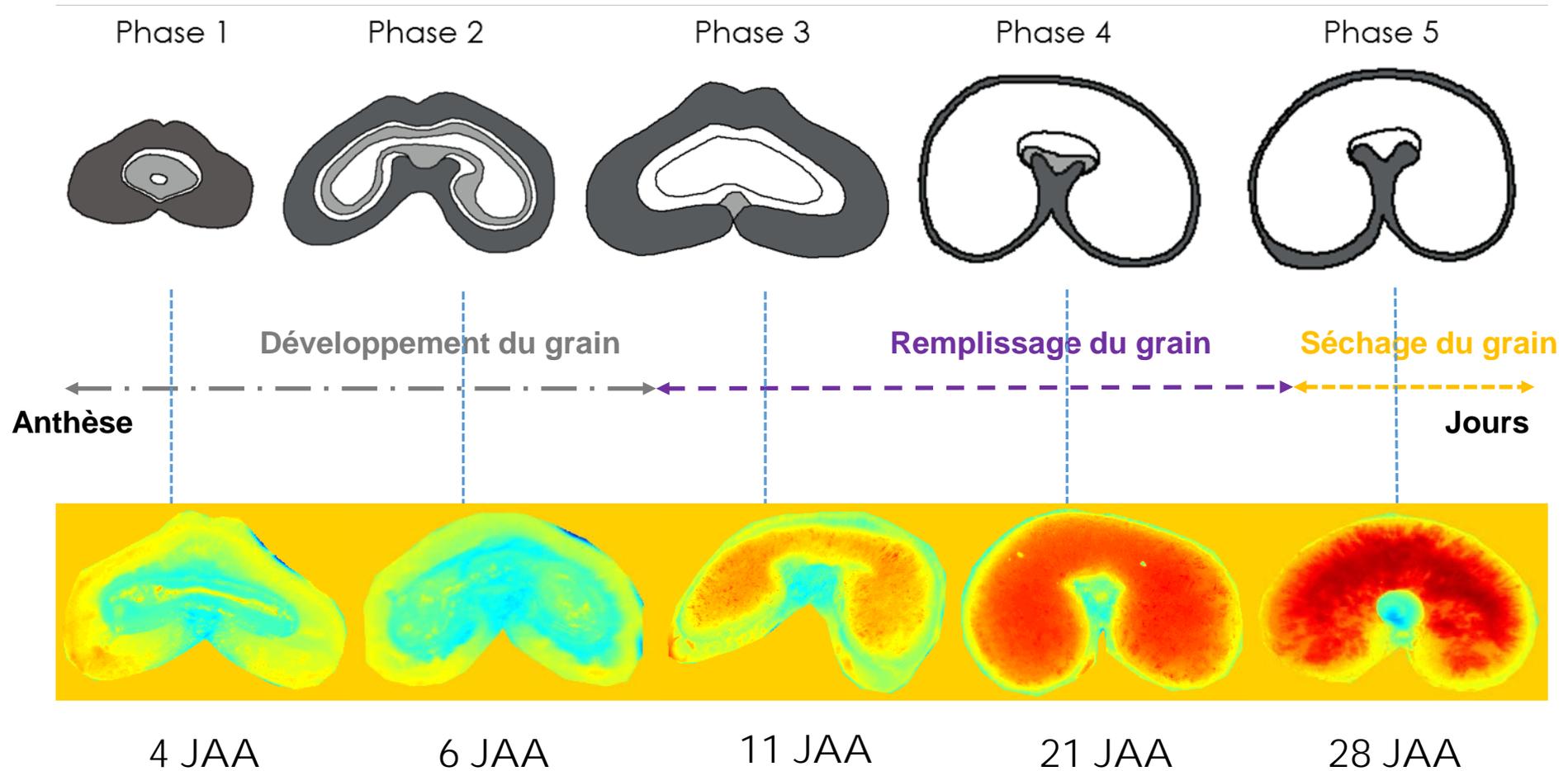
16 JAA

18 JAA

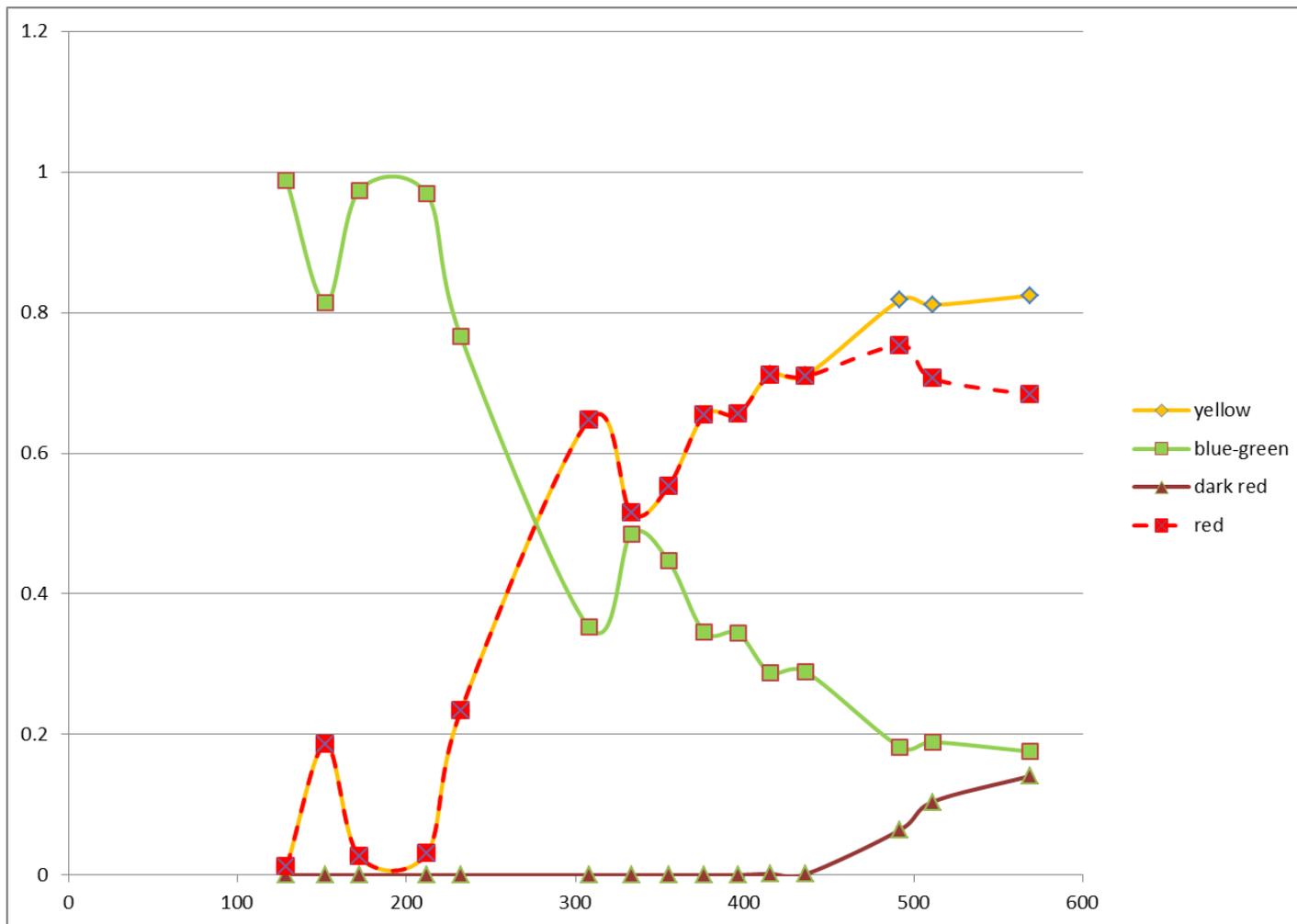
25 JAA

28 JAA

Théorie/expérience



Evolution du nombre de pixels

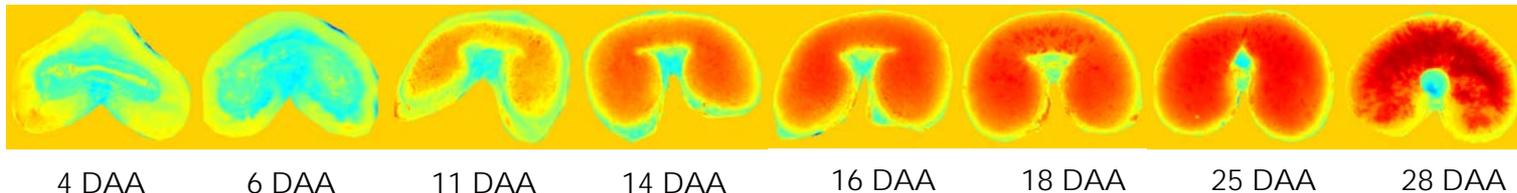


Chaque point est la moyenne de 10 images de grain au même moment

conclusions

Conclusions

Le système MUWI permet de quantifier le degré de maturité des grains.



- Méthode rapide (env. 3 mn/éch), simple, robuste, low-cost
- Pas besoin d'inspection visuelle
- Pas de limite pour le traitement de l'image \Rightarrow seulement pour la présentation de l'échantillon : goulot d'étranglement du phénotypage
- Possibilité d'accroître le débit d'analyse en développant un robot
- Extraction facile des paramètres (forme, couleur, texture) des images multispectrales \Rightarrow chimiométrie

Merci pour votre attention !