



#DigitAg

INRAE



Unité Mixte de Recherche

ITAP Technologies & méthodes
pour les agricultures
de demain

SupAgro

Montpellier



Détection du feu bactérien sur les pommiers par imagerie hyperspectrale

Belal Gaci



Les 25^{èmes} Rencontres Hélio-SPIR, juin 2024 à Montpellier

Contenu de la présentation

Contexte



Approche de recherche - méthodologie
* Combinaison des informations spatiale & spectrale

Application de la méthode au feu bactérien

- * Discrimination des signatures spatio-spectrales
- * Identification des zones spectrales informatives



Conclusions et Perspectives



Feu bactérien - pathogène & symptômes

Pathogène



Erwinia amylovora

- Ne possède pas de traitement
- Propagation rapide dans les vergers
- Détection par inspection visuelle



Détecter le plus tôt possible pour limiter sa propagation

Symptômes

Brunissement de bouquets floraux



Taches brunâtres et flétrissement des feuilles

Brunissement des jeunes fruits





Feu bactérien - pathogène & symptômes

Pathogène



Erwinia amylovora

- Ne possède pas de traitement
- Propagation rapide dans les vergers
- Détection par inspection visuelle



Détecter le plus tôt possible pour limiter sa propagation

Symptômes

Brunissement de bouquets floraux



Taches brunâtres et flétrissement des feuilles

Brunissement des jeunes fruits



Capteurs optiques



Description de la donnée - Imagerie
hyperspectrale en proxid tection

2 types d'informations

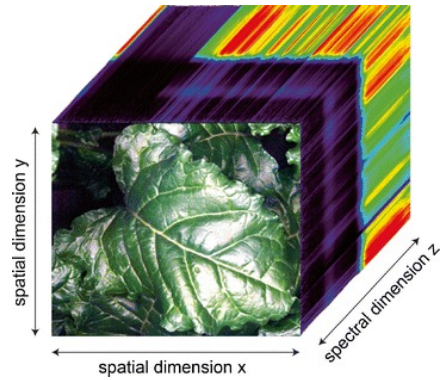


Image hyperspectrale



2 types d'informations

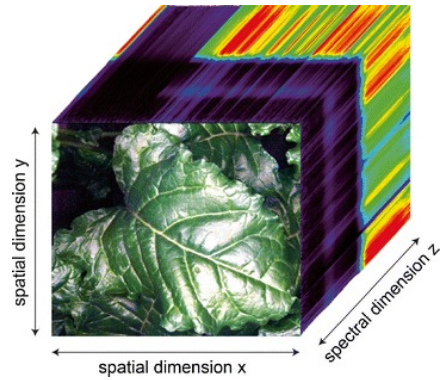
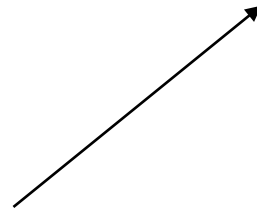
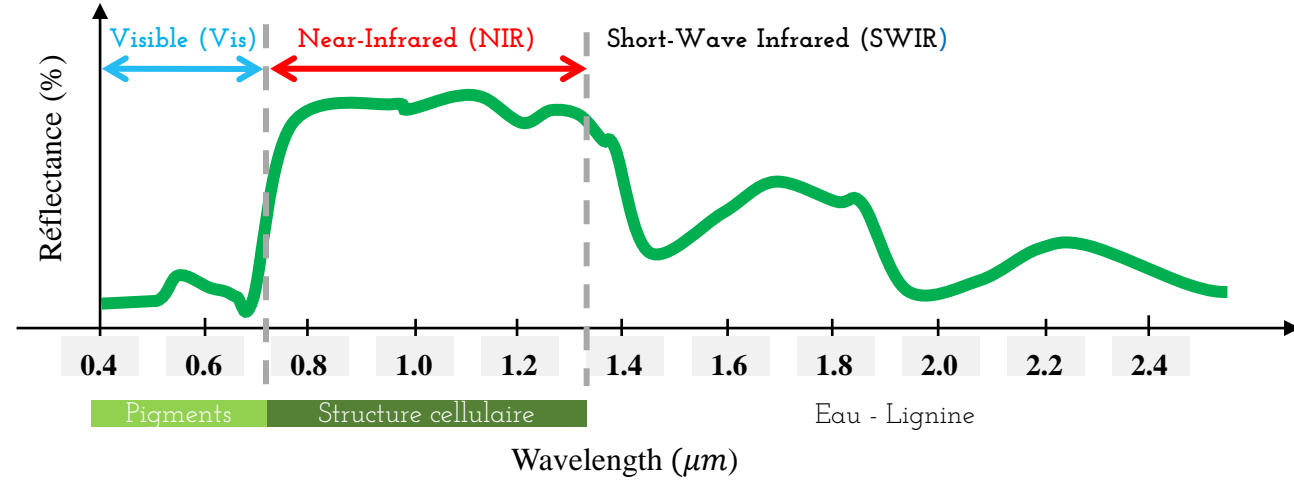


Image hyperspectrale



Description de la donnée - Imagerie hyperspectrale en proxidétéction



Information spectrale ~ réflexion de la lumière



2 types d'informations

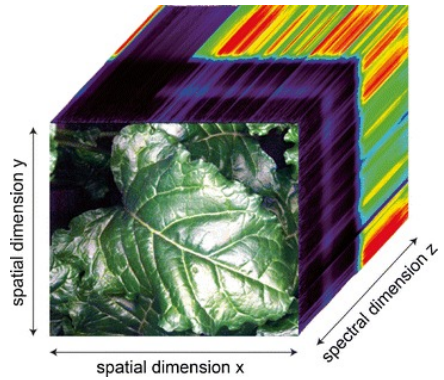
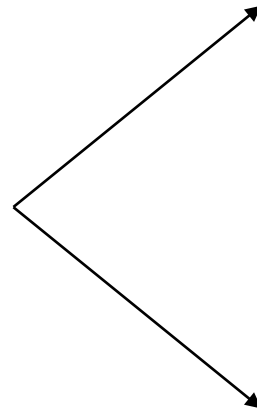
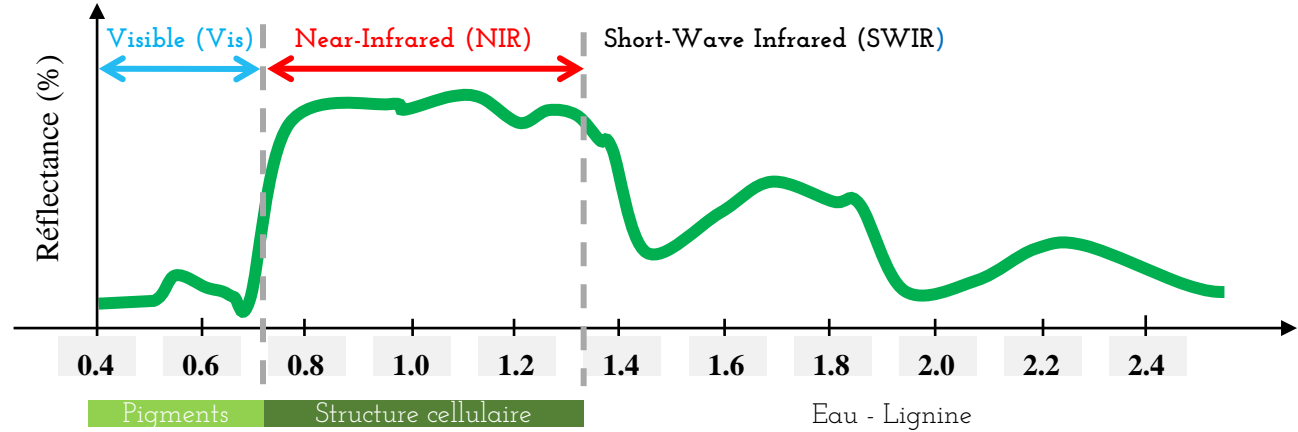


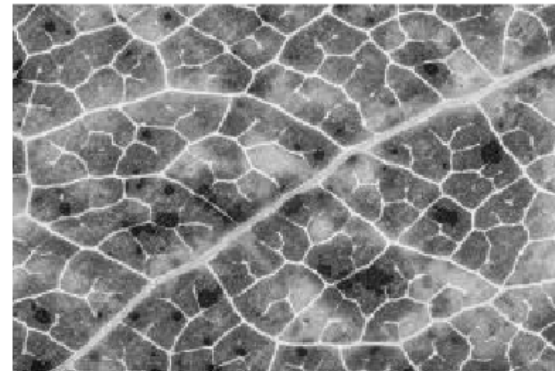
Image hyperspectrale



Description de la donnée - Imagerie hyperspectrale en proxidetection



Information spectrale ~ réflexion de la lumière



Information spatiale ~ variations de forme et de texture

Indices statistiques

$$f_1 = \sum_i \sum_j \{p(i,j)\}^2$$

$$f_2 = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{\substack{i=1 \\ |i-j|=n}}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i,j) \right\}$$

$$f_3 = \frac{\sum_i \sum_j (ij)p(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$$

Contenu de la présentation

Contexte



Approche de recherche - méthodologie
* Combinaison des informations spatiale & spectrale

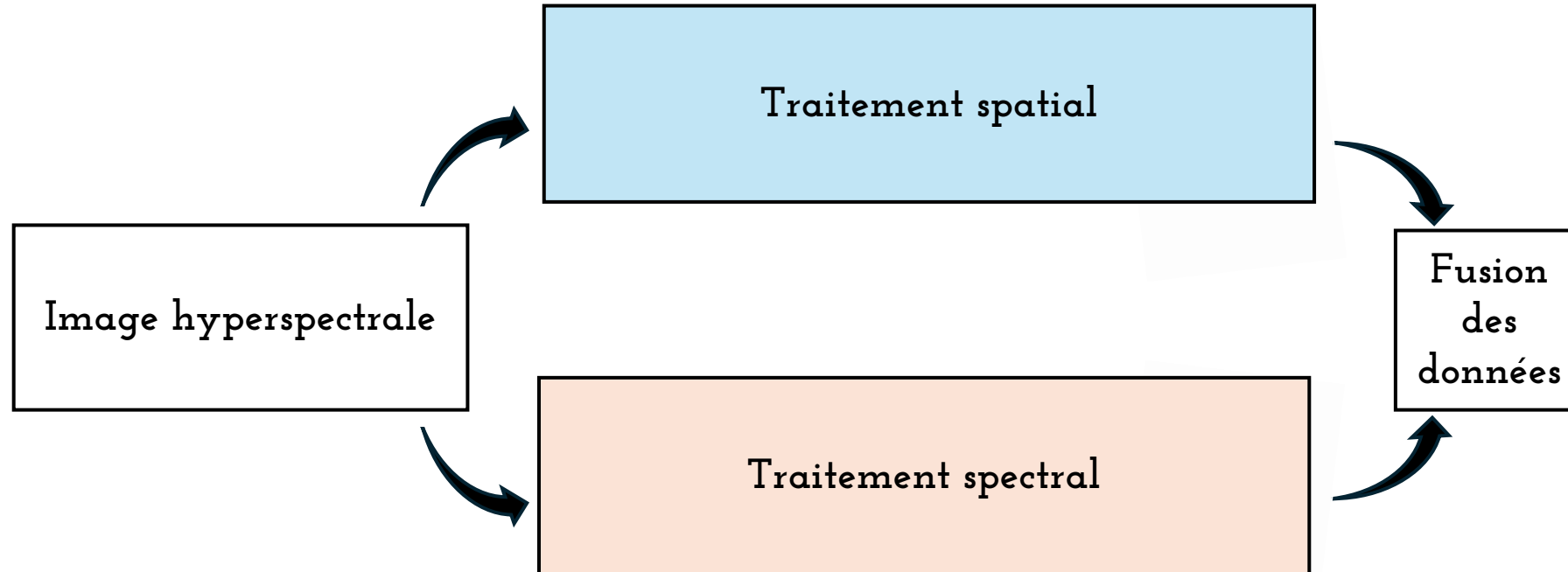
Application de la méthode au feu bactérien
* Discrimination des signatures spatio-spectrales
* Identification des zones spectrales informatives



Conclusions et Perspectives



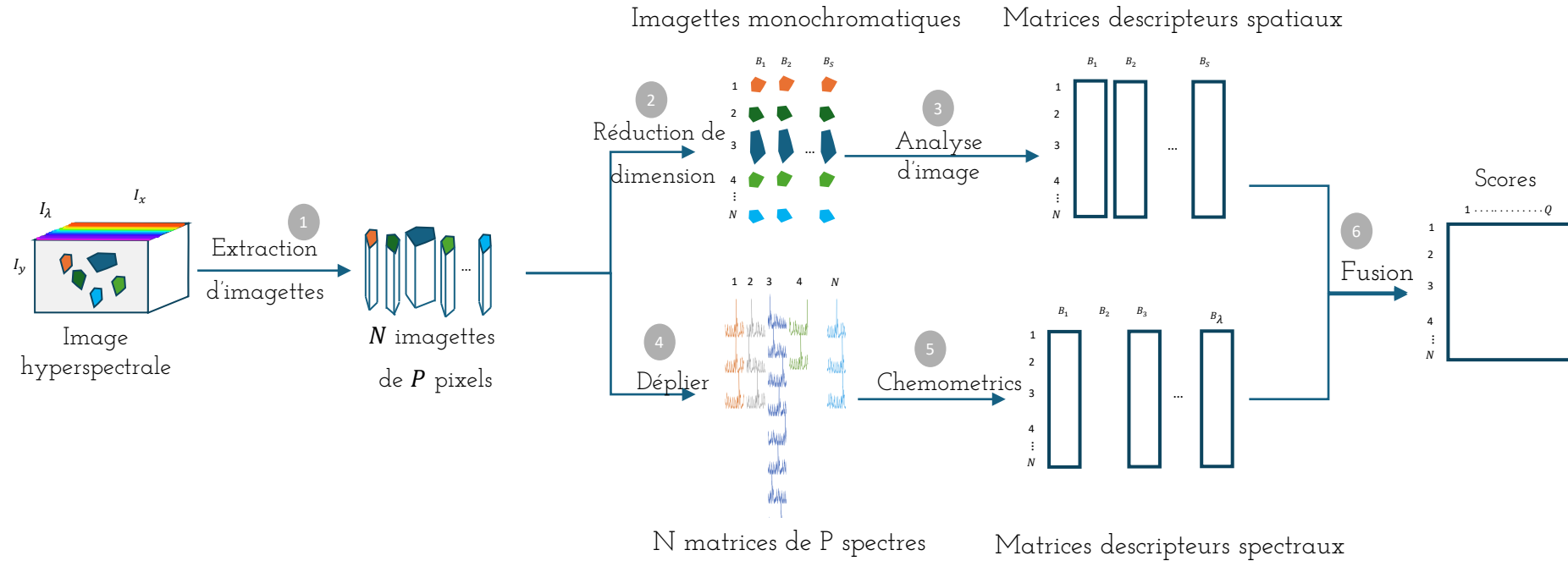
Apport méthodologique
SSPI - Spatial-Spectral Processing Image



(Gaci et al., 2023)



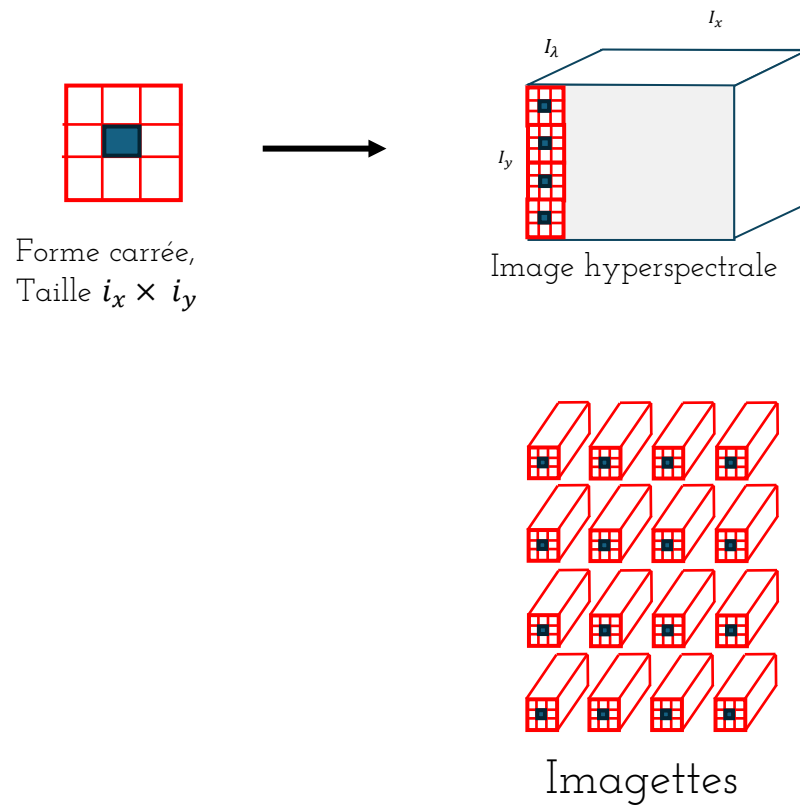
Apport méthodologique SSPI - Spatial-Spectral Processing Image





Paramétrisation de la méthode SSPI

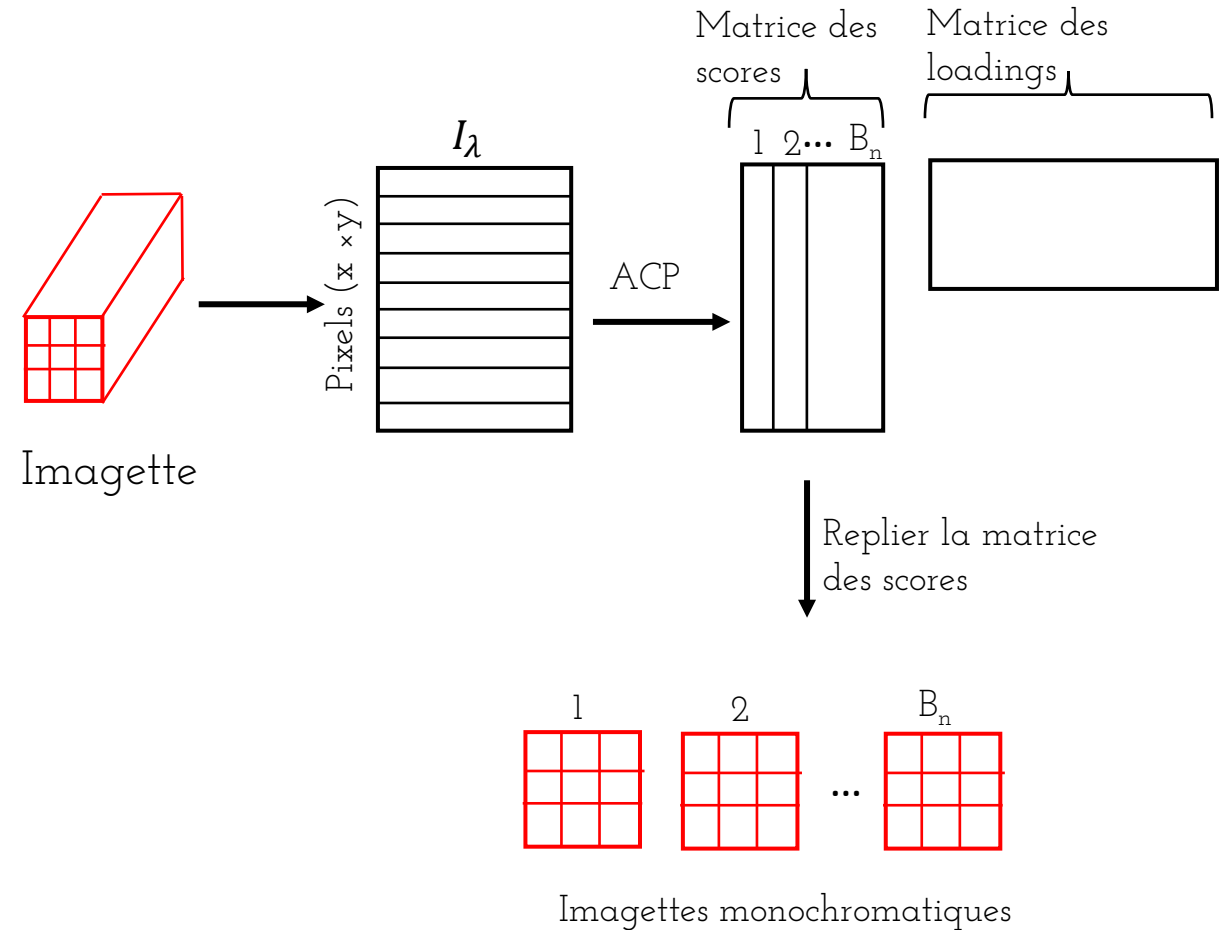
- 1 Régions d'intérêts
- 2 Réduction de dimensions
- 3 Analyse de texture
- 4 Déplieusement d'imagettes
- 5 Méthode chimiométrique
- 6 Fusion des données





- 1 Régions d'intérêts
- 2 **Réduction de dimensions**
- 3 Analyse de texture
- 4 Dépliage d'imagettes
- 5 Méthode chimiométrique
- 6 Fusion des données

Paramétrisation de la méthode SSPI

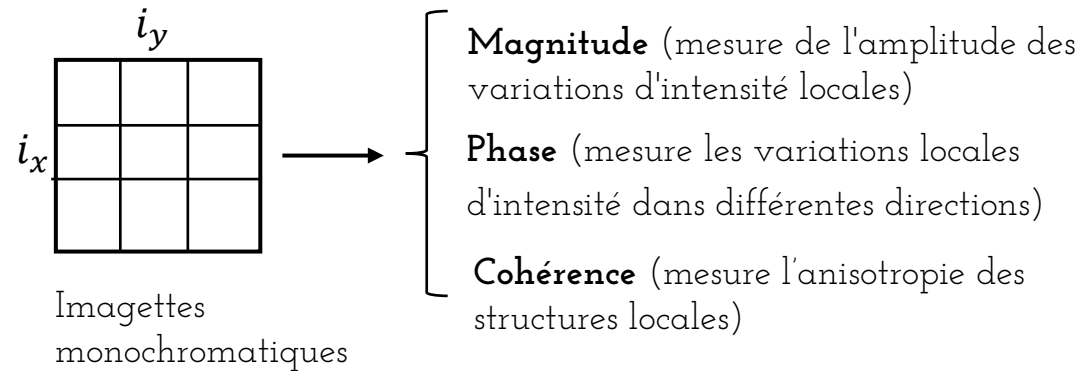




Paramétrisation de la méthode SSPI

- 1 Régions d'intérêts
- 2 Réduction de dimensions
- 3 **Analyse de texture**
- 4 Dépliection d'imagettes
- 5 Méthode chimométrique
- 6 Fusion des données

Tenseur des structures locales



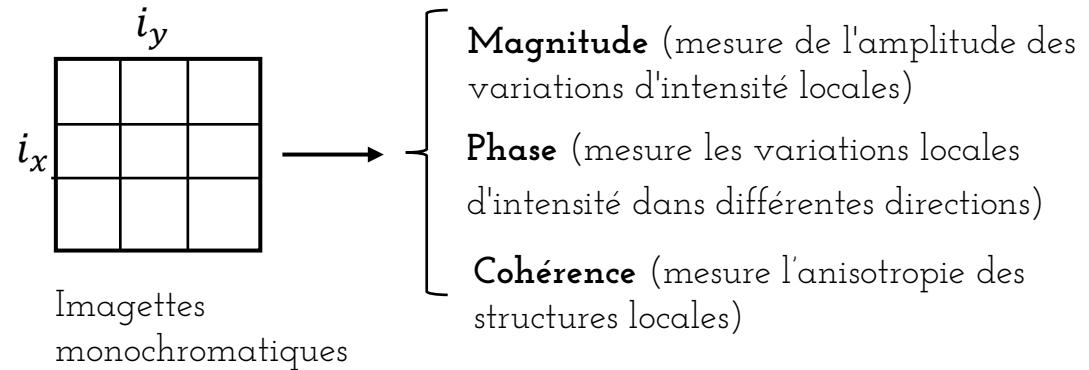


Traitement
spatial

- 1 Régions d'intérêts
- 2 **Réduction de dimensions**
- 3 **Analyse de texture**
- 4 Déplieement d'images
- 5 Méthode chimométrique
- 6 Fusion des données

Paramétrisation de la méthode SSPI

Tenseur des structures locales

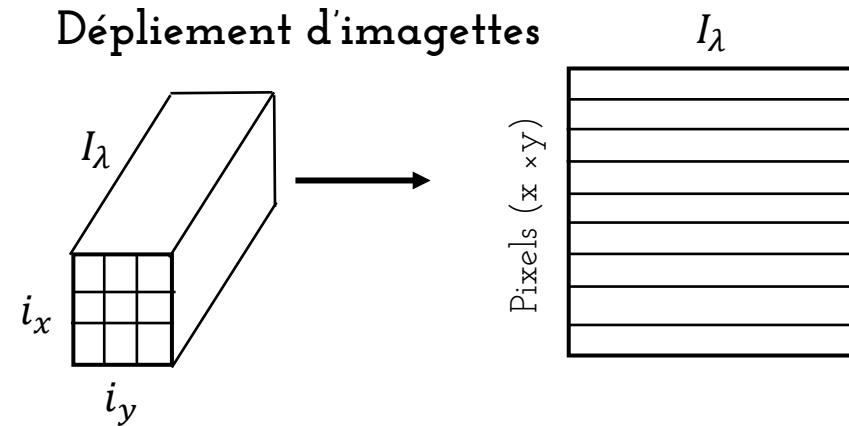




Paramétrisation de la méthode SSPI

Traitement
spatial

- 1 Régions d'intérêts
- 2 Réduction de dimensions
- 3 Analyse de texture
- 4 **Dépliection d'imagettes**
- 5 Méthode chimométrique
- 6 Fusion des données



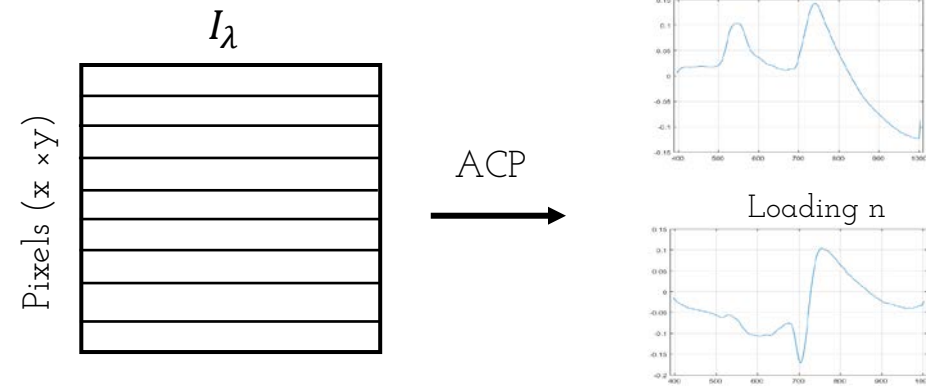


Paramétrisation de la méthode SSPI

Traitement
spatial

- 1 Régions d'intérêts
- 2 Réduction de dimensions
- 3 Analyse de texture
- 4 Déplieement d'images
- 5 **Méthode chimométrique**
- 6 Fusion des données

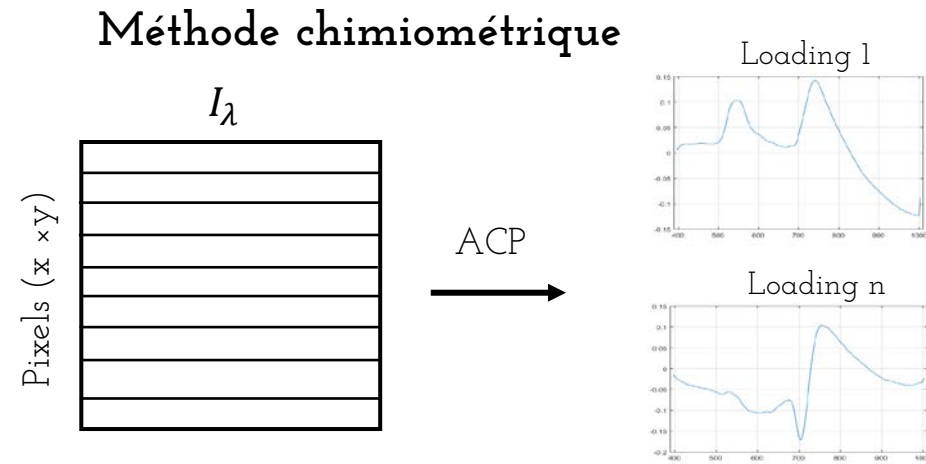
Méthode chimométrique





Paramétrisation de la méthode SSPI

- Traitement spatial
- 1 Régions d'intérêts
 - 2 Réduction de dimensions
 - 3 Analyse de texture
- Traitement spectral
- 4 **Dépliection d'images**
 - 5 **Méthode chimométrique**
 - 6 Fusion des données

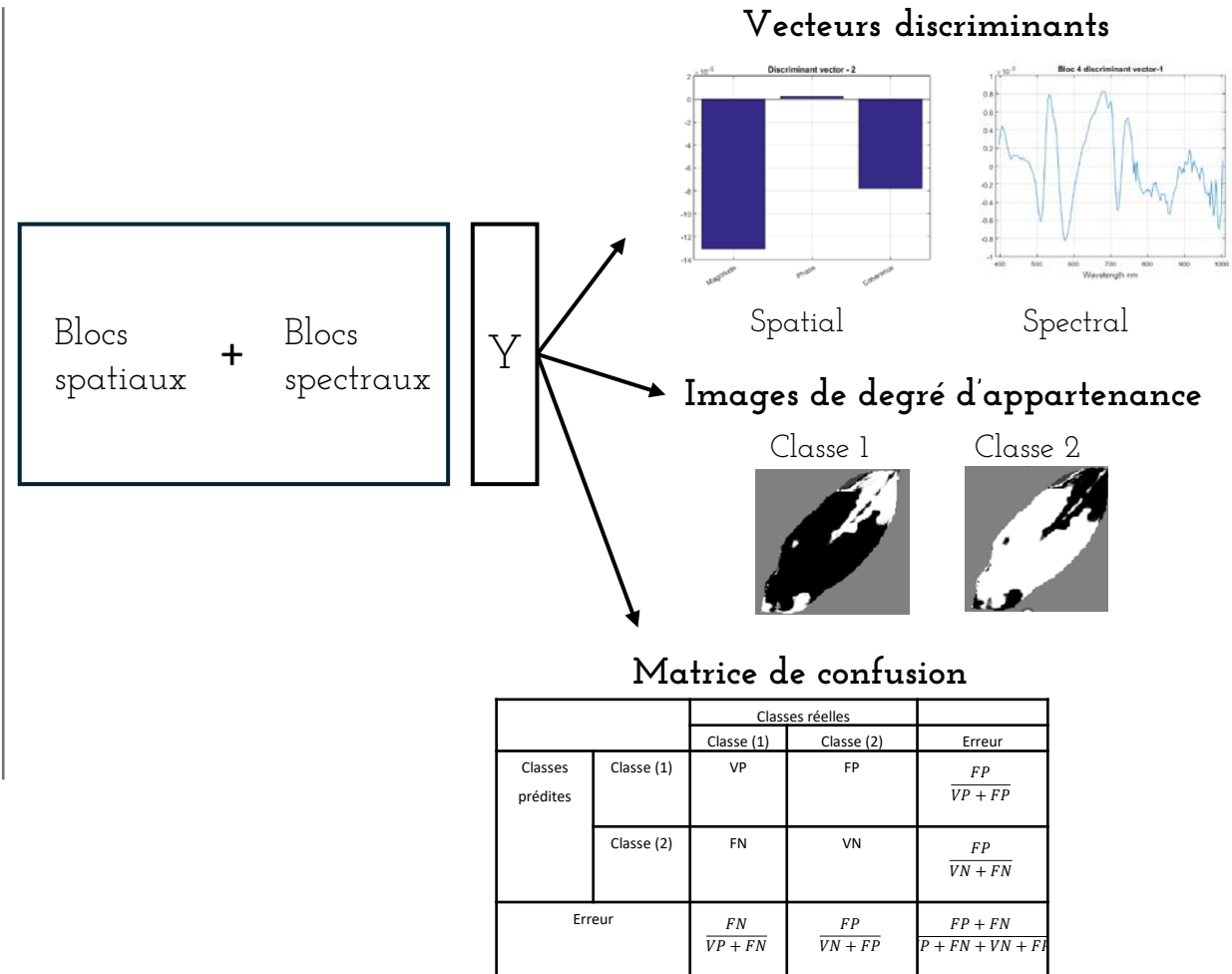




Paramétrisation de la méthode SSPI

Méthode SSPI - approche supervisée (ROSA-PLSDA)

- Traitement spatial
- 1 Régions d'intérêts
 - 2 Réduction de dimensions
 - 3 Analyse de texture
- Traitement spectral
- 4 Déplieement d'imagettes
 - 5 Méthode chimiométrique
 - 6 Fusion des données



Contenu de la présentation

Contexte



Approche de recherche - méthodologie
* Combinaison des informations spatiale & spectrale

Application de la méthode au feu bactérien

- * Discrimination des signatures spatio-spectrales
- * Identification des zones spectrales informatives



Conclusions et Perspectives



Description de l'expérimentation

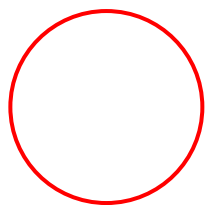
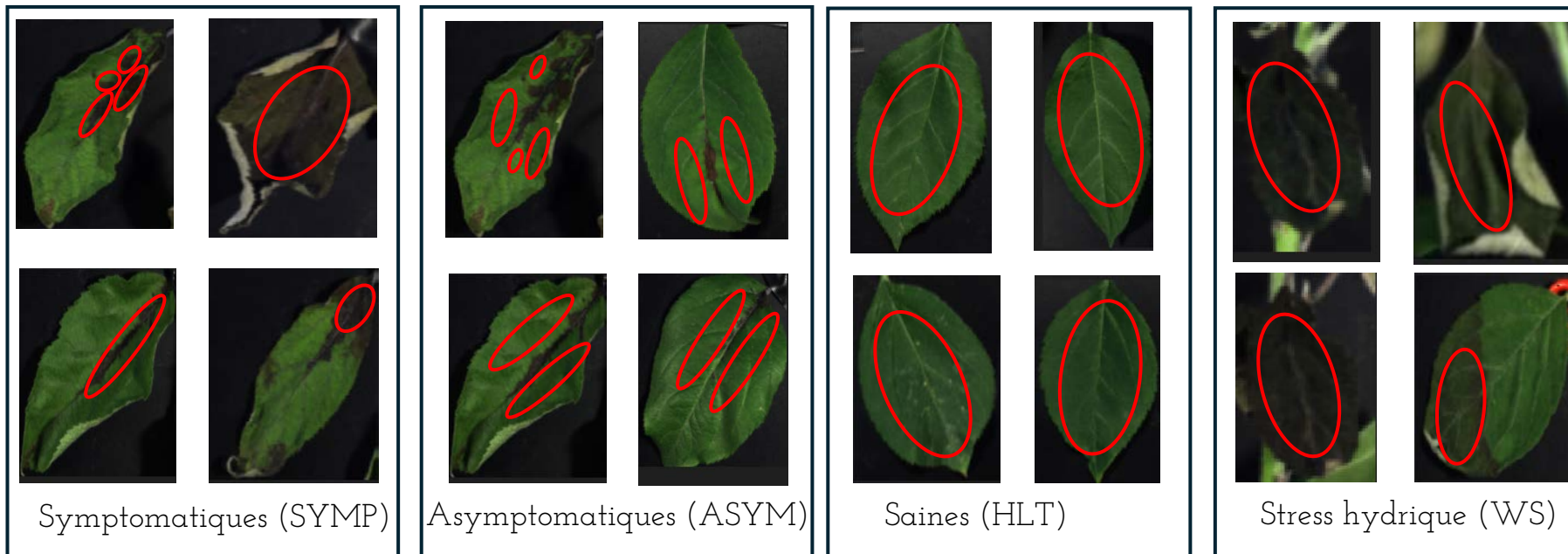
- Serre confinée
- Plants de pommier de la variété « GALA »
- **3 modalités** : Plants inoculés sur feuille, plants témoins et plants soumis à un stress hydrique
- Suivi de la dynamique temporelle durant 23 jours
- Caméra SPECIM IQ [400-1000] nm





Définition de classes selon différents
facteurs de stress biotiques et abiotiques

Définition de 4 classes



Zone de sélection d'imagettes



Paramétrisation de la méthode SSPI &
données de calibration-test

- Application de la méthode SSPI en supervisée avec ROSA-PLSDA :
 - Taille des imagettes 5 x 5 px
 - 3 blocs spatiaux -> indices de tenseurs de structure locales
 - 1 bloc spectral -> 1^{er} loading de l'ACP
- Jeux de données :
 - Calibration (48 images - 48000 imagettes)
 - Test (12 images - 12000 imagettes)



Résultats - Matrice de confusion selon les
différentes classes

Classe « Asymptomatique »

Sensibilité

Classes réelles \ Classes prédites		Sensibilité				Erreur (%)
		SYMP	ASYM	HLT	WS	
SYMP	3540	0	0	74	2.04	
ASYM	407	1744	6	366	30.87	
HLT	1	2256	3994	0	36.10	
WS	52	0	0	3560	1.43	
Erreur (%)	11.50	56.40	0.15	11.00	19.76	

- Mal classifiée
- Confondue avec les autres classes



Résultats - Matrice de confusion selon les
différentes classes

Classe « Stress hydrique »

Sensibilité

Précision

Classes réelles \ Classes prédites	SYMP	ASYM	HLT	WS	Erreur (%)
SYMP	3540	0	0	74	2.04
ASYM	407	1744	6	366	30.87
HLT	1	2256	3994	0	36.10
WS	52	0	0	3560	1.43
Erreur (%)	11.50	56.40	0.15	11.00	19.76

- Bien classifiée
- Pas confondue avec les autres classes



Résultats - Matrice de confusion selon les
différentes classes

← Sensibilité →

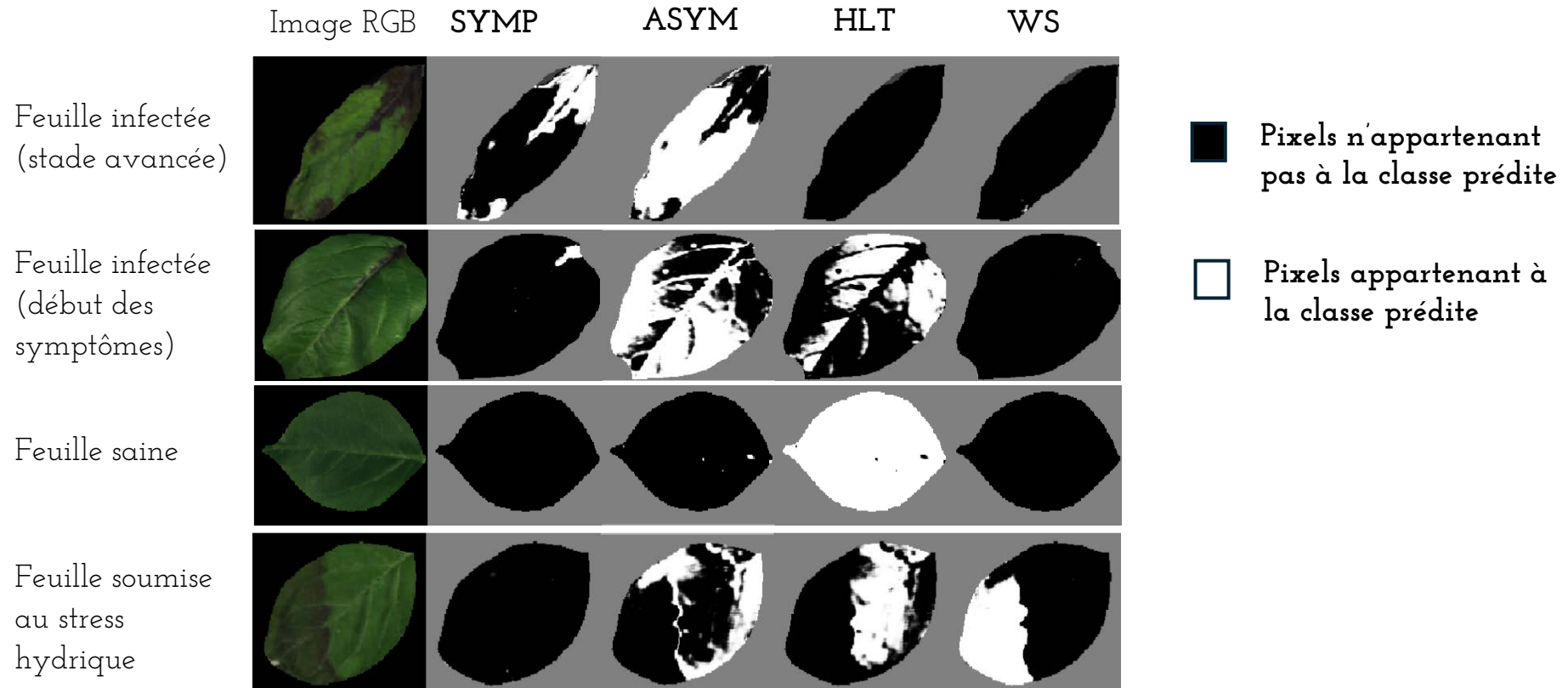
		Classes réelles				Erreur (%)
		SYMP	ASYM	HLT	WS	
Précision ↑ ↓	Classes prédites					
	SYMP	3540	0	0	74	2.04
	ASYM	407	1744	6	366	30.87
	HLT	1	2256	3994	0	36.10
	WS	52	0	0	3560	1.43
	Erreur (%)	11.50	56.40	0.15	11.00	19.76

- Bonne classification des classes « Symptomatique », « Saine », « Stress hydrique »
- Forte confusion de la classification « Asymptomatique »



Application de la méthode au feu bactérien

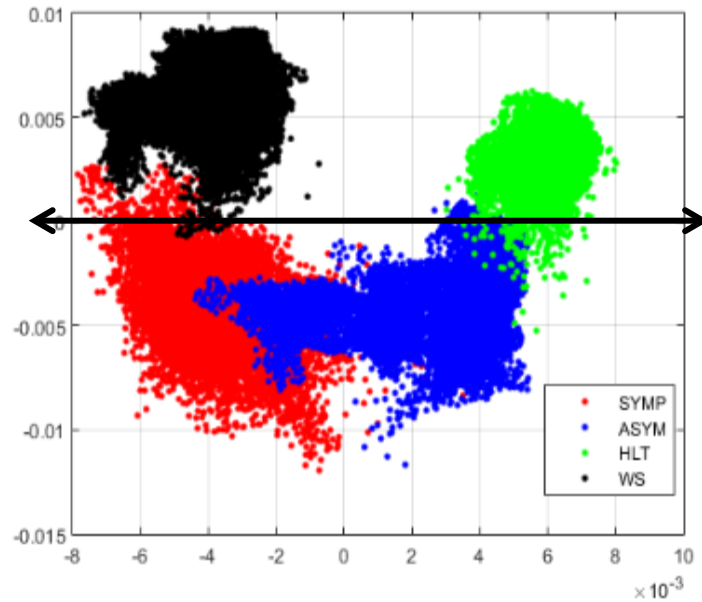
Résultats - Détection du feu bactérien à différent stades et par rapport différent classes



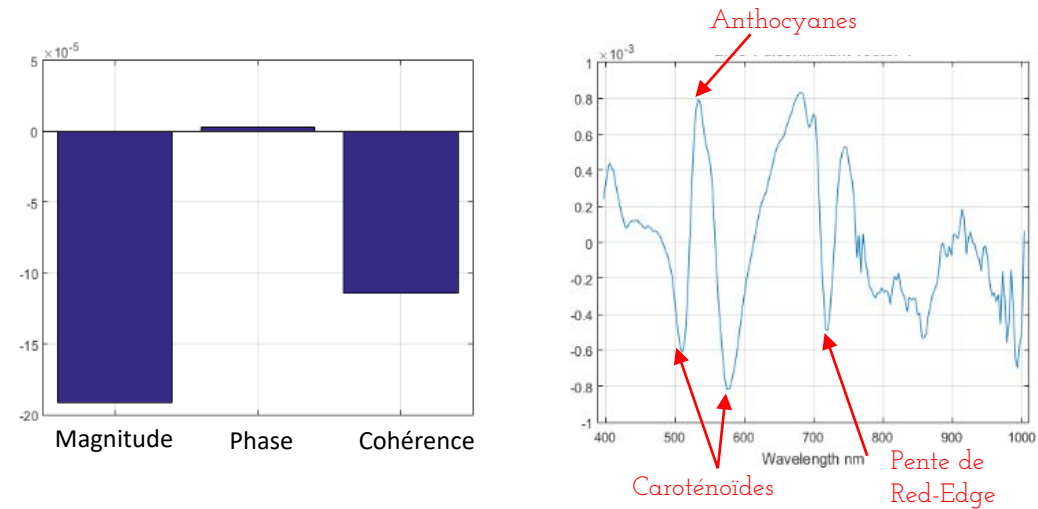


Résultats - Signature spatio-spectrale du feu bactérien par rapport différentes classes

Valeurs des scores par classes



Vecteur discriminant 1

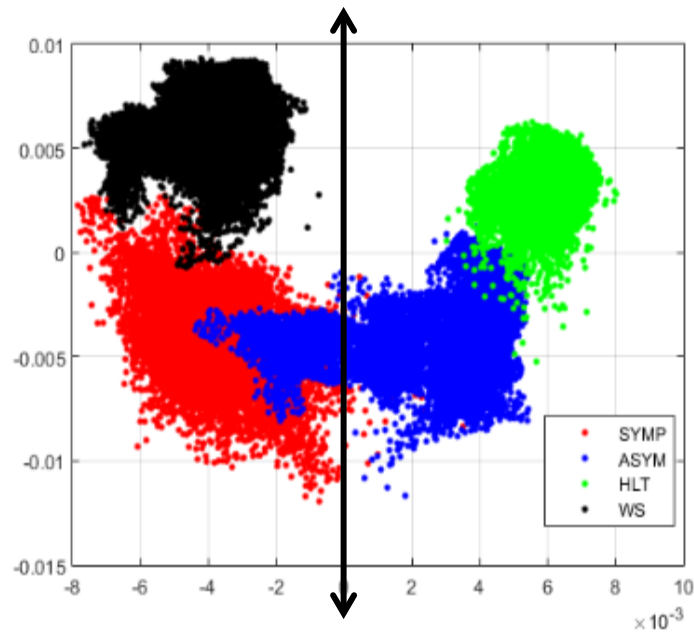


Axe 1 permet de distinguer les imagerie ayant une réponse de type nécrosée (classes « Symptomatique » & « Stress hydrique ») des imagerie ayant une réponse de type non nécrosée (classes « Asymptomatique » et « Saine »)

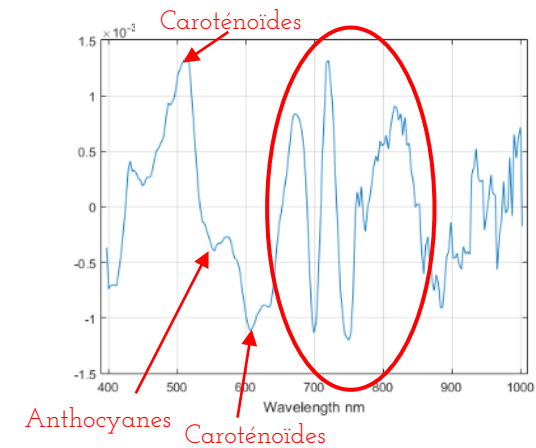
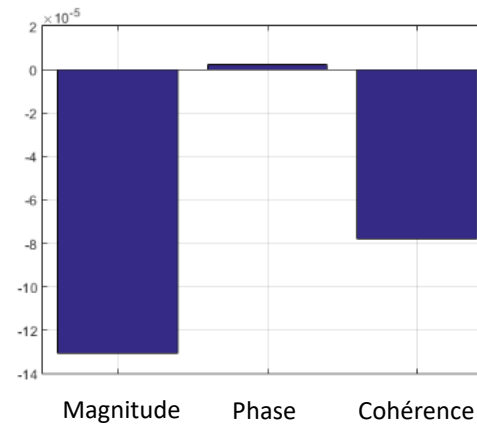


Résultats - Signature spatio-spectrale du feu bactérien par rapport différentes classes

Valeurs des scores par classes



Vecteur discriminant 2



Axe 2 permet de distinguer **entre elles, les imagerie ayant une réponse de type nécrosée** (classes « Symptomatique » ou « Stress hydrique »)

Contenu de la présentation

Contexte



Approche de recherche - méthodologie
* Combinaison des informations spatiale & spectrale

Application de la méthode au feu bactérien

- * Discrimination des signatures spatio-spectrales
- * Identification des zones spectrales informatives



Conclusions et Perspectives



Comment combiner les informations spatiales et spectrales contenues dans les images hyperspectrales ?

- Une approche permettant de **combiner les informations spatiales et spectrales des images hyperspectrales** avec les méthodes **multiblocs** a été proposée **Spatial-Spectral Processing Image**
- La méthode SSPI offre **une cadre méthodologique « flexible »** permettant **d'implémenter différentes méthodes d'analyses**



Peut-on discriminer la signature spatio-spectrale du feu bactérien d'autres signatures physiologiques ?

- L'imagerie hyperspectrale couplée à la méthode SSPI permet de détecter le feu bactérien
- La méthode SSPI permet de discriminer le feu bactérien d'une manière efficace dès l'apparition des premiers symptômes visibles
- La détection présymptomatique du feu bactérien **n'est pas encore optimale**, au vu de ces résultats