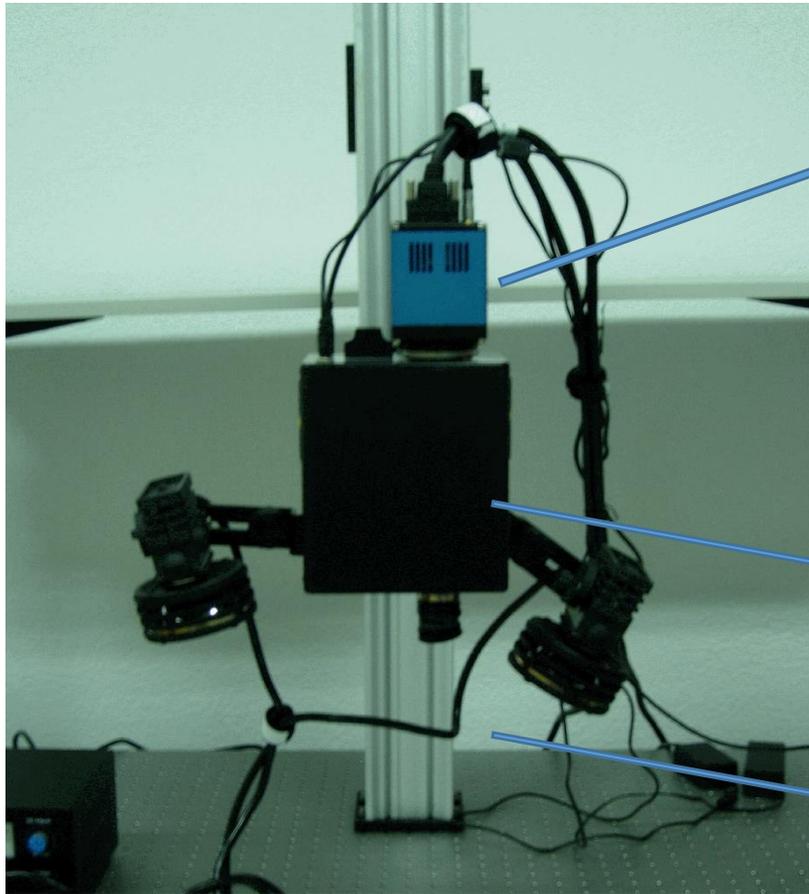


Systèmes d'acquisition d'images

- 1) Imagerie hyperspectrale
- 2) Imagerie hyperspectrale en fluorescence
- 3) Imagerie radar
- 4) Imagerie multispectrale RX

Partie 1: Caractérisation de feuilles par imagerie multispectrale en fluorescence

Intérêt de l'imagerie spectrale pour l'étude de la végétation ?



Imageur CMOS

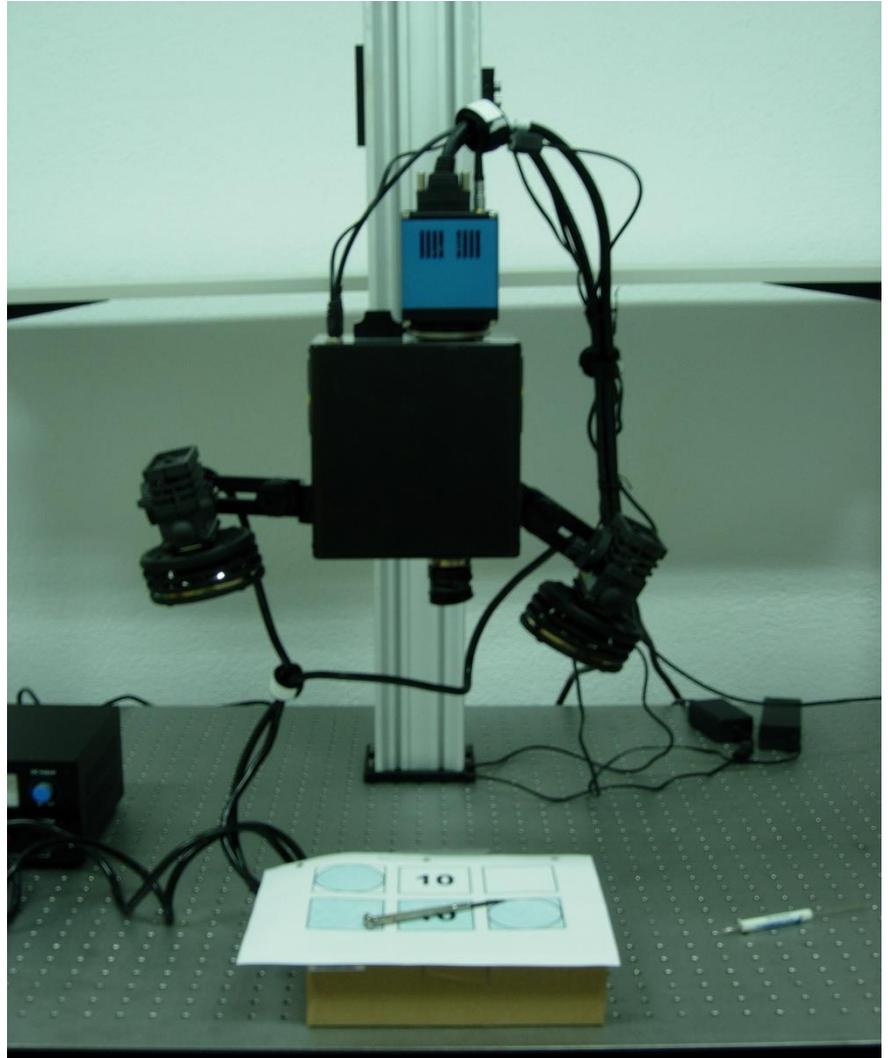
GSM Fresnel Marseille: système d'imagerie hyperspectrale

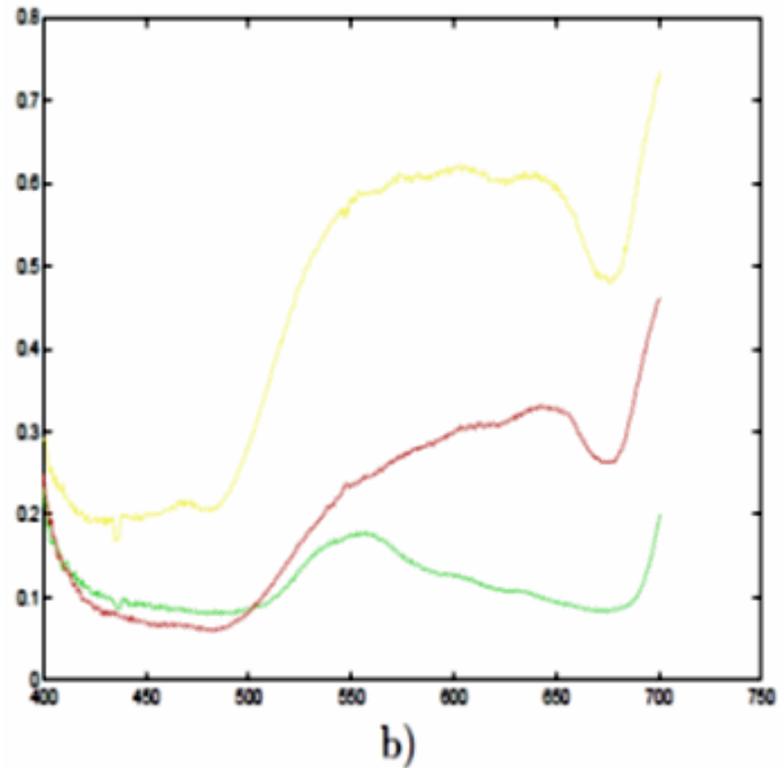
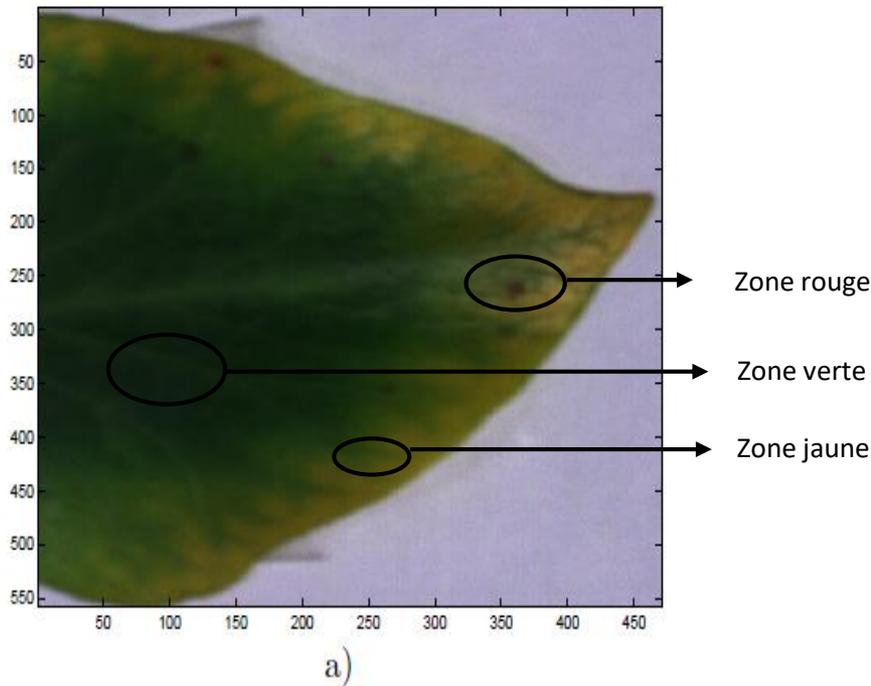
Spectrographe – analyseur de spectre

Lampe haute puissance et objectif

Caractéristiques de la caméra hyperspectrale

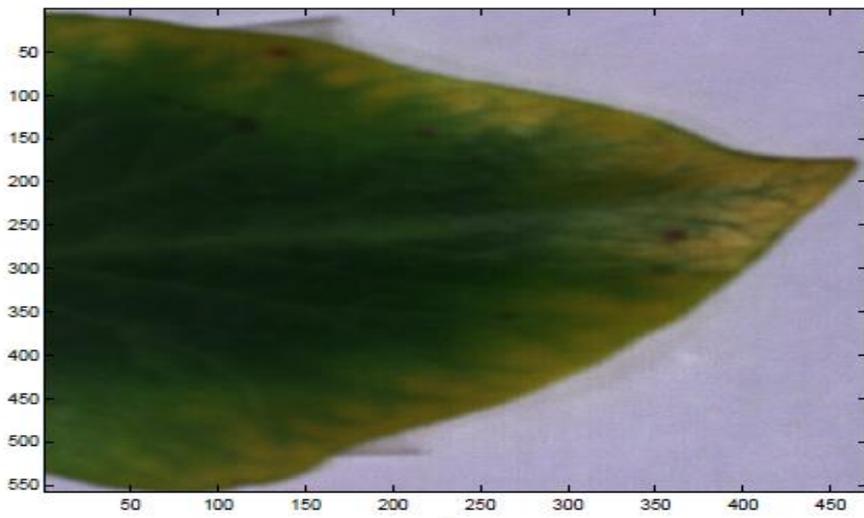
- caméra sCMOS VIS-NIR
- spectrographe à balayage linéaire 400 à 1000 *nm*
- résolution spectrale 0.6 *nm*, spatiale 80 μm à une hauteur de 27 *cm*
- angle de vue 30 *degrés*
- dynamique 16 *bits*
- deux lampes lumière blanche



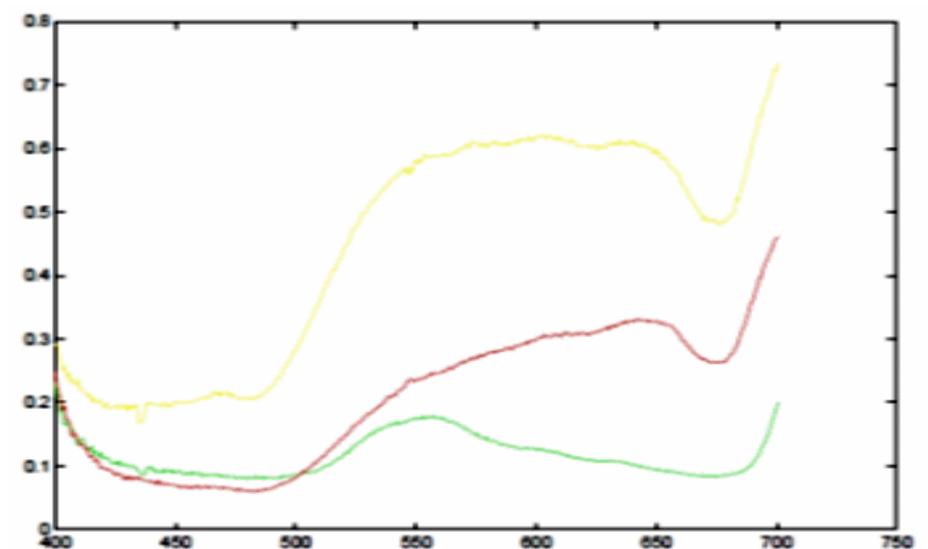


a) Image obtenue par le système d'acquisition

b) Spectres moyens: vert, jaune et rouge

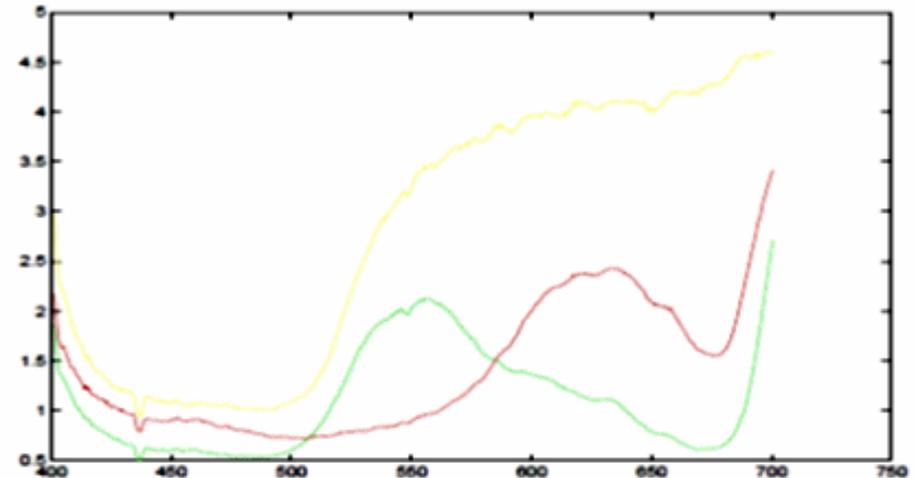
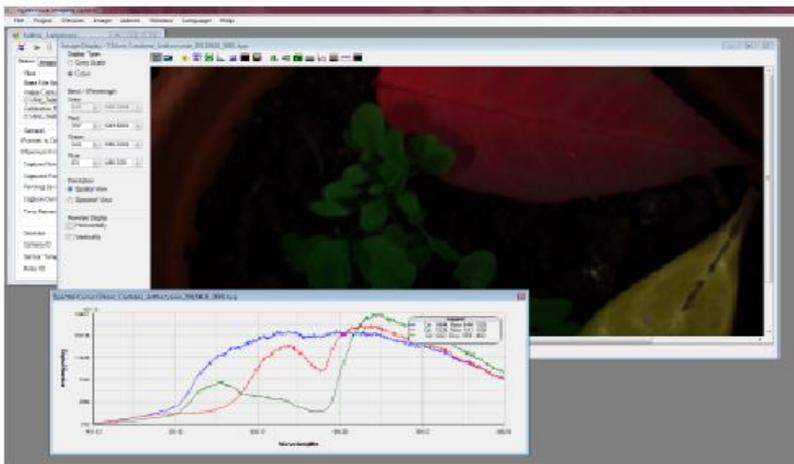


a)



b)

Spectres extraits de la feuille étudiée



a)

Chlorophylle, carotène, anthocyanine

*Adaptation de VCA vertex component analysis:
extraction de spectres purs*

Pixels spectraux, mélanges linéaires

$$\mathbf{r} = \mathbf{M} * \mathbf{a}$$

\mathbf{r} : pixel spectral observé

- $\mathbf{M} = [\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_p]$: spectres purs
- $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_p]^T$: abondances
- p nombre de spectres purs

Deux contraintes prises en compte par VCA :

$$0 \leq a_k \leq 1, k=1,\dots,p \quad \text{Positivité des éléments de } \mathbf{M} \text{ et } \mathbf{a}$$

$$\sum a_k = 1 \quad \text{Somme unitaire des abondances}$$

→ \mathbf{r} appartient à un simplexe dont les sommets sont les pixels purs

*initialisation \mathbf{M} , \mathbf{f}

*projection orthogonale \mathbf{r} , sur \mathbf{f}

*recherche de l'indice du spectre qui maximise cette projection chlorophylle, carotène, anthocyanine \longrightarrow

*génération de \mathbf{f} , orthonormal aux colonnes de \mathbf{M}

Algorithm 1 VCA

Entrée : p et $\mathbf{R} = [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_n]$

$\widehat{[\mathbf{M}]} = \mathbf{0}$, matrice de mélange estimée de taille $L \times p$;

$\mathbf{f} = [1, 0, \dots, 0]^T$ vecteur de taille $L \times 1$

for $j \in [1, p]$ do

$\mathbf{y} = \mathbf{f}^T * \mathbf{R}$;

$k = \underset{i=1, \dots, n}{\operatorname{argmax}} \|Y(i)\|$

$\widehat{[\mathbf{M}]_{:,j}} = |\mathbf{R}|_{:,k}$

générer un vecteur \mathbf{f} orthonormal qui engendre $(\widehat{[\mathbf{M}]_{:,1:j}})$

$\mathbf{f} = \operatorname{orthonormal}(\widehat{[\mathbf{M}]_{:,1:j}})$

end for

Résultat: spectres purs estimés par VCA

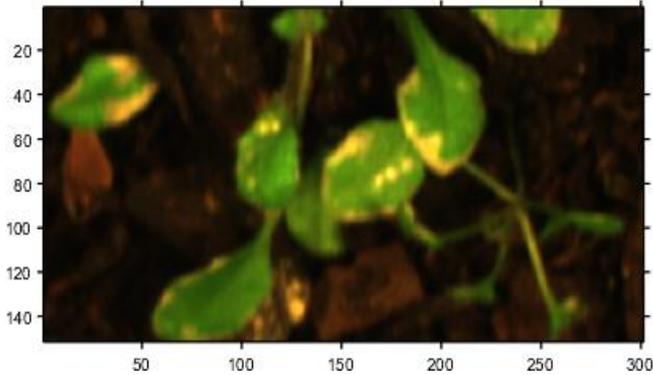
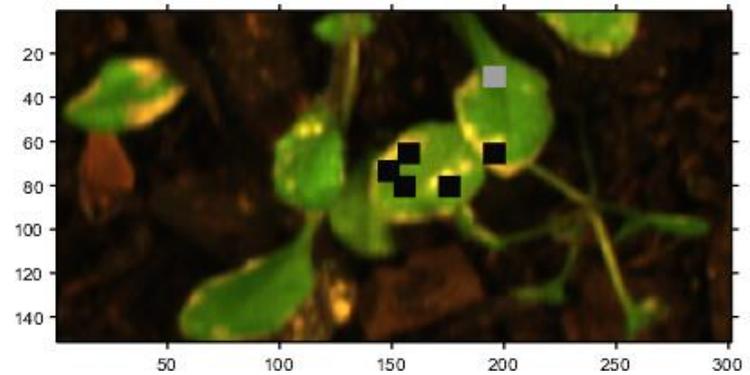
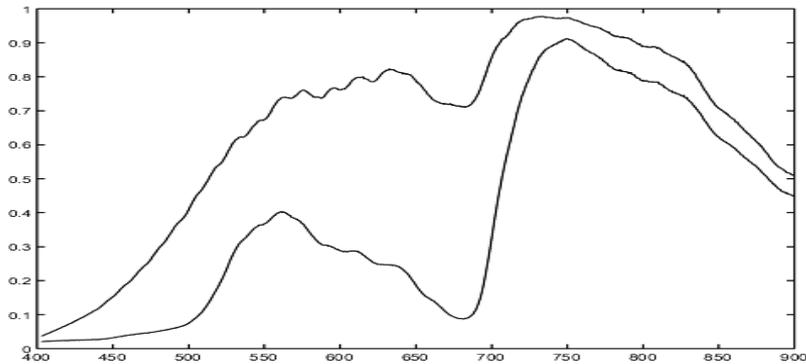


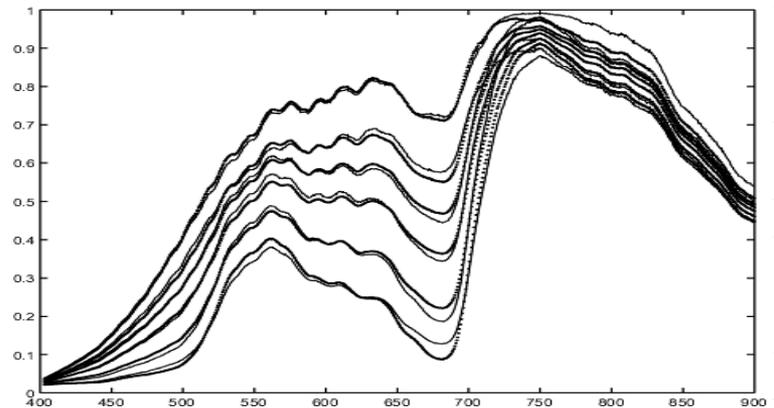
Image acquise



Localisation des spectres extraits



Spectres purs estimés



Spectres extraits de l'image et spectres reconstruits à partir des spectres purs

Inversion de matrice:

Estimation des abondances ou contribution des spectres purs

- Pour plusieurs spectres extraits de l'image, colonnes de \mathbf{R} :

$\mathbf{R} = \mathbf{M} * \mathbf{A}$, avec \mathbf{A} matrice des abondances

$$\mathbf{Ae} = \text{inv}(\mathbf{M}) * \mathbf{R}$$

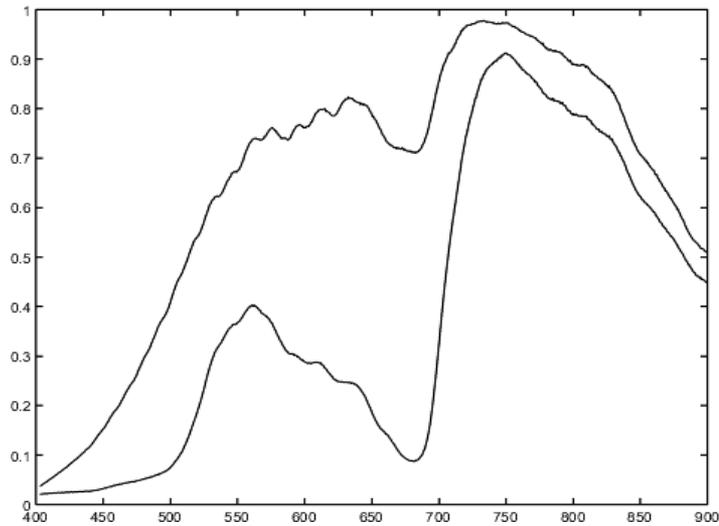
- Critère d'évaluation des résultats:

Erreur de reconstruction des spectres;

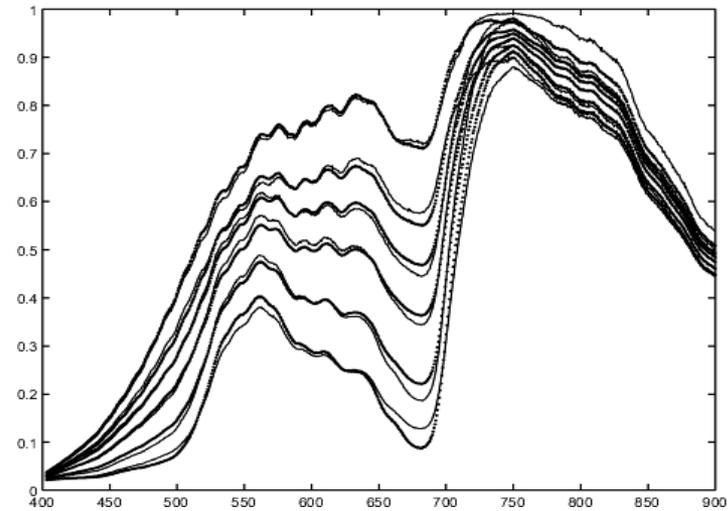
Somme à 1 des colonnes de \mathbf{Ae} .

Résultat: matrice de mélange estimée

$$A_e = \begin{bmatrix} 0 & 0.2573 & 0.3898 & 0.5578 & 0.7861 & 1 \\ 1 & 0.7427 & 0.6102 & 0.4422 & 0.2139 & 0 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{Contribution chlorophylle} \\ \text{Contribution carotène} \end{array}$$



M



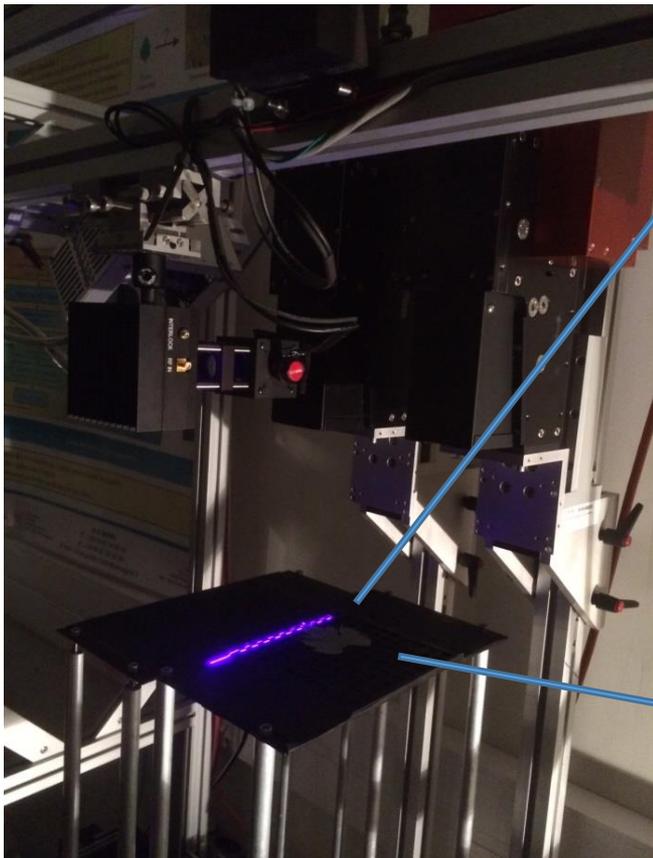
R (Er=0.005)

Bilan

- ✓ Caméra hyperspectrale VIS-NIR
- ✓ Caractéristiques spatiales et spectrales d'une feuille
- ✓ Identification des pigments par des feuilles qui contiennent les pigments purs
- ✓ Modélisation des pixels spectraux sous forme de mélanges linéaires
- ✓ VCA pour l'extraction des spectres purs
- ✓ Inversion de matrice pour la contribution de chaque pigment aux spectres extraits

Partie 2: Caractérisation de feuilles par imagerie hyperspectrale

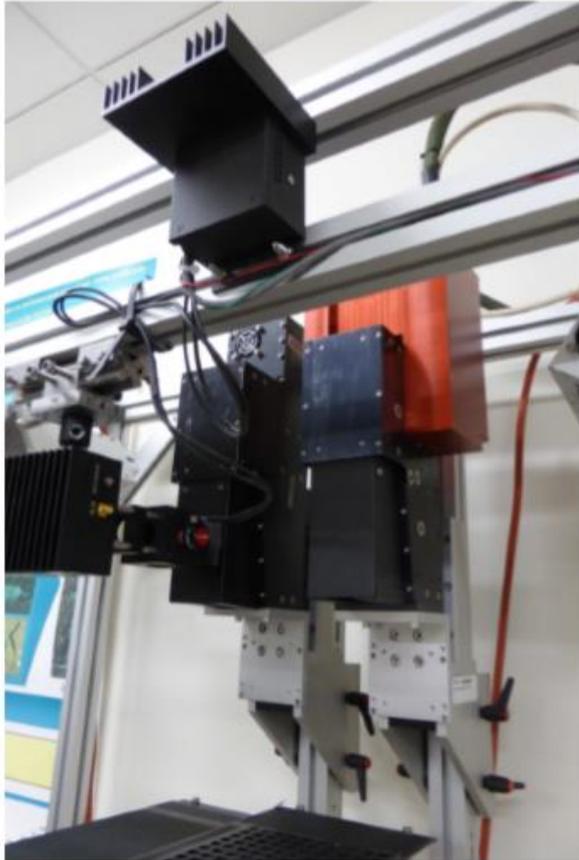
Intérêt de l'imagerie spectrale pour l'étude de la végétation ?



Pinceau lumineux violet très énergétique

IRSTEA Montpellier: système d'imagerie hyperspectrale en fluorescence

Feuille d'arbre à analyser



Imagerie hyperspectrale en fluorescence
IRSTEA Montpellier

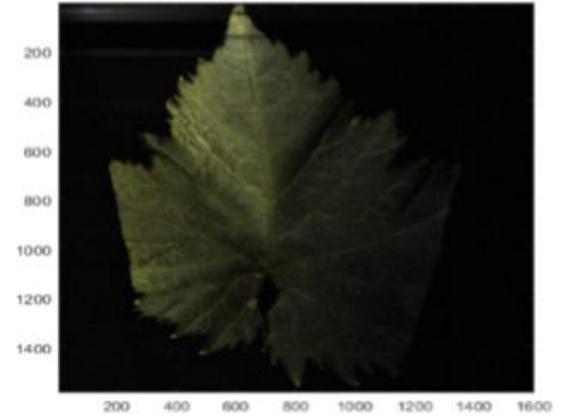
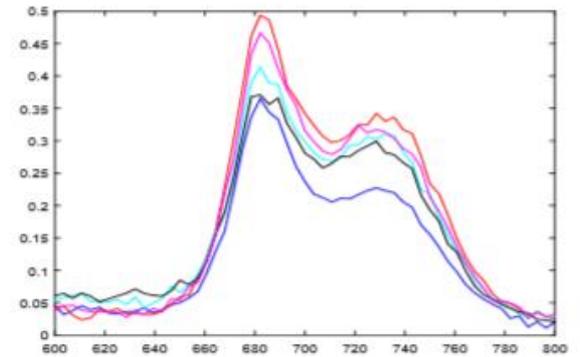


Image en émission



Spectre d'émission 600 - 800 nm

➤ Images acquises dans les meilleures conditions

Temps d'exposition élevé, source de lumière de forte puissance



Zoom 1



Zoom 2

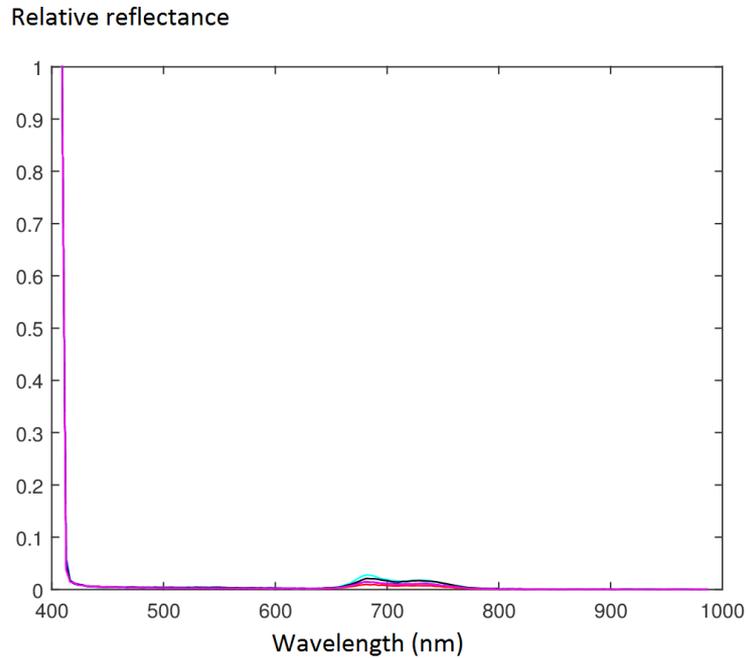


Zoom 3

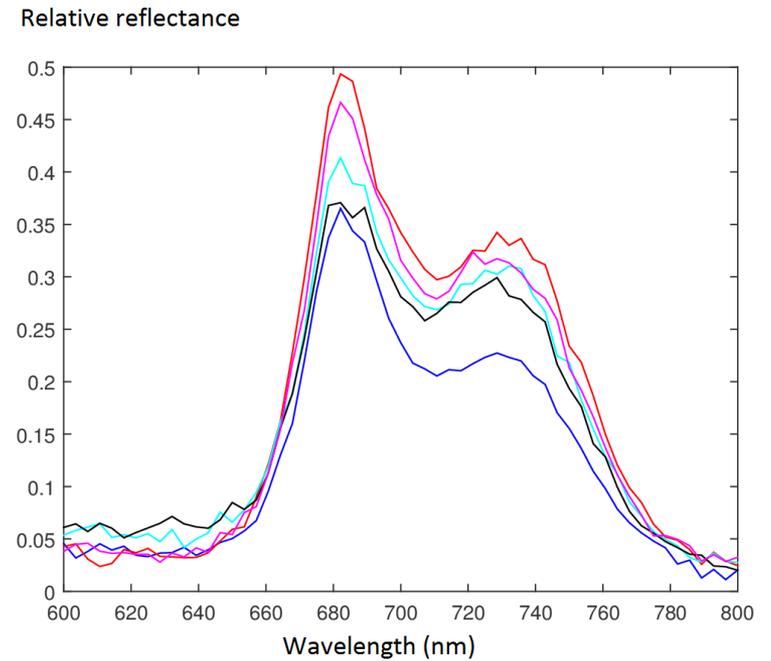
Représentation RGB: sélection de 3 bandes dans ... le rouge !

➤ Pourquoi dans le rouge ?

Spectre entre 400 et 1000 nm



Spectre entre 600 et 800 nm



Une lumière 'fluorescente' est émise par la feuille dans le rouge et le proche infra-rouge !

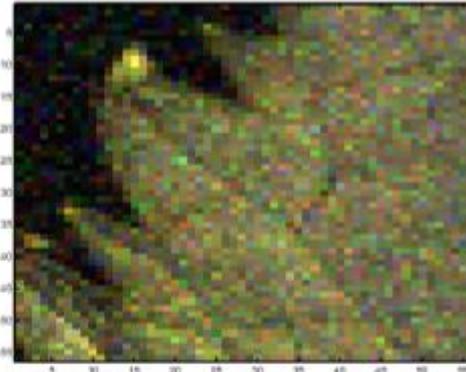
- Dans des conditions moins favorable: il est nécessaire de débruiter !

Transformée en ondelettes multidimensionnelle et ...

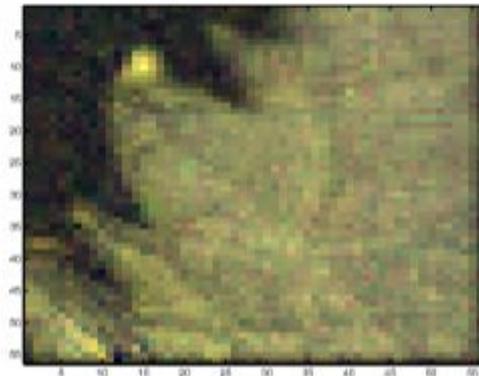
Méthode d'optimisation bio-inspirée: particle swarm optimization ou PSO
qui s'inspire du comportement des oiseaux pour trouver le minimum global d'une fonction



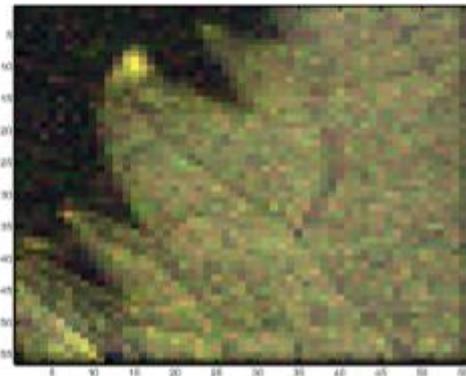
optimale



bruitée 10 dB



PSO 12.5 dB



PSO itératif 12.6 dB

Résultats de débruitage

Bilan

- ✓ Eclairée par une lumière violette, une feuille d'arbre émet de la lumière rouge.
- ✓ Les images multispectrales ou hyperspectrales acquises sont bruitées si le temps d'exposition est 'faible', i.e. 100 ms
- ✓ Elle émet dans une autre longueur d'onde lorsqu'elle n'est pas saine. Ce résultat de l'état-de-l'art doit être vérifié avec notre méthodologie

Partie 3: Caractérisation d'objets par imagerie millimétrique

**Peut-on différencier une pomme saine d'une pomme abimée à l'aide d'imagerie
Microonde ?**



Pomme saine



Mesure du champ diffracté



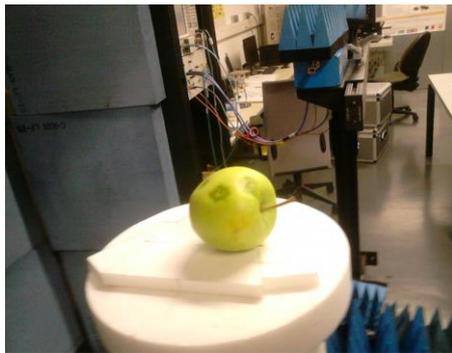
???



Pomme saine ?
Pomme abimée?



Mesure du champ diffracté



Pomme abimée



Exemples d'objets imagés

Potentially dangerous objects



Hidden fake gun and knife



Fake gun

Common concealed objects under clothes



Keys

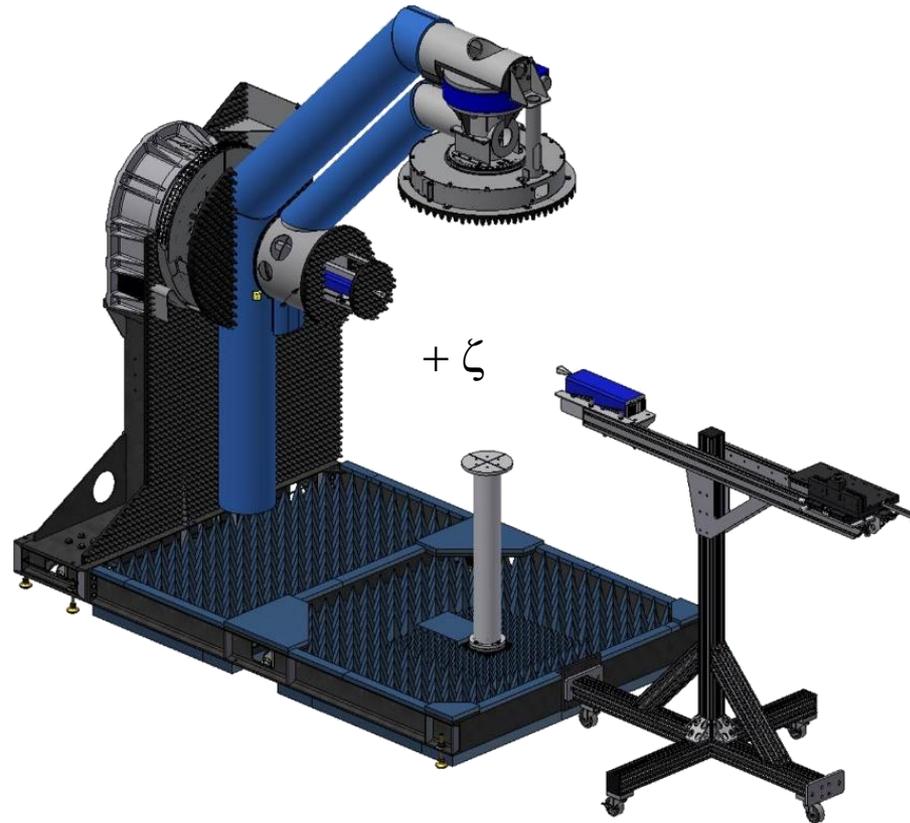


Smartphone



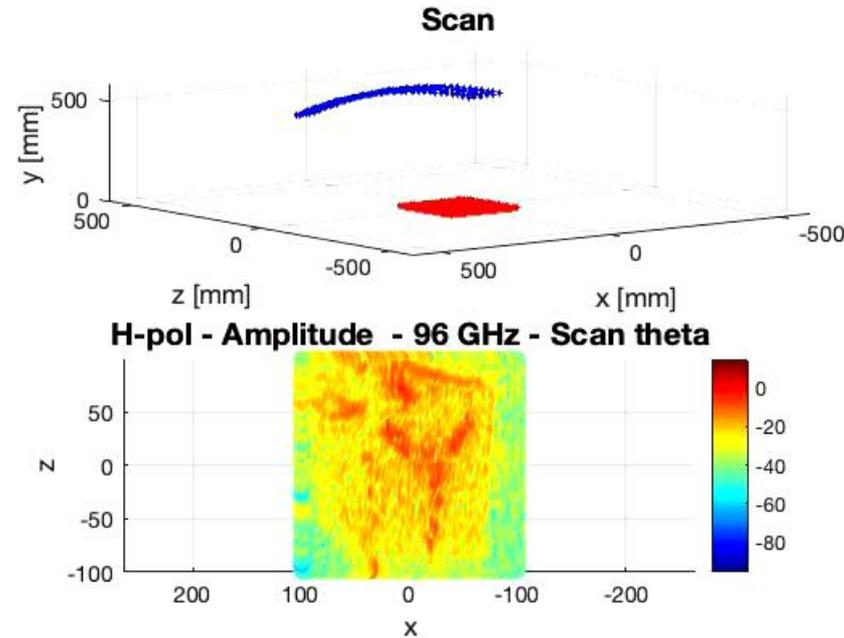
Leather jacket used to conceal the objects

Expérience de scan: illustration



- Ondes millimétriques (MmW mmeter wave)

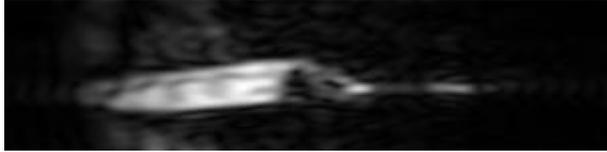
Expérience de scan: illustration



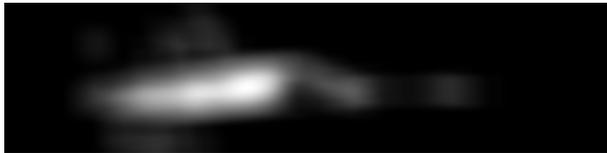
■ MmW images

- Identification : 😊 Possible quand le scanner est à la vertical de l'objet
- Mise en oeuvre : 😞 difficile car le temps de mesure est élevé

Traitement des images radar



- Image à traiter



- Filtre passe-bas: filter Gaussien moyennneur



- Segmentation: Seuil d'Otsu



- Morphology Mathématique :
 - Erosion pour supprimer les pixels parasite
 - Dilatation pour reconnector les objets isolés
 - Un élément structurant 'Se' doit être choisi

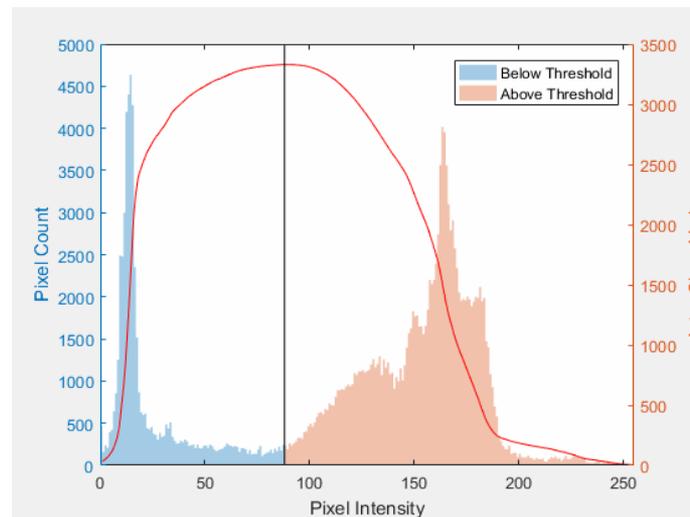
Méthodes de traitement

- **Seuil d'Otsu** : choix automatique d'une valeur pour binariser l'image
- La valeur de seuil est la frontière entre deux classes, qui permet de minimiser la variance dans les classes, ou de façon équivalente de maximiser la variance entre les classes.



Image à traiter

Image binarisée



Choix du seuil

- **Morphology mathématique:** utilisée usuellement sur des images binaires pour ‘nettoyer’ une image des pixels parasites tout en préservant la forme des objets d’intérêt.
- Principaux opérateurs de morphologie mathématique: érosion, dilatation, ouverture, fermeture.
- Toutes les opérations impliquent un ‘élément structurant’.

Exemple avec un élément structurant de taille 1 pixel

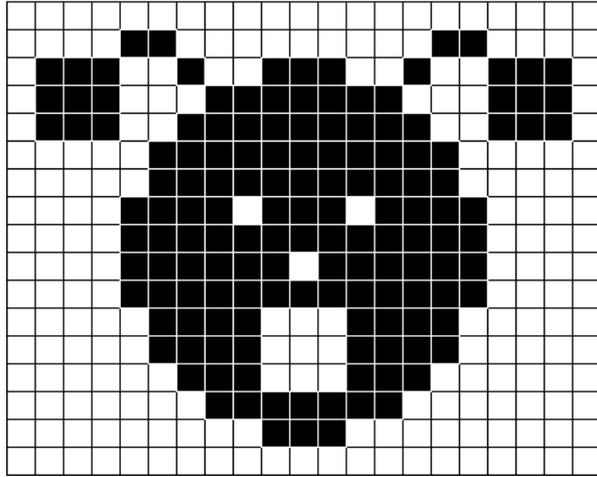
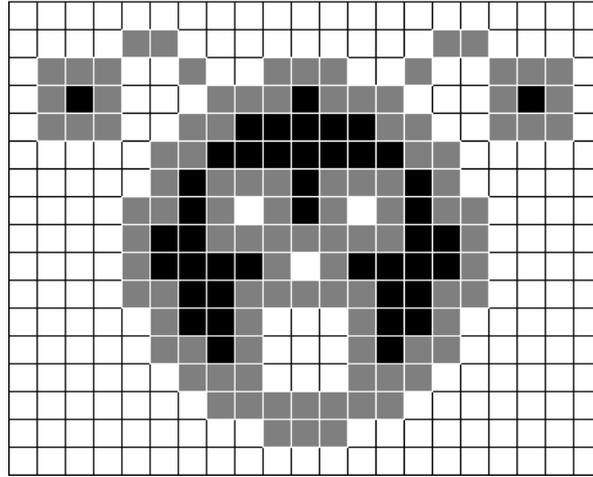
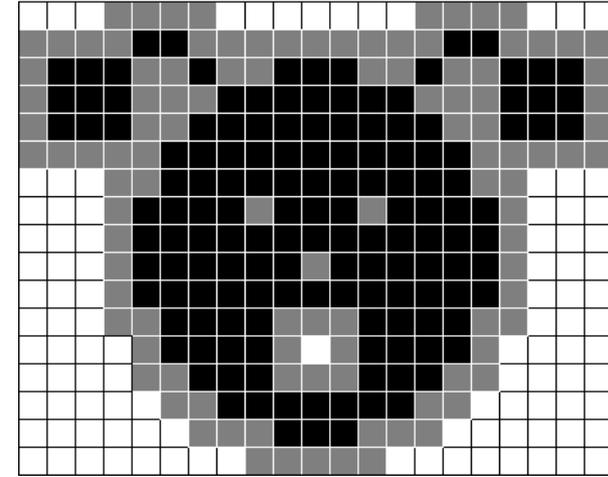


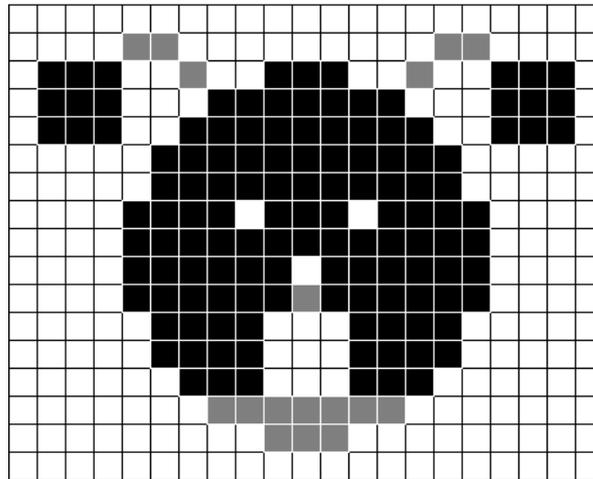
Image à traiter



Erosion



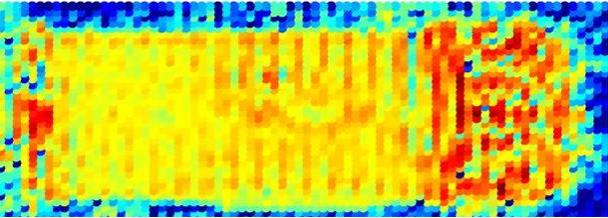
Dilatation



Ouverture: érosion suivie d'une dilatation

Resultat: image 'débruitée'

smartphone (94 GHz)



images mmW

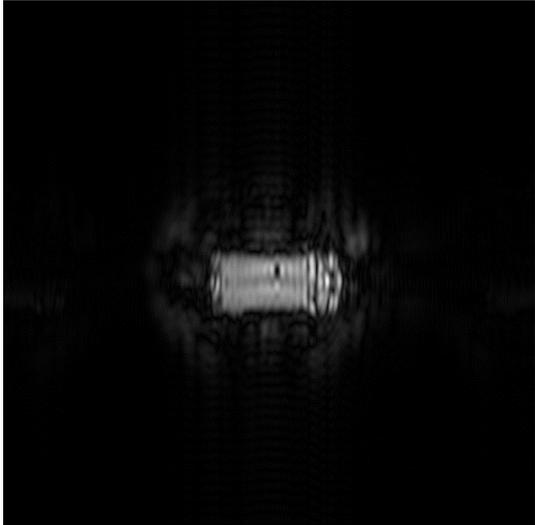
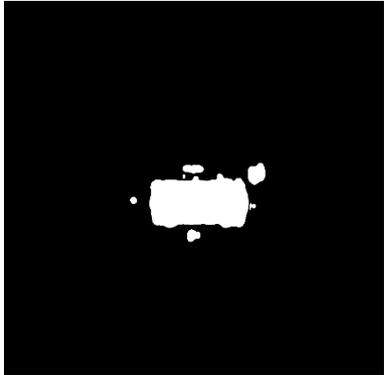
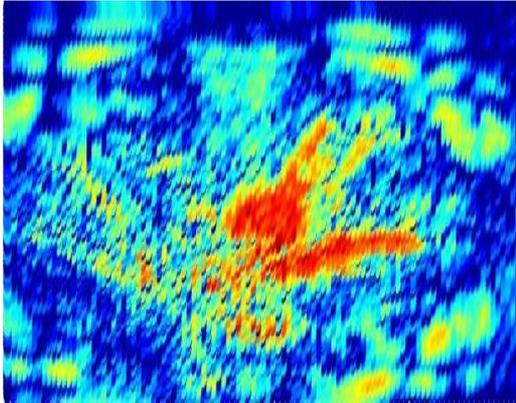


Image à traiter



Images segmentées

Clés (94 GHz)



images mmW

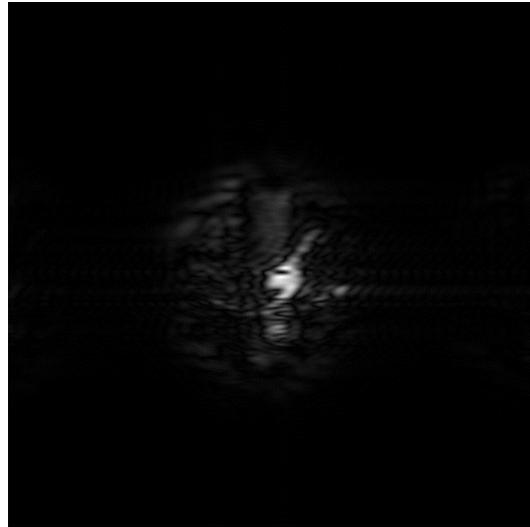
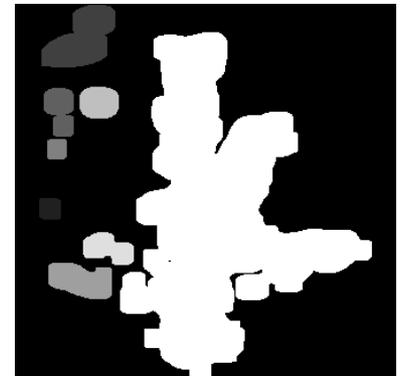
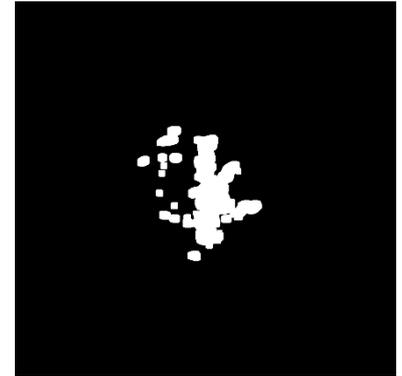
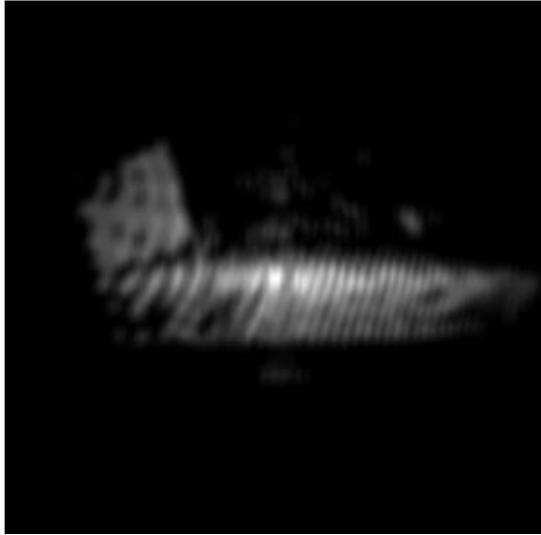


Image à traiter



Images egmentées

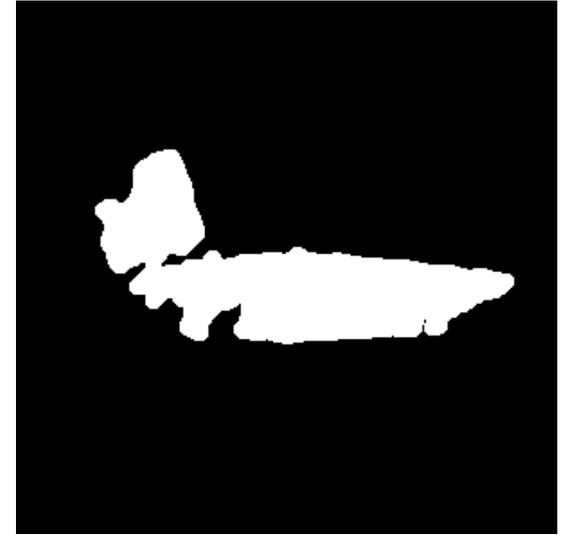
Exemple avec un faux pistolet



Processed image

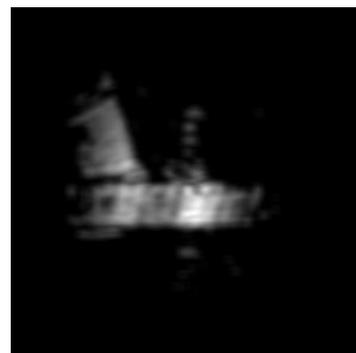
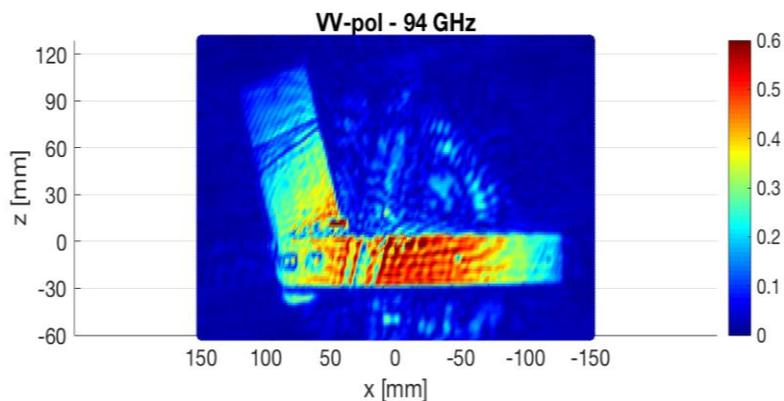
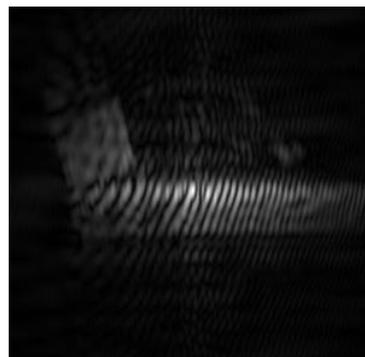
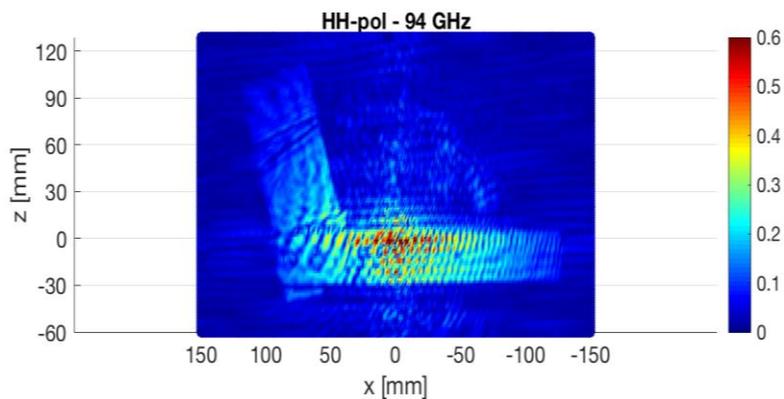


Threshold



Opening

Polarisations H et V (94 GHz)

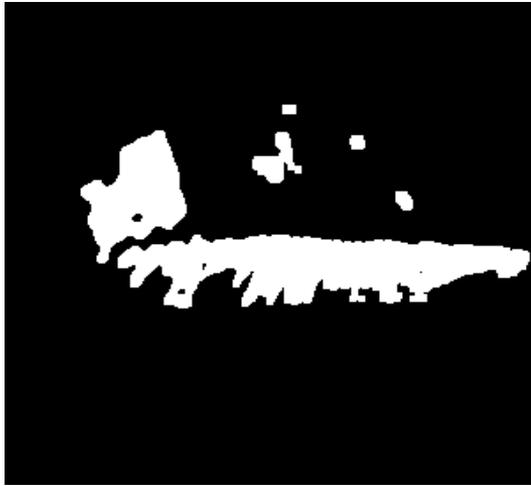


Images mmW

Images à traiter

Images segmentées

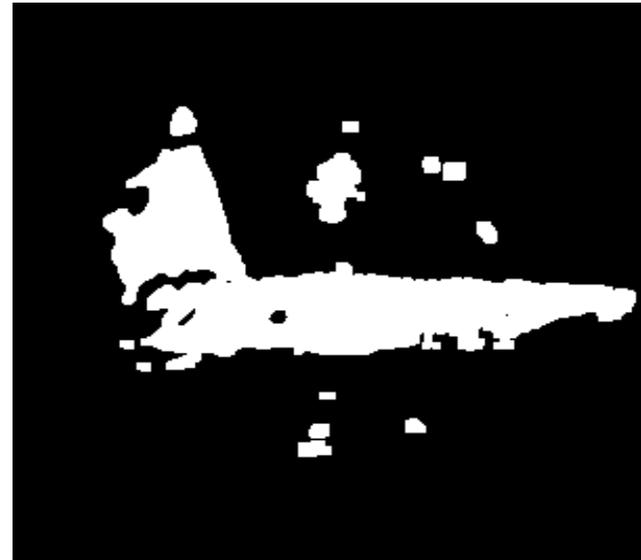
Polarisations H et V



+



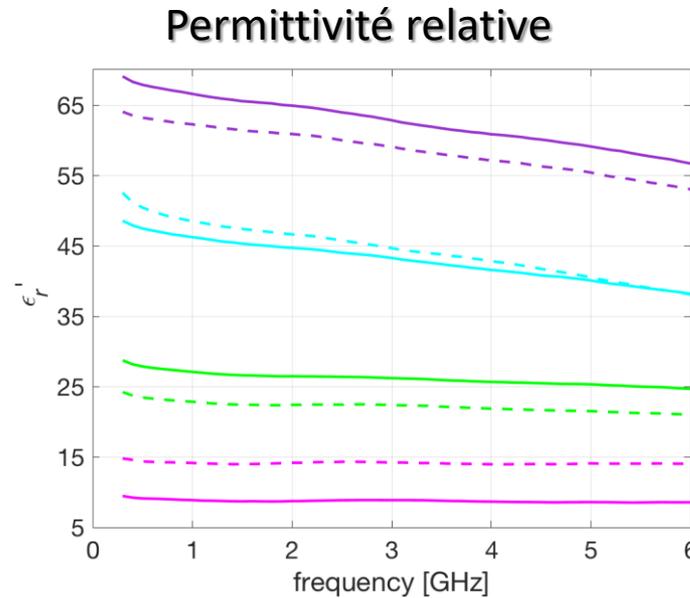
=



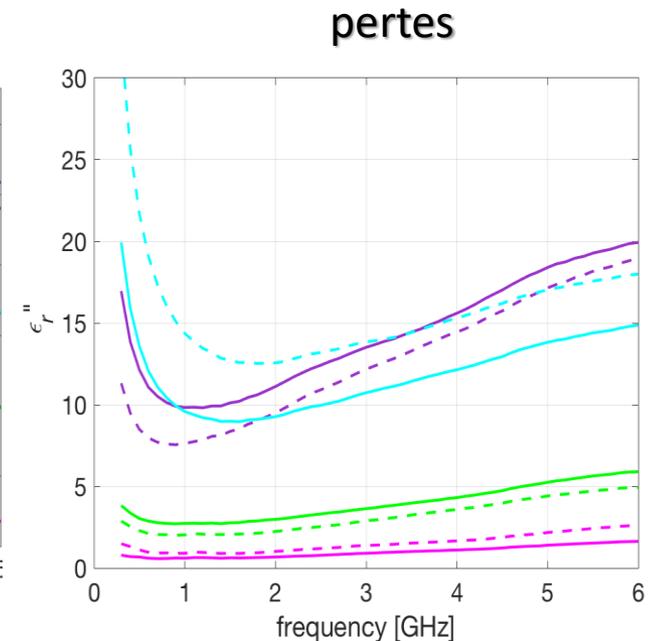
Combinaison des polarisations
HH et VV.

Problématique: tri de pommes

Peut-on différencier une pomme saine d'une pomme abimée ?



Ligne continue : pomme n°1
Ligne pointillée: pomme n°2

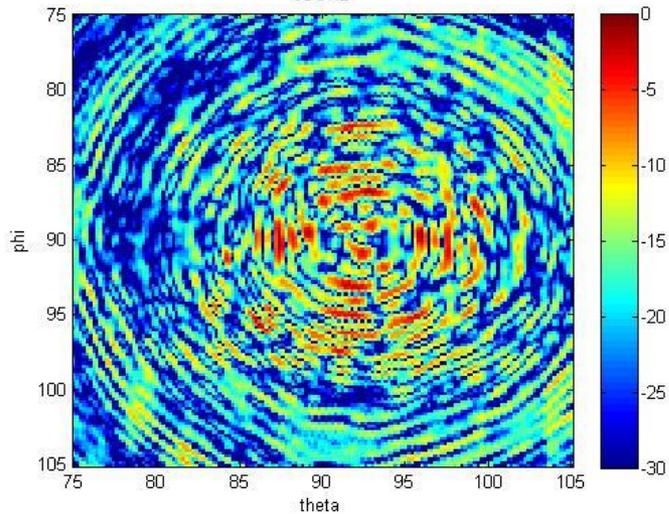


En violet: la chaire de la pomme saine
En cyan : la chaire de la pomme abimée
En vert : la peau de la pomme saine
En magenta : la peau de la pomme abimée

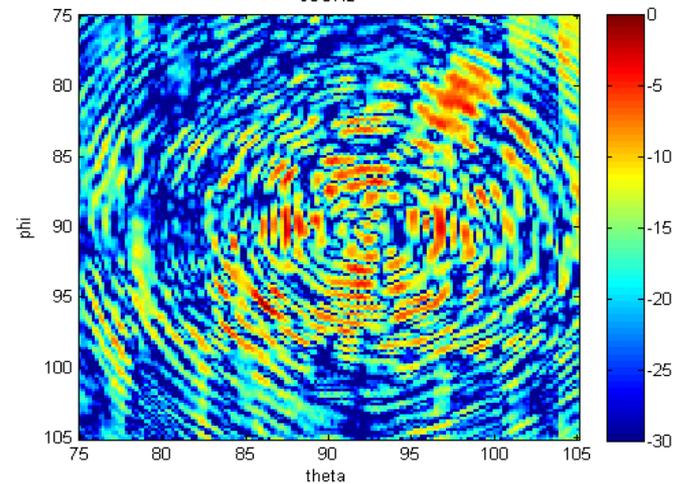
Mesures millimétriques



Amplitude -Petite Pomme TF2D--HH
96GHz

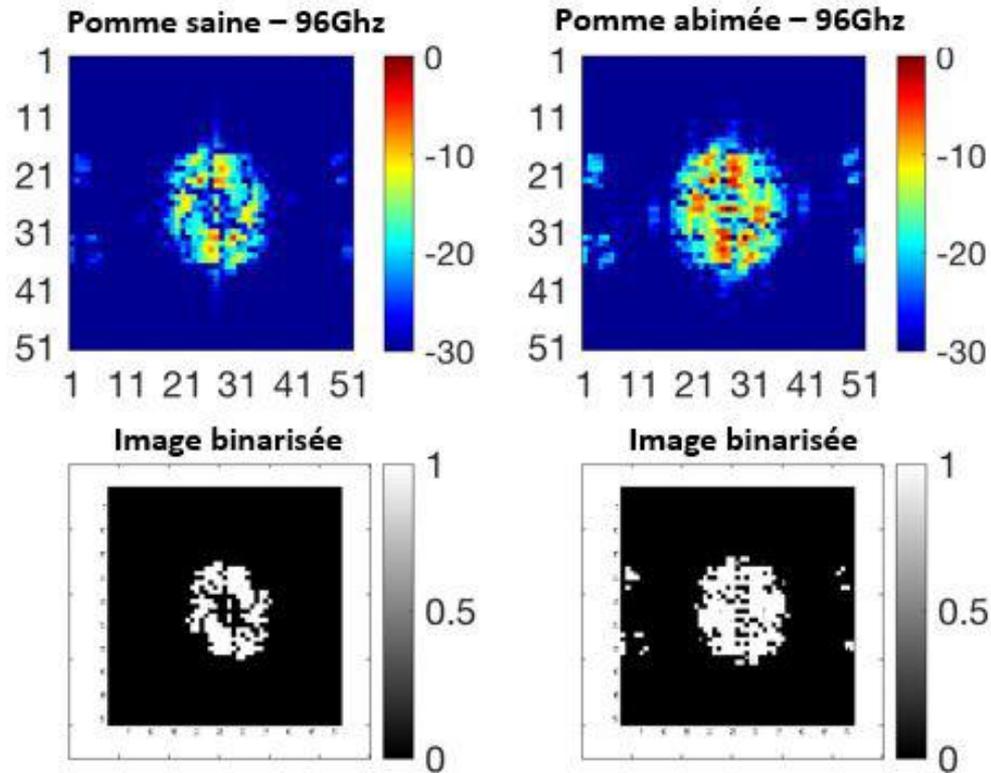


Amplitude -Petite Pomme abimée TF2D--HH
96GHz

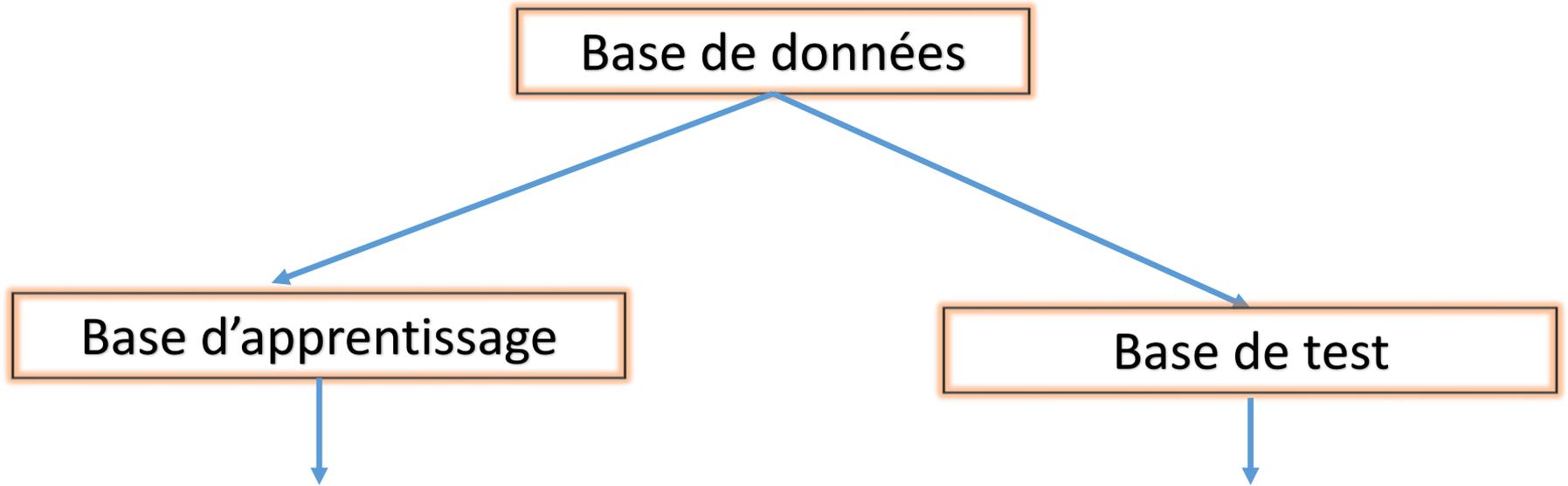


Segmentation des images

- Méthode de seuillage -> *graytresh*



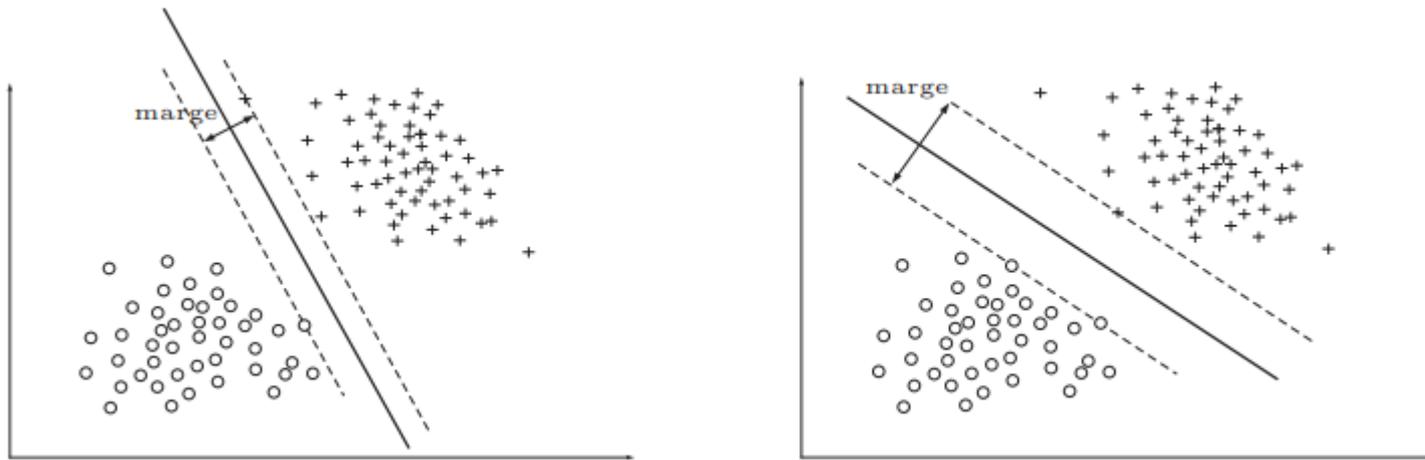
Base d'apprentissage et de test



- ✓ Apprendre les caractéristiques des deux classes.
- ✓ Hyperplan de séparation

- ✓ Classifier des données inconnues

SVM



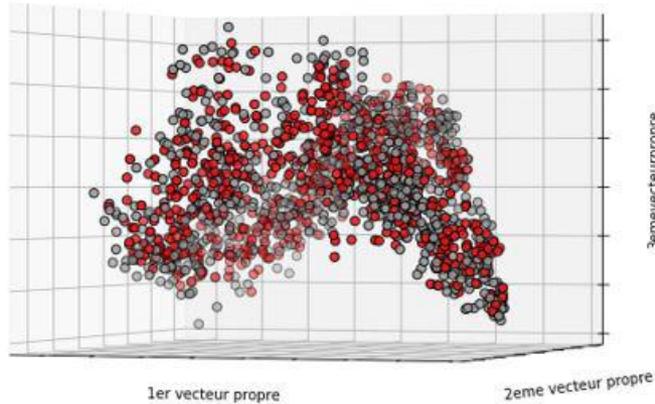
Faible marge : *probablement de faibles performances en généralisation*

Large marge : *probablement de bonnes performances en généralisation*

Résultats

- : Pomme Abimée
- : Pomme saine

PCA directions

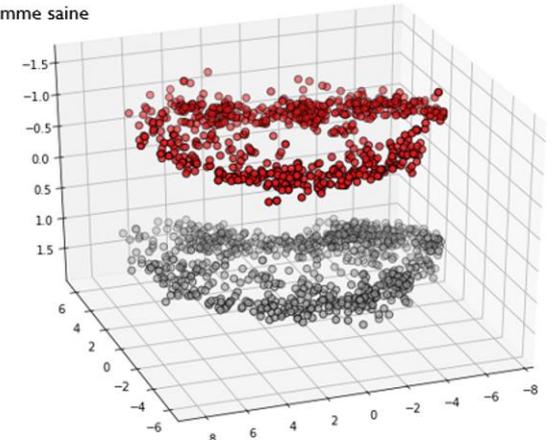


Base de données

Pommes	Saines	Abimées
Saines	86	1
abimées	3	92

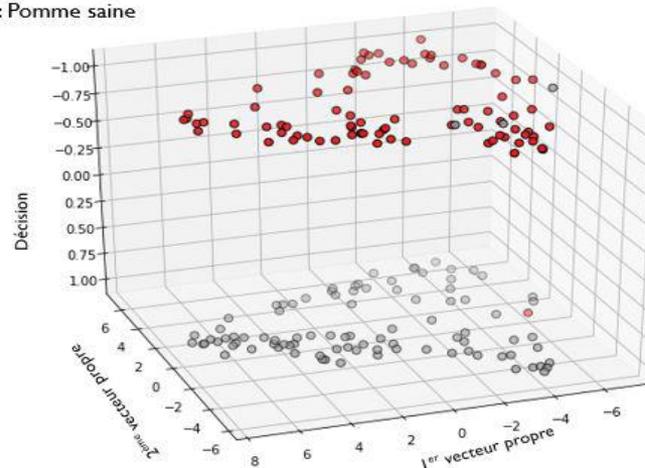
SVM non linéaire
 $C; \gamma = 100; 0,01$

- : Pomme Abimée
- : Pomme saine



Base de d'apprentissage
après séparation et
classification

- : Pomme Abimée
- : Pomme saine



Performance de
98%

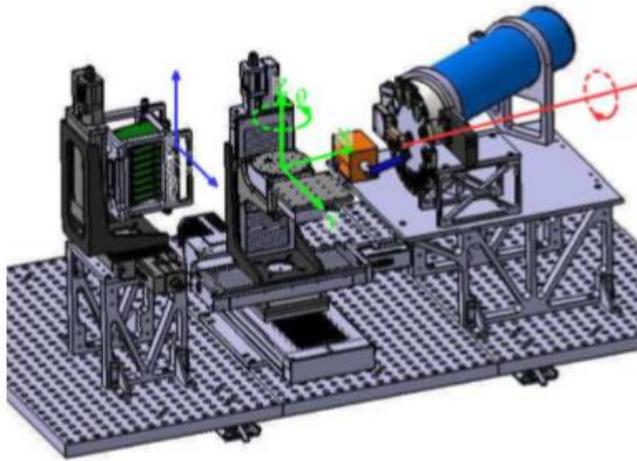
Base de test

Bilan

- ✓ L'imagerie radar micro-onde permet de traverser les feuilles et de caractériser les fruits;
- ✓ En imageant une pomme à la fois, il semble possible de distinguer une pomme saine d'une pomme abîmée
- ✓ La méthodologie doit être testée sur d'autres fruits

Partie 4: Imagerie RX multispectrale

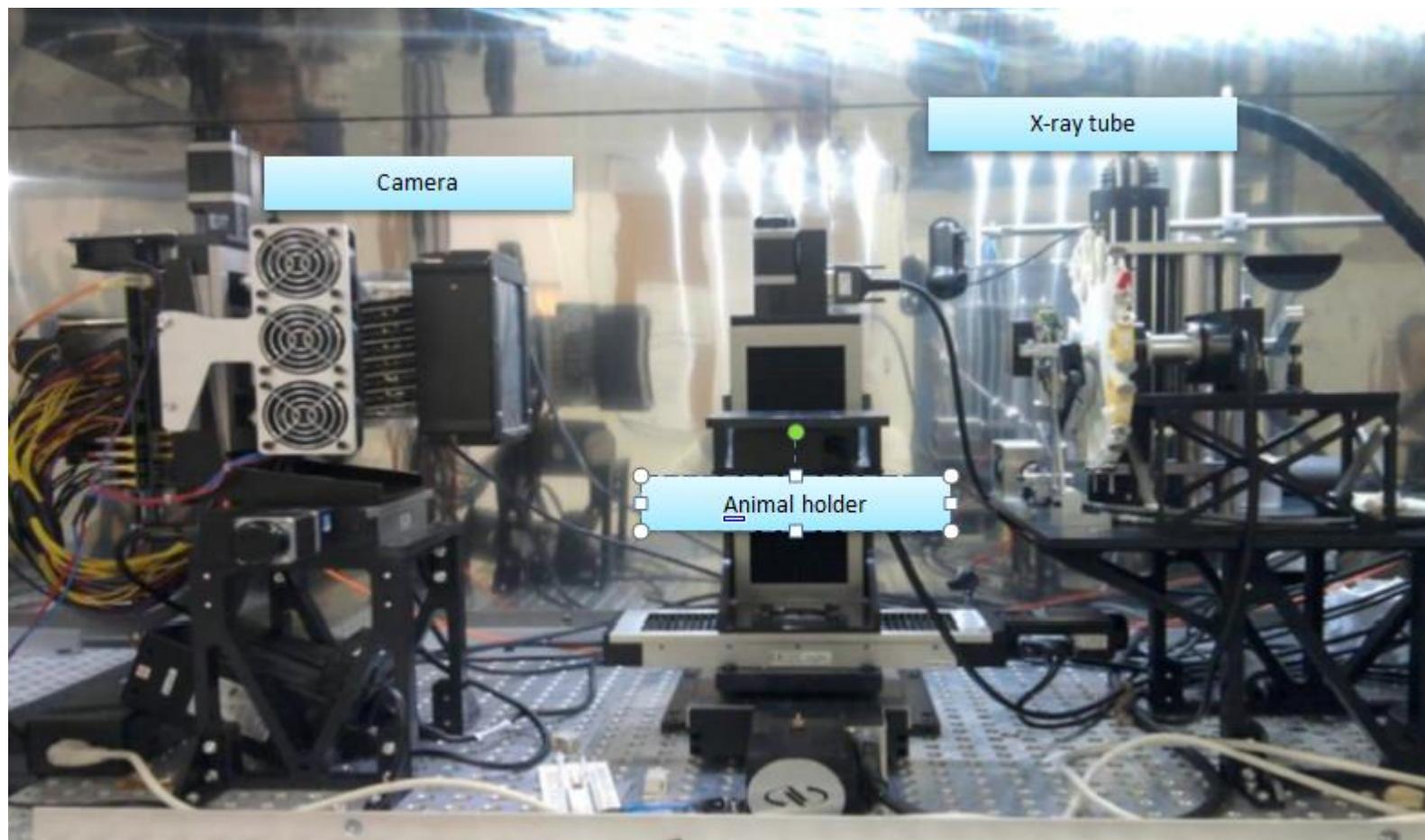
Intérêt de la tomographie RX pour l'étude du petit animal ?



Tomographie RX multispectrale 3 bandes
CPPM Luminy



Partie 4: Imagerie RX multispectrale



Partie 4: Imagerie RX multispectrale

CPPM : scanner X-ray CT computer tomography

basé sur des pixels hybrids ultra-rapides

En collaboration avec l'institut de développement biologique

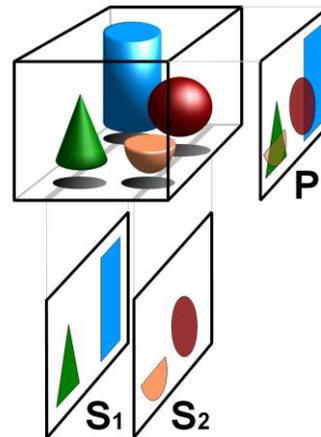


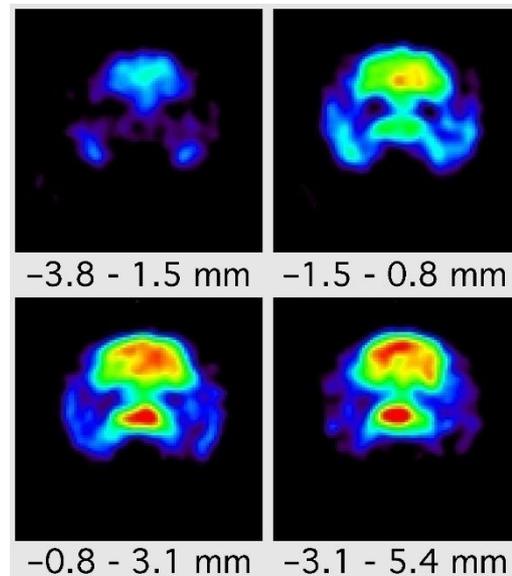
Schéma de principe de la tomographie avec : P une projection et S1 et S2 les coupes reconstruites du volume constitué d'un cône, une demi-sphère, une sphère et un cylindre

Partie 4: Imagerie RX multispectrale

CPPM : scanner X-ray CT computer tomography

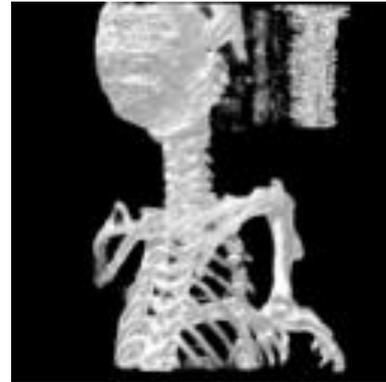
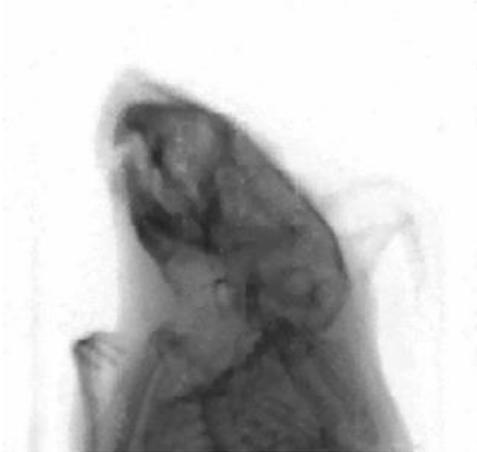
basé sur des pixels hybrides ultra-rapides

En collaboration avec l'institut de développement biologique



Problématique

Comment imager les parties internes du petit animal ?

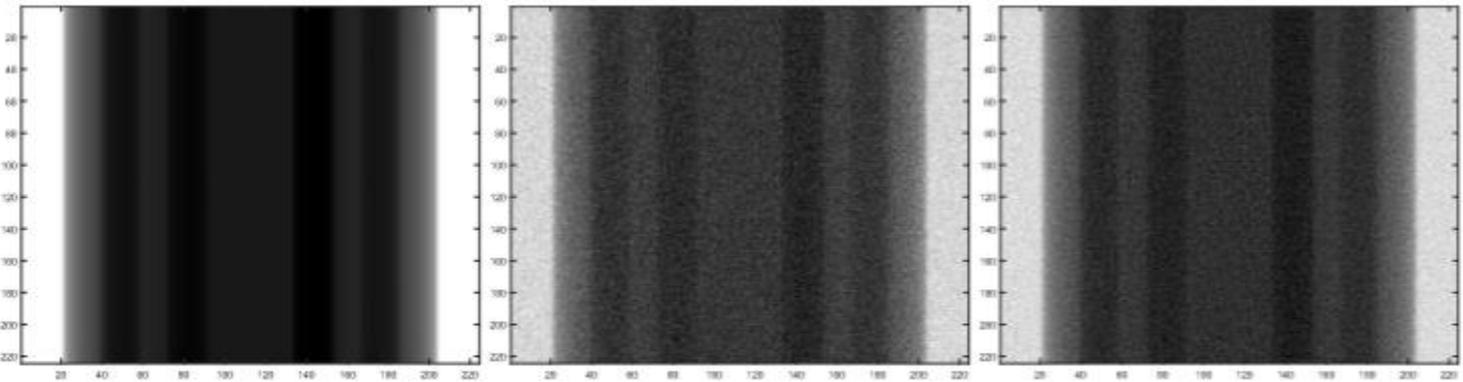


RX : on traverse les tissus mous

CT : tomographie pour reconstruction 3D

Nécessité de débruiter les images

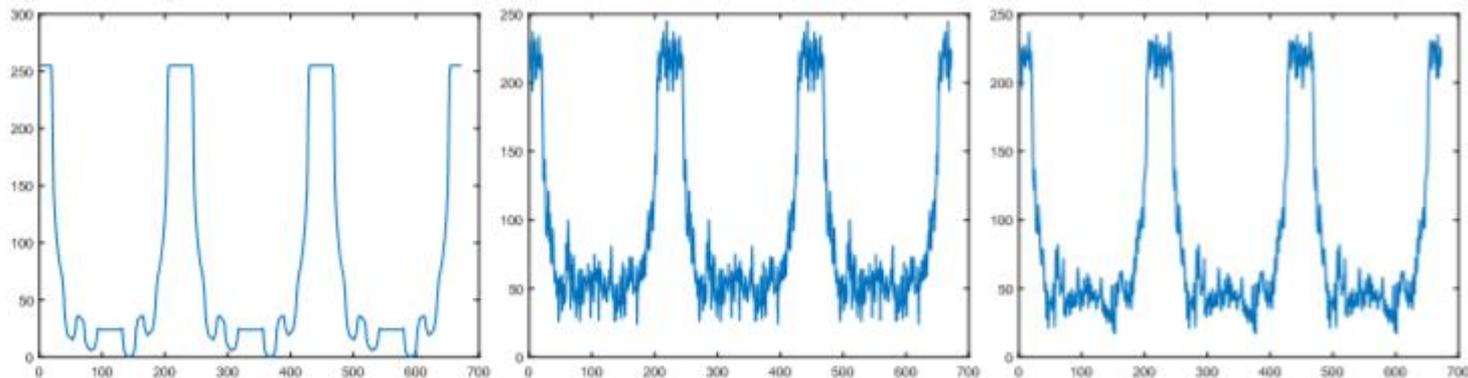
Tubes fantômes pour acquisitions test



Pure

bruitée

PSO



Pure

bruitée

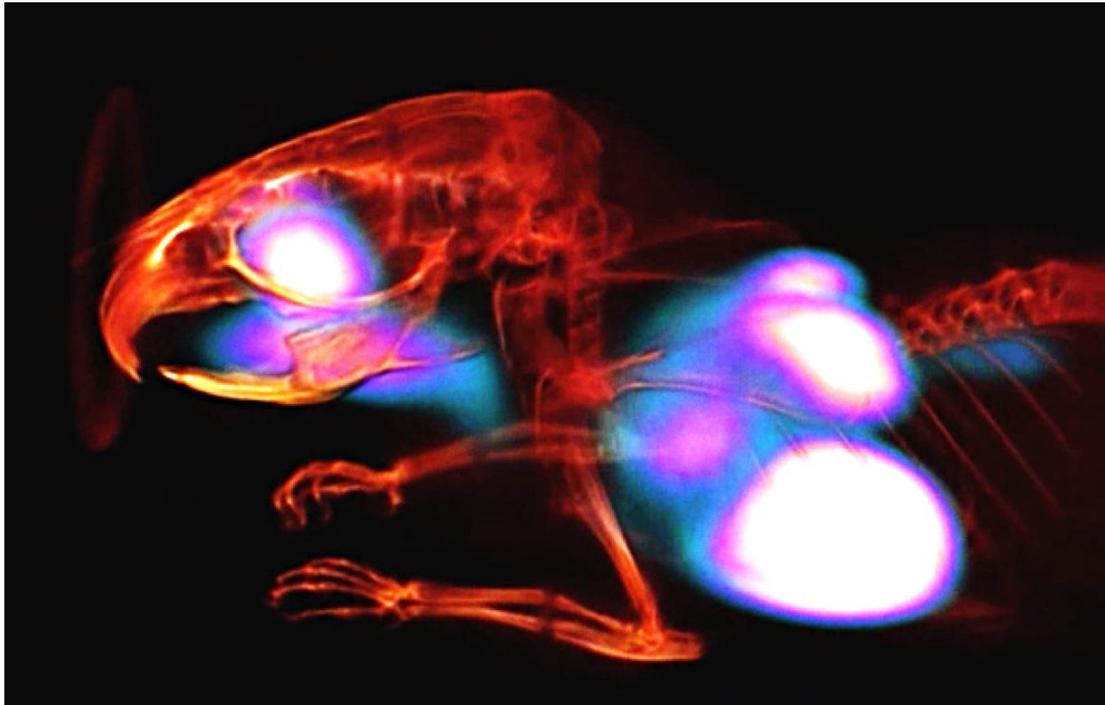
PSO

Bilan

- ✓ Les systèmes d'imagerie sont variés;
- ✓ Chaque système présente ses aptitudes et ses failles
- ✓ Un prétraitement tel du débruitage est souvent nécessaire

Problématique

Comment imager les parties internes du petit animal ?



RX : *on traverse les tissus mous*

CT : *tomographie pour reconstruction 3D*