Journée GdR ISIS : IA pour l'agriculture

Apprentissage comprimé sur images hyperspectrales de feuilles de pommier atteintes de tavelure

Clément DOUARRE, Carlos F. CRISPIM-JUNIOR, Anthony GELIBERT, Laure TOUGNE, David ROUSSEAU

Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 à St-Marcel-Lès-Valence (Drôme).

Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 à St-Marcel-Lès-Valence (Drôme).

Propose des solutions de **detection automatique d'adventices et de maladies de plantes** dans un cadre d'agriculture de precision.

Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 à St-Marcel-Lès-Valence (Drôme).

Propose des solutions de **detection automatique d'adventices et de maladies de plantes** dans un cadre d'agriculture de precision.

Solutions proposées :

- Un **camera** comprenant plusieurs capteurs, dont un capteur hyperspectral,

Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 à St-Marcel-Lès-Valence (Drôme).

Propose des solutions de **detection automatique d'adventices et de maladies de plantes** dans un cadre d'agriculture de precision.

Solutions proposées :

- Un **camera** comprenant plusieurs capteurs, dont un capteur hyperspectral,

Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 à St-Marcel-Lès-Valence (Drôme).

Propose des solutions de **detection automatique d'adventices et de maladies de plantes** dans un cadre d'agriculture de precision.

Solutions proposées :

- Un **camera** comprenant plusieurs capteurs, dont un capteur hyperspectral,
- Un **algorithme de deep learning**.

Une des applications principales : montage des cameras sur des rampes de tracteurs pour une **pulvérisation en temps reel** de produits phytosanitaires.

Source images : Carbon Bee AgTech

Une des applications principales : montage des cameras sur des rampes de tracteurs pour une **pulvérisation en temps reel** de produits phytosanitaires.

Source images : Carbon Bee AgTech

Carbon Bee

Une des applications principales : montage des cameras sur des rampes de tracteurs pour une **pulvérisation en temps reel** de produits phytosanitaires.

Source images : Carbon Bee AgTech

Plan

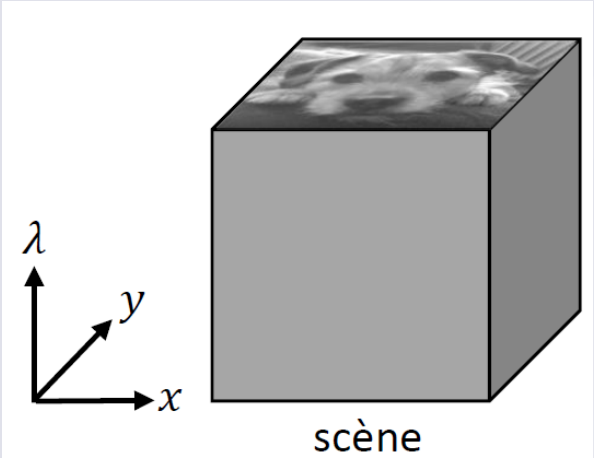
- Contexte industriel
- Un capteur hyperspectral à évaluer
- Création du jeu de données
- Résultats de l’apprentissage
- Conclusions et perspectives

Plan

- Contexte industriel
- **Un capteur hyperspectral à évaluer**
- Création du jeu de données
- Résultats de l’apprentissage
- Conclusions et perspectives

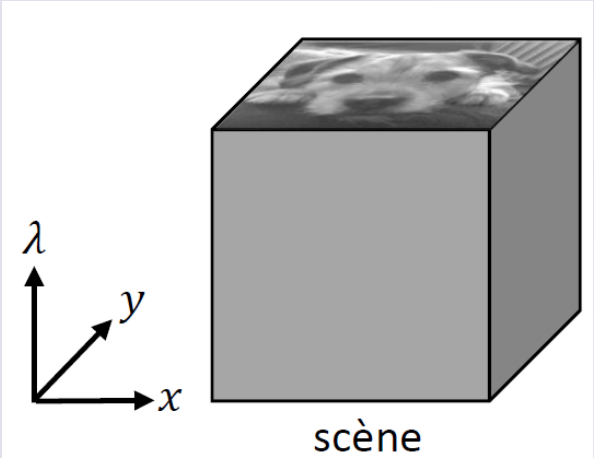
Capteurs hyperspectraux

Dans le cadre de l'imagerie spectrale, on se represénte les scènes comme des images 3D, dont la 3ème dimension est spectrale.

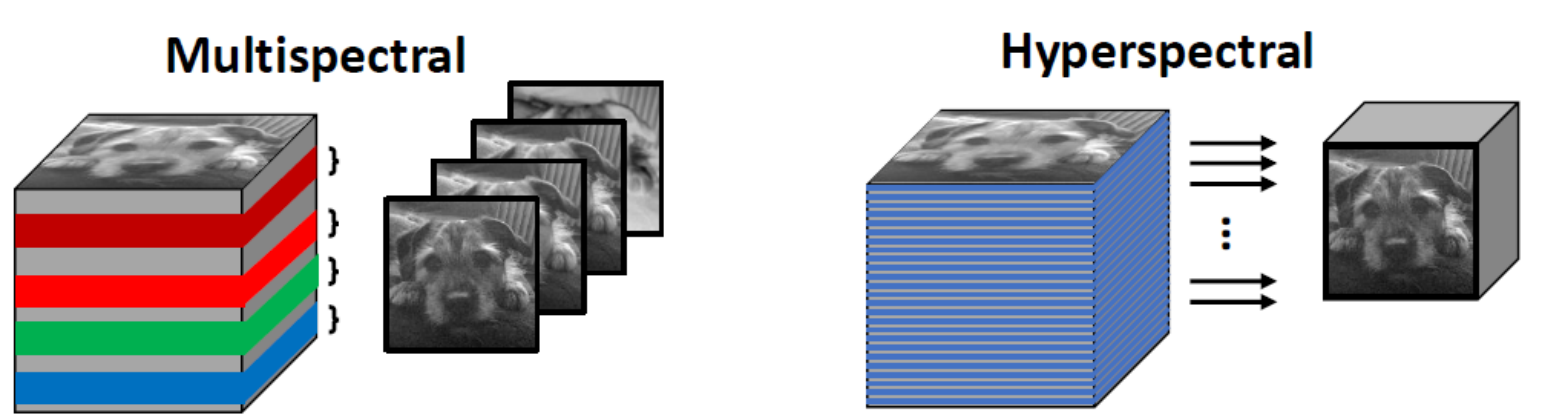


Capteurs hyperspectraux

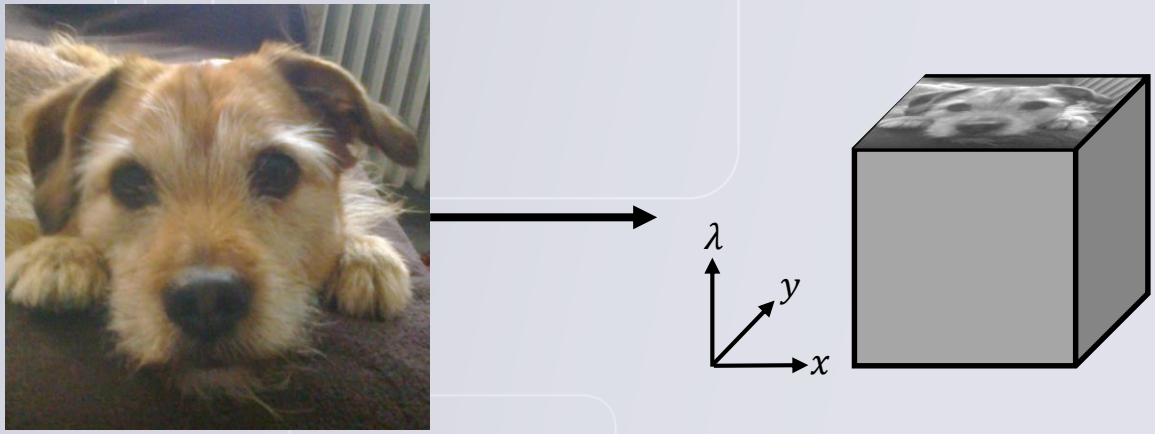
Dans le cadre de l'imagerie spectrale, on se represénte les scènes comme des images 3D, dont la 3ème dimension est spectrale.



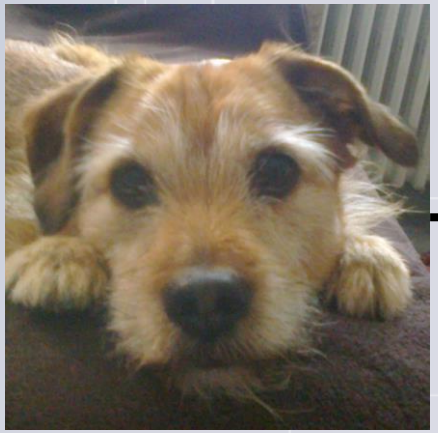
Les capteurs hyperspectraux acquièrent un grand nombre de "tranches spectrales"
→ un **cube de données**.

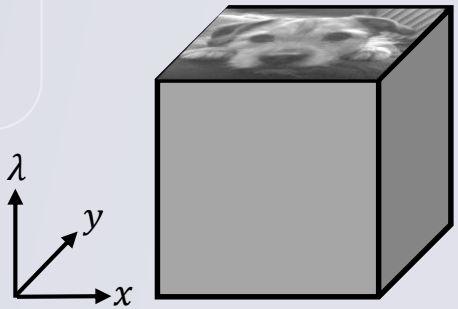


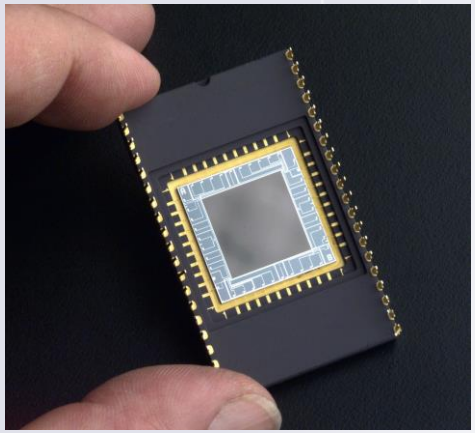
Capteurs hyperspectraux



Capteurs hyperspectraux





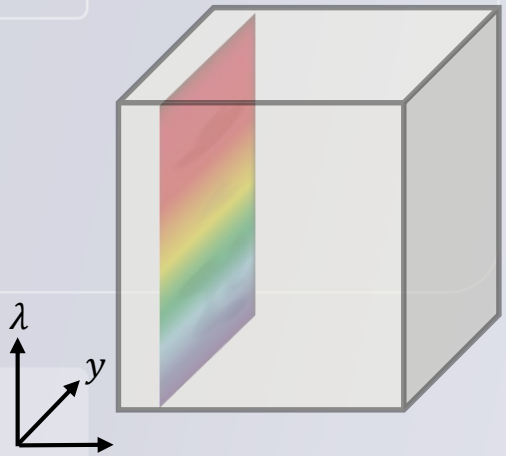


Problème : Comment acquérir **une information en 3 dimensions** sur un CCD qui n'en a que deux ?

Source image : wikipedia

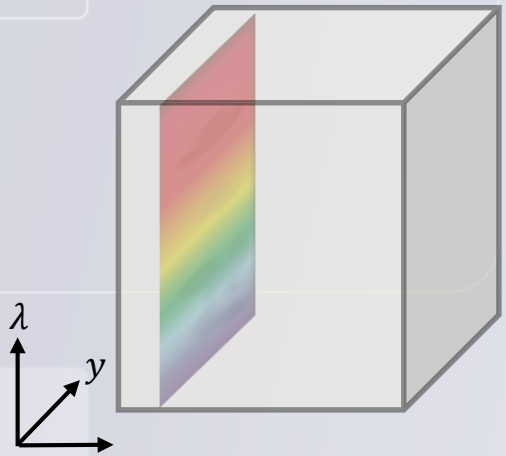
Capteurs hyperspectraux instantanés

La plupart des capteurs hyperspectraux sont “à balayage” → acquisition d’une tranche du cube à la fois.



Capteurs hyperspectraux instantanés

La plupart des capteurs hyperspectraux sont “à balayage” → acquisition d’une tranche du cube à la fois.



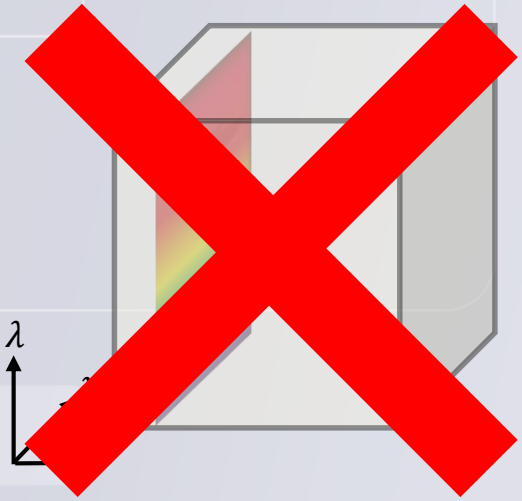
Inconvénients de ces méthodes[1] :

- Lent
- Artefacts de mouvements
- La scène doit être statique

[1] Hagen et al, *Review of snapshot spectral imaging technologies* (2013)

Capteurs hyperspectraux instantanés

La plupart des capteurs hyperspectraux sont “à balayage” → acquisition d’une tranche du cube à la fois.



Inconvénients de ces méthodes[1] :

- Lent
- Artefacts de mouvements
- La scène doit être statique

→ Il existe des capteurs dits “**instantanés**” qui permettent d’obtenir le cube entier en une seule acquisition.

[1] Hagen et al, *Review of snapshot spectral imaging technologies* (2013)

Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané :
le **Computed Tomography Imaging Spectrometer**[1] (CTIS).

[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

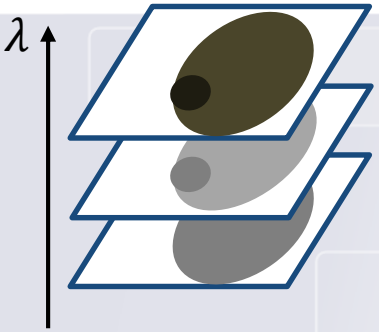
Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané :
le **Computed Tomography Imaging Spectrometer**[1] (CTIS).

[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

Le CTIS

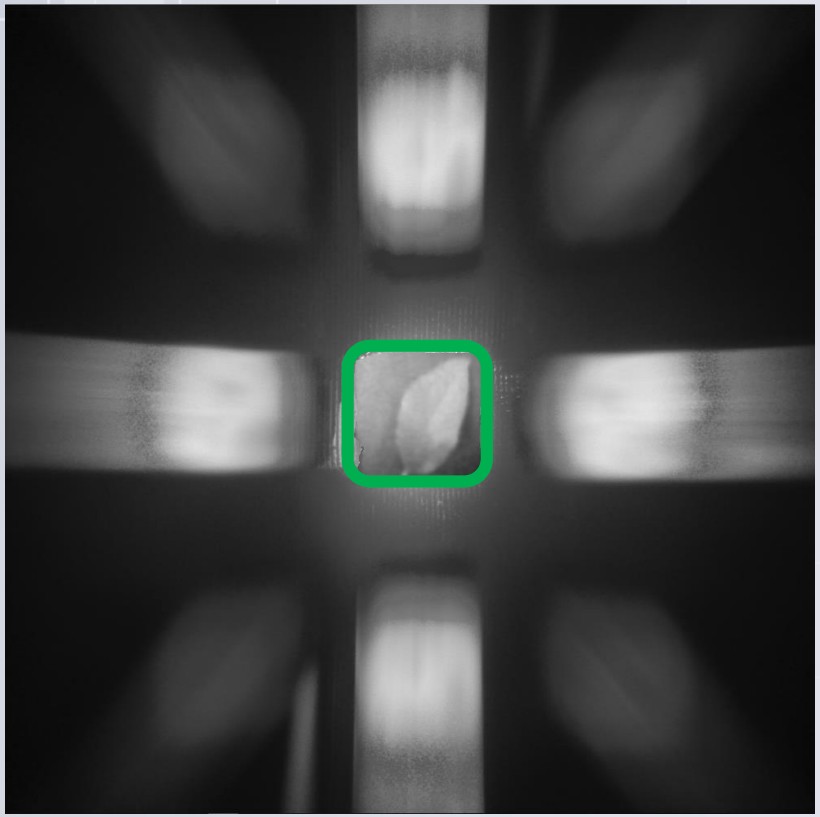
Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané :
le **Computed Tomography Imaging Spectrometer**[1] (CTIS).

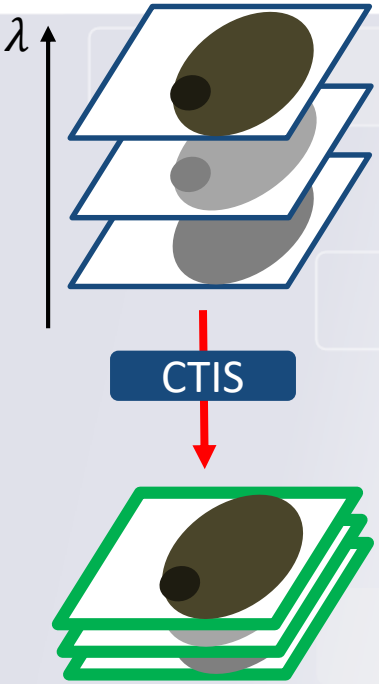


[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané :
le **Computed Tomography Imaging Spectrometer**[1] (CTIS).

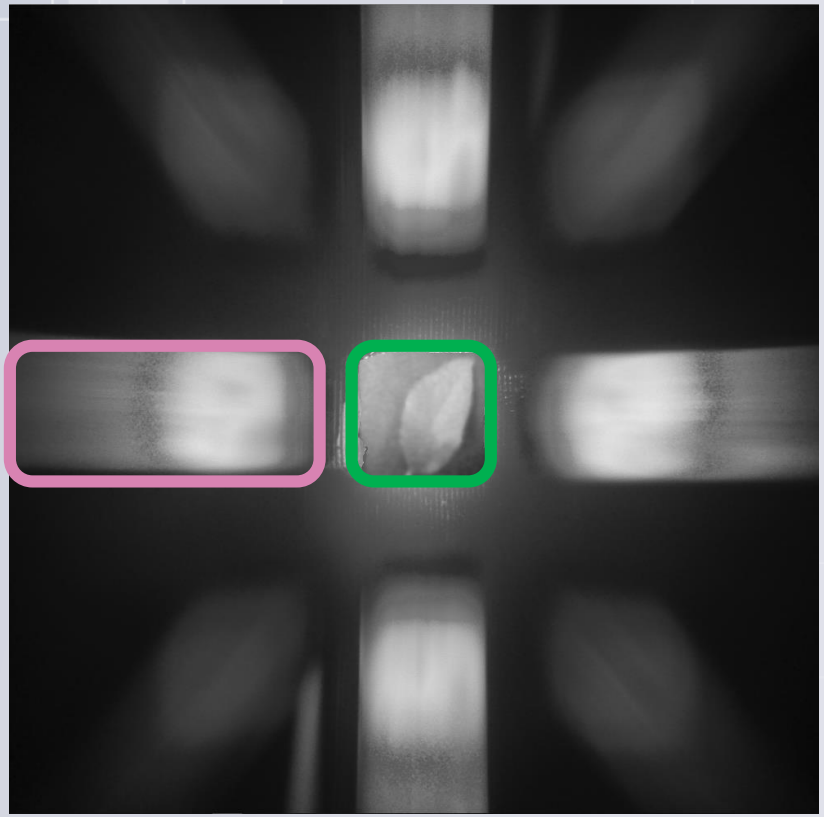


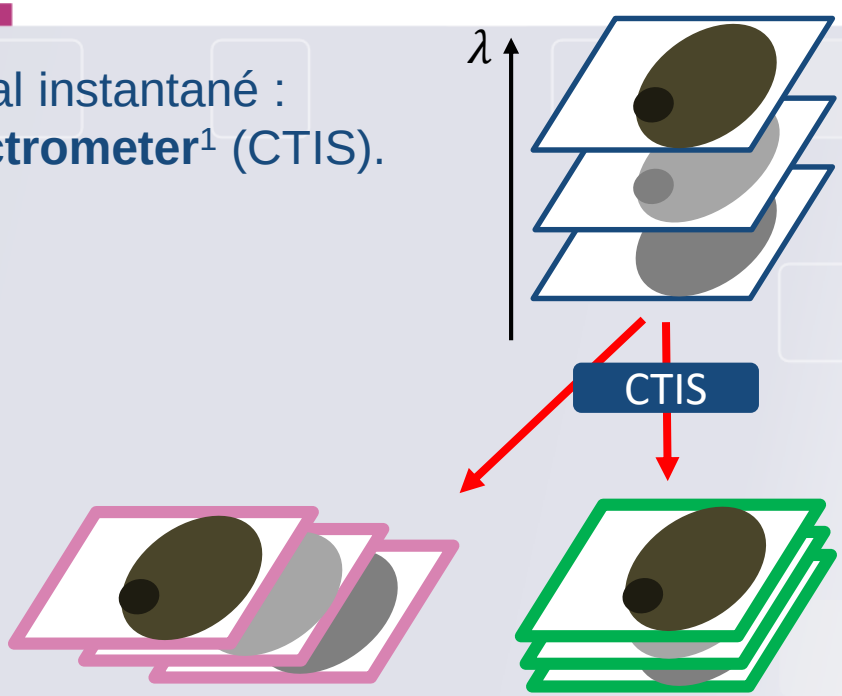


[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané :
le **Computed Tomography Imaging Spectrometer**[1] (CTIS).

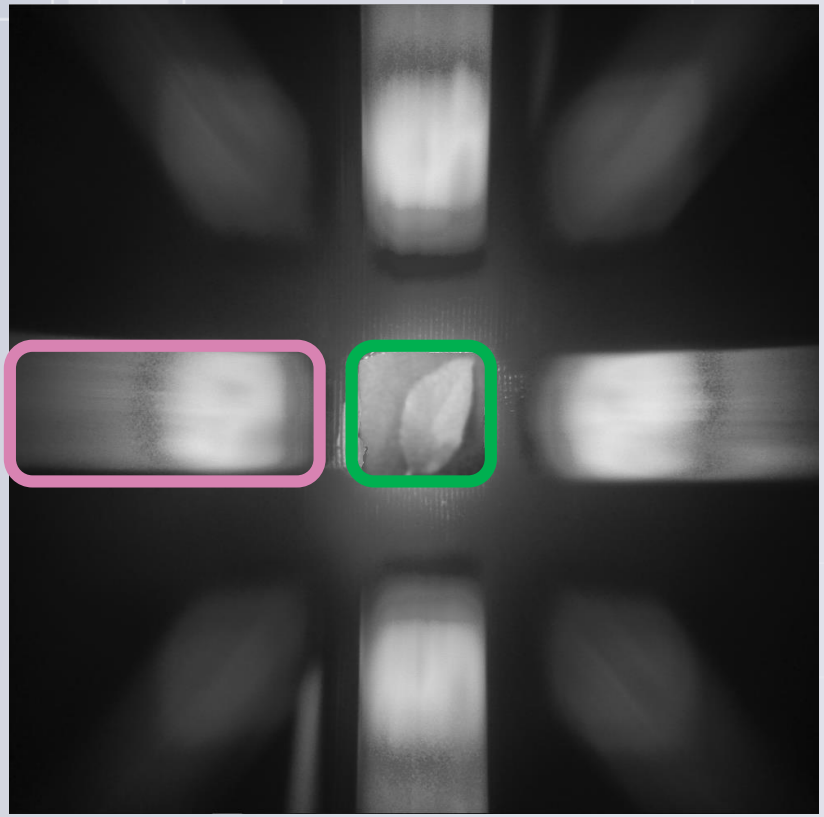


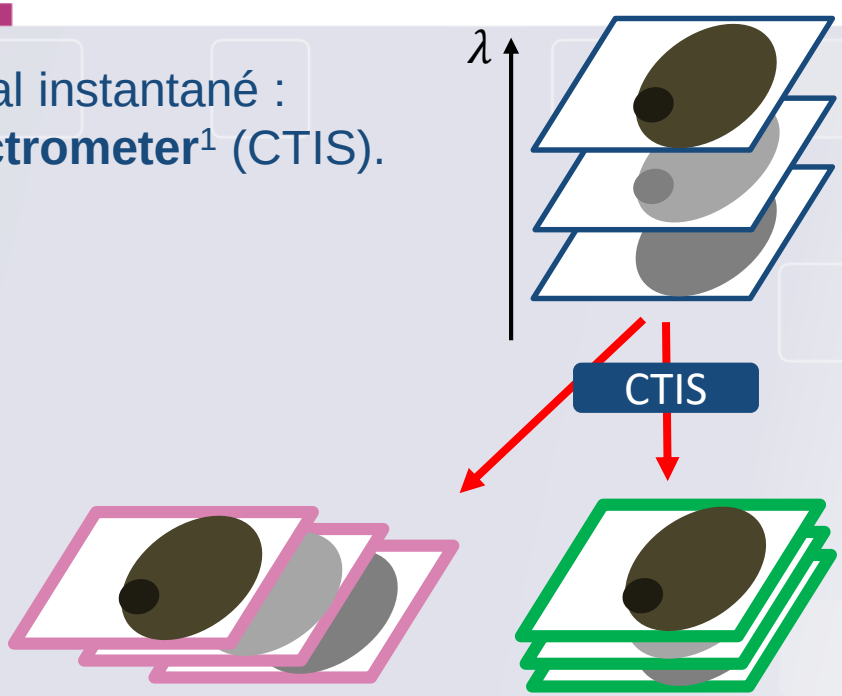


[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané :
le **Computed Tomography Imaging Spectrometer**[1] (CTIS).





Mais où est le cube hyperspectral ?

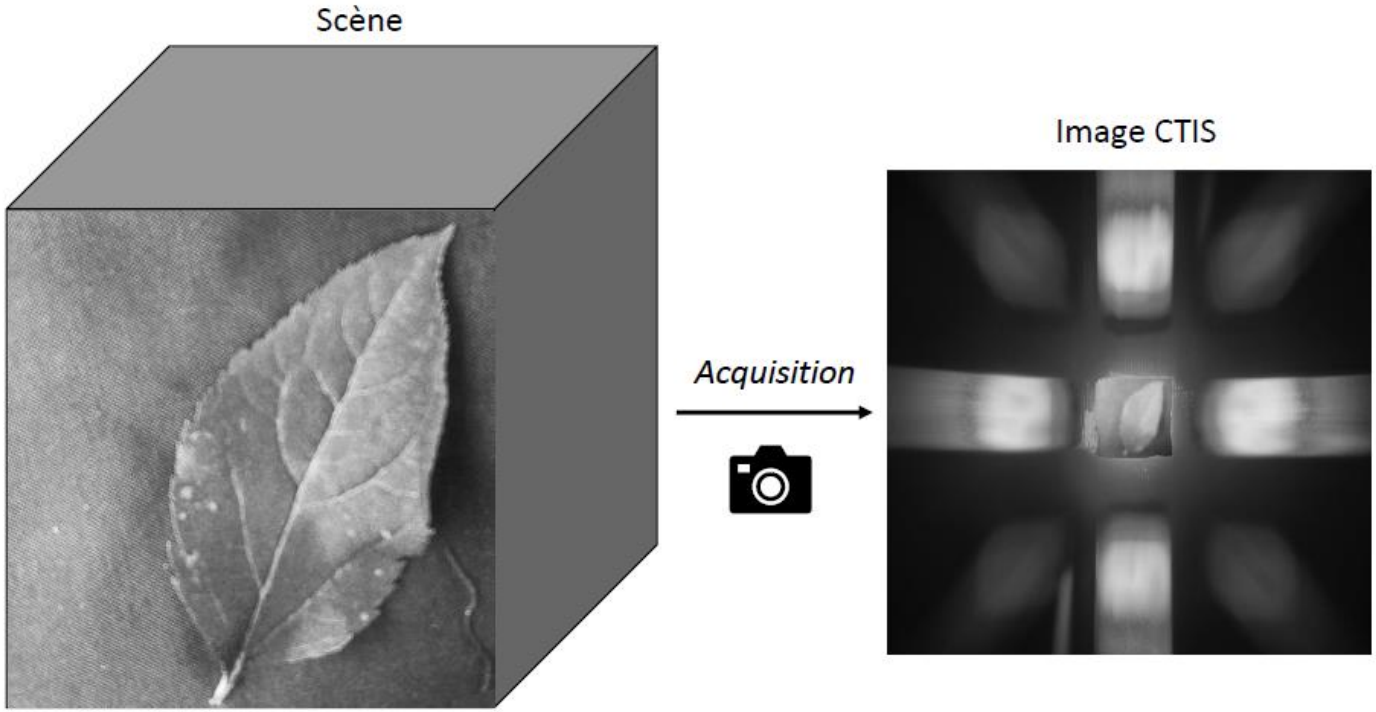
[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

Apprentissage comprimé

Le CTIS est un système d'**imagerie computationnelle** : il est necessaire de faire des calculs pour récupérer le signal désiré à partir d'un signal indirect.

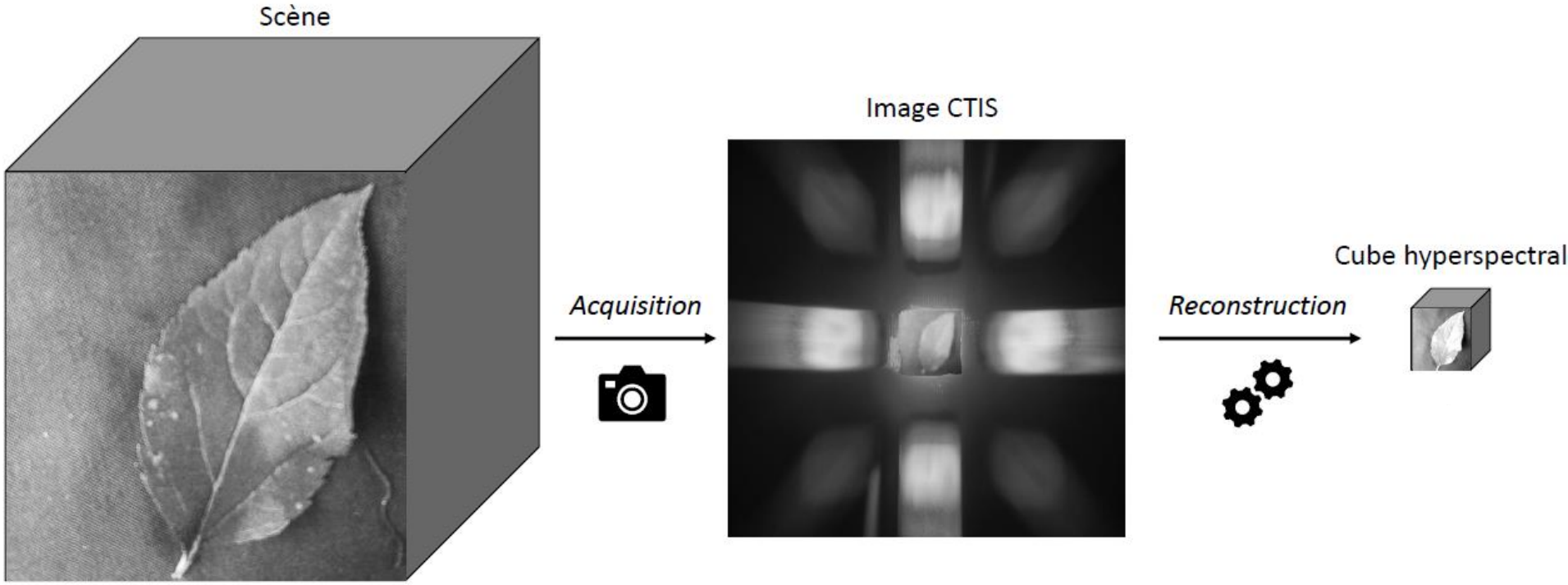
Apprentissage comprimé

Le CTIS est un système d'**imagerie computationnelle** : il est necessaire de faire des calculs pour récupérer le signal désiré à partir d'un signal indirect.



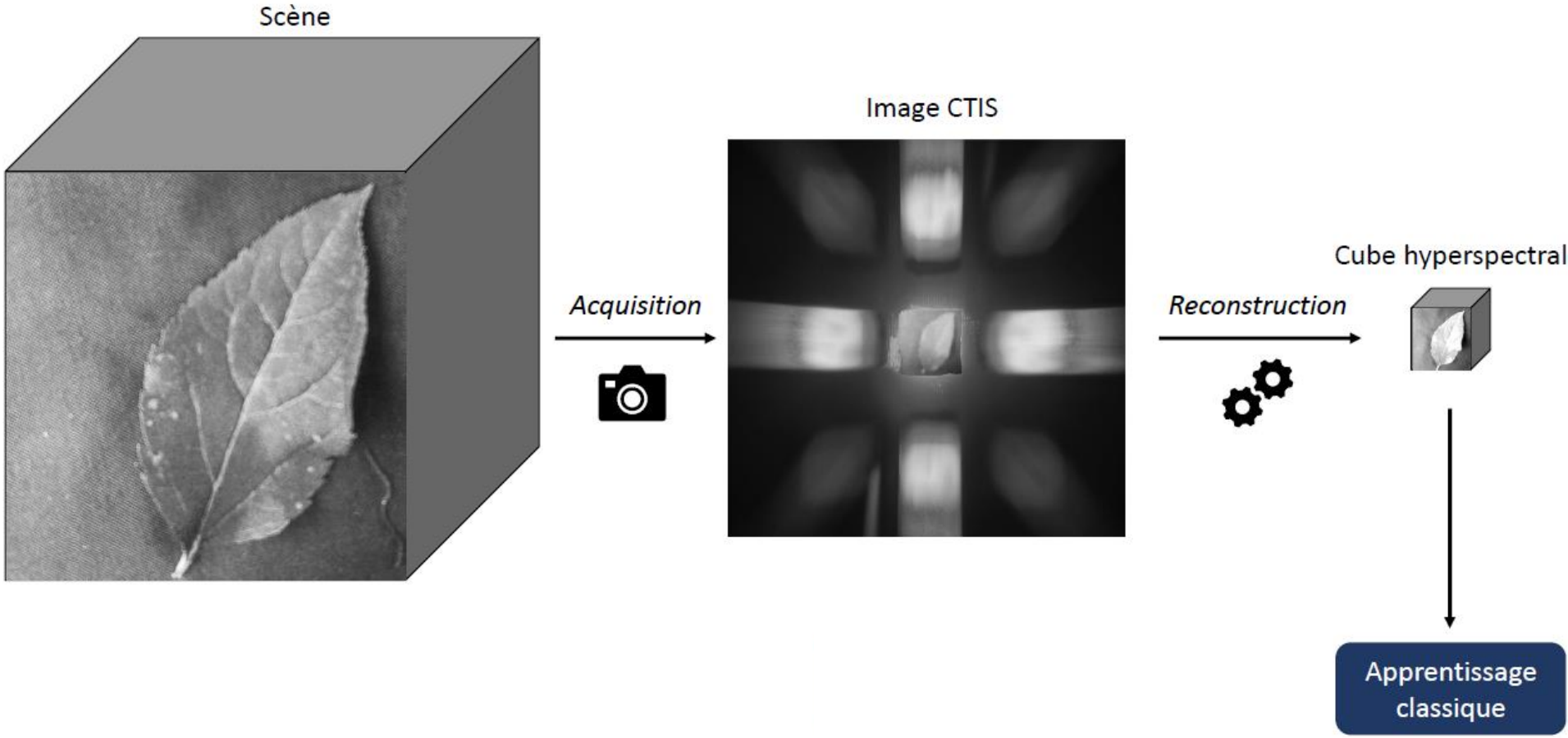
Apprentissage comprimé

Le CTIS est un système d'**imagerie computationnelle** : il est necessaire de faire des calculs pour récupérer le signal désiré à partir d'un signal indirect.



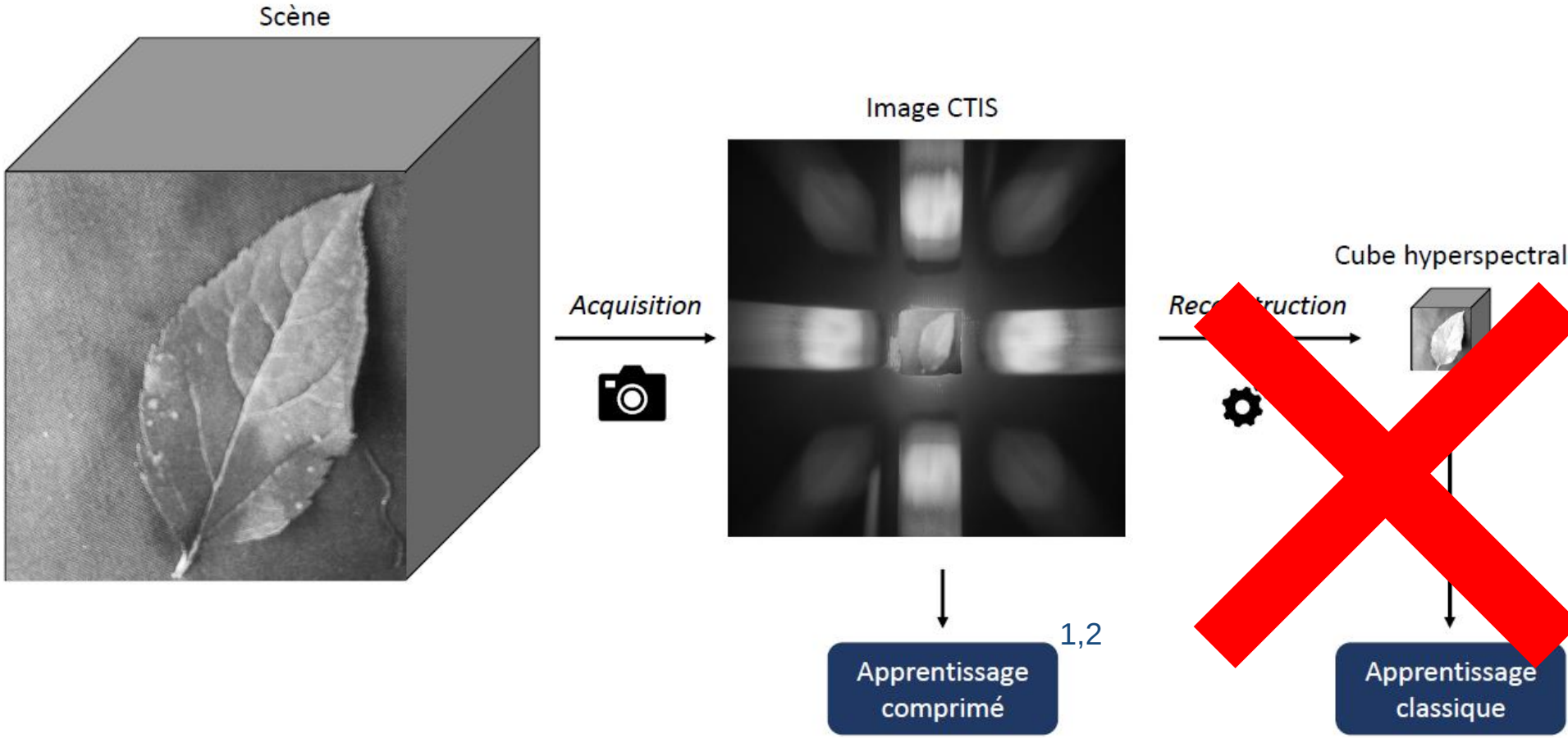
Apprentissage comprimé

Le CTIS est un système d'**imagerie computationnelle** : il est necessaire de faire des calculs pour récupérer le signal désiré à partir d'un signal indirect.



Apprentissage comprimé

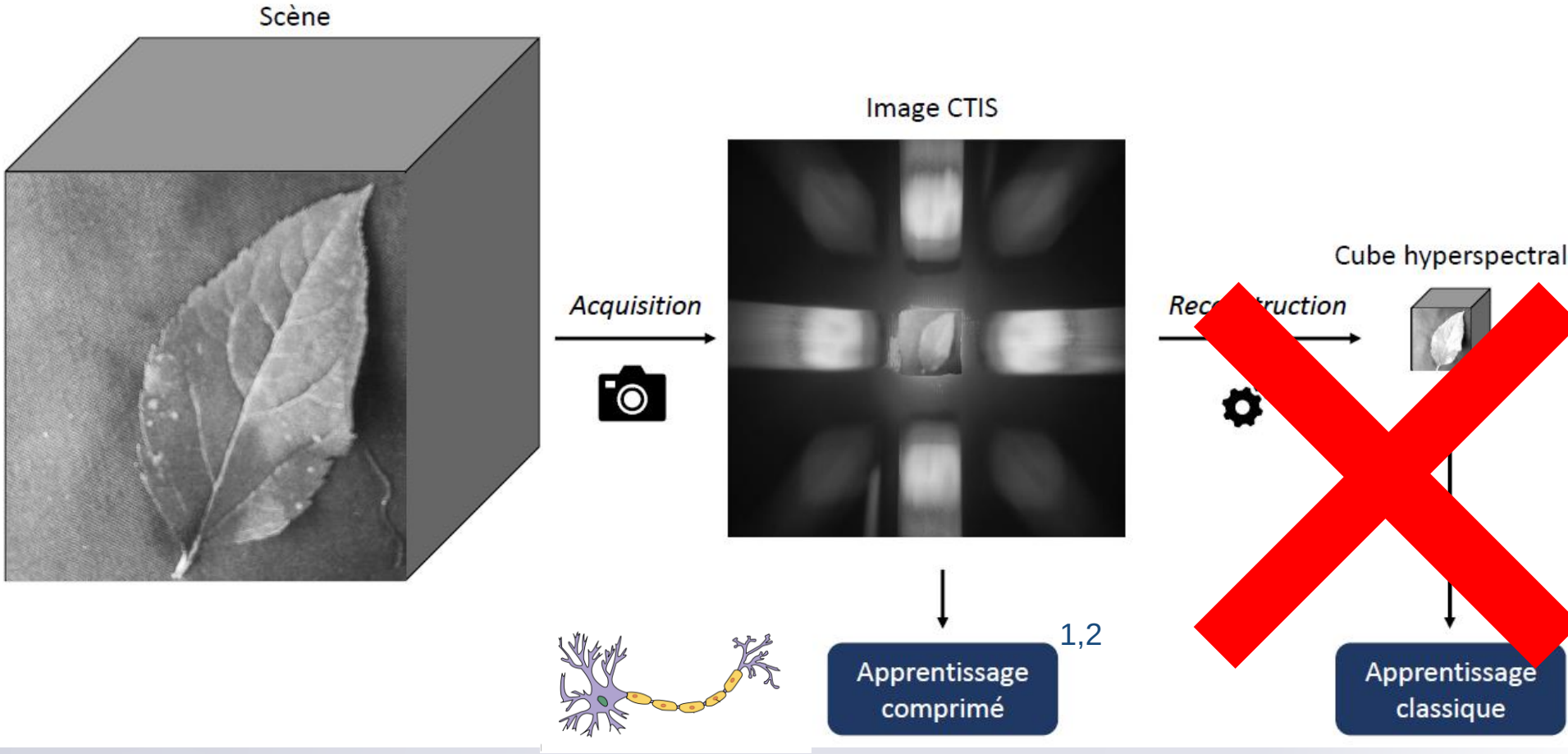
Le CTIS est un système d'**imagerie computationnelle** : il est necessaire de faire des calculs pour récupérer le signal désiré à partir d'un signal indirect.



[1] Calderbank et al, *Compressed learning : Universal sparse dimensionality reduction and learning in the measurement domain* (2009)
[2] Lohit et al, *Direct inference on compressive measurements using CNNs* (2016)

Apprentissage comprimé

Le CTIS est un système d'**imagerie computationnelle** : il est necessaire de faire des calculs pour récupérer le signal désiré à partir d'un signal indirect.

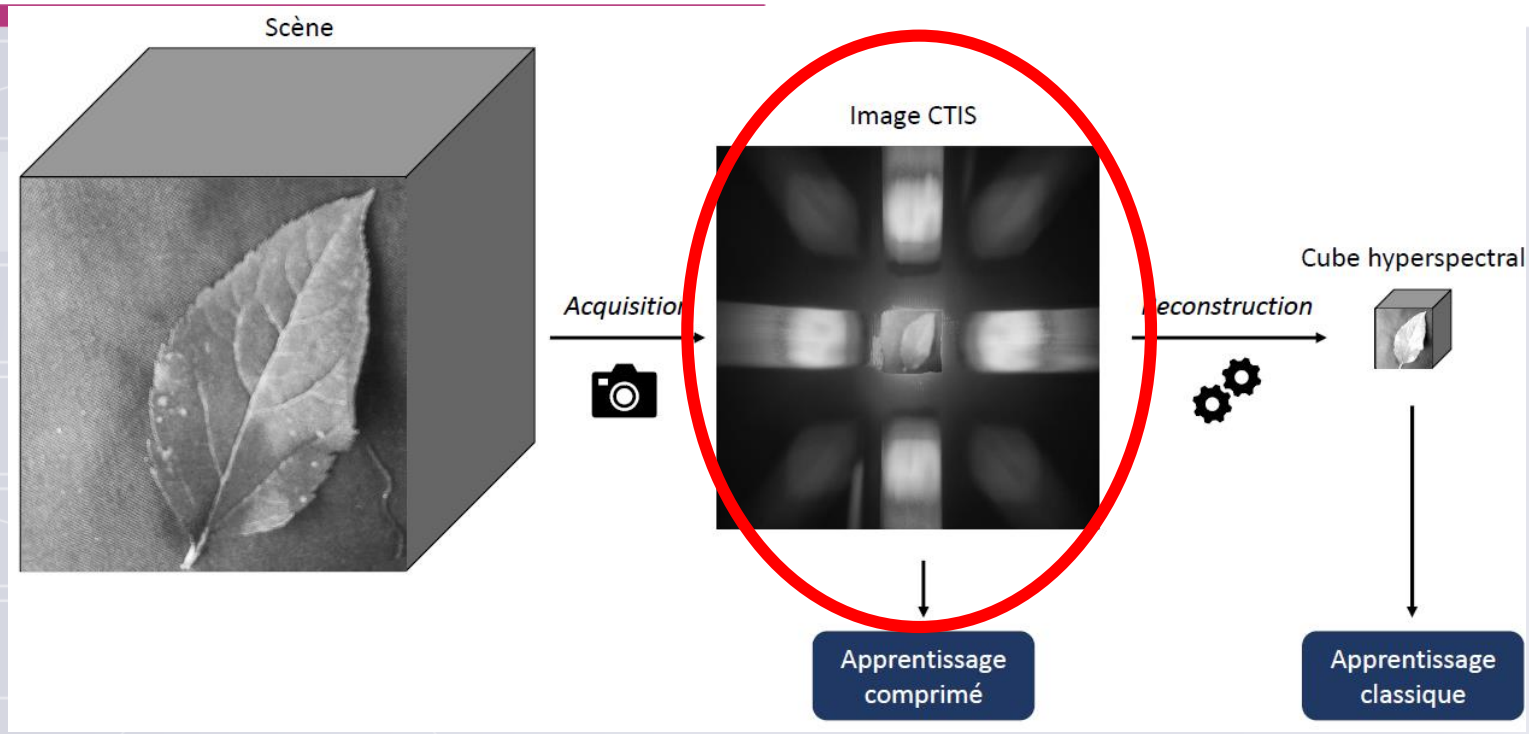


[1] Calderbank et al, *Compressed learning : Universal sparse dimensionality reduction and learning in the measurement domain* (2009)
[2] Lohit et al, *Direct inference on compressive measurements using CNNs* (2016)

Plan

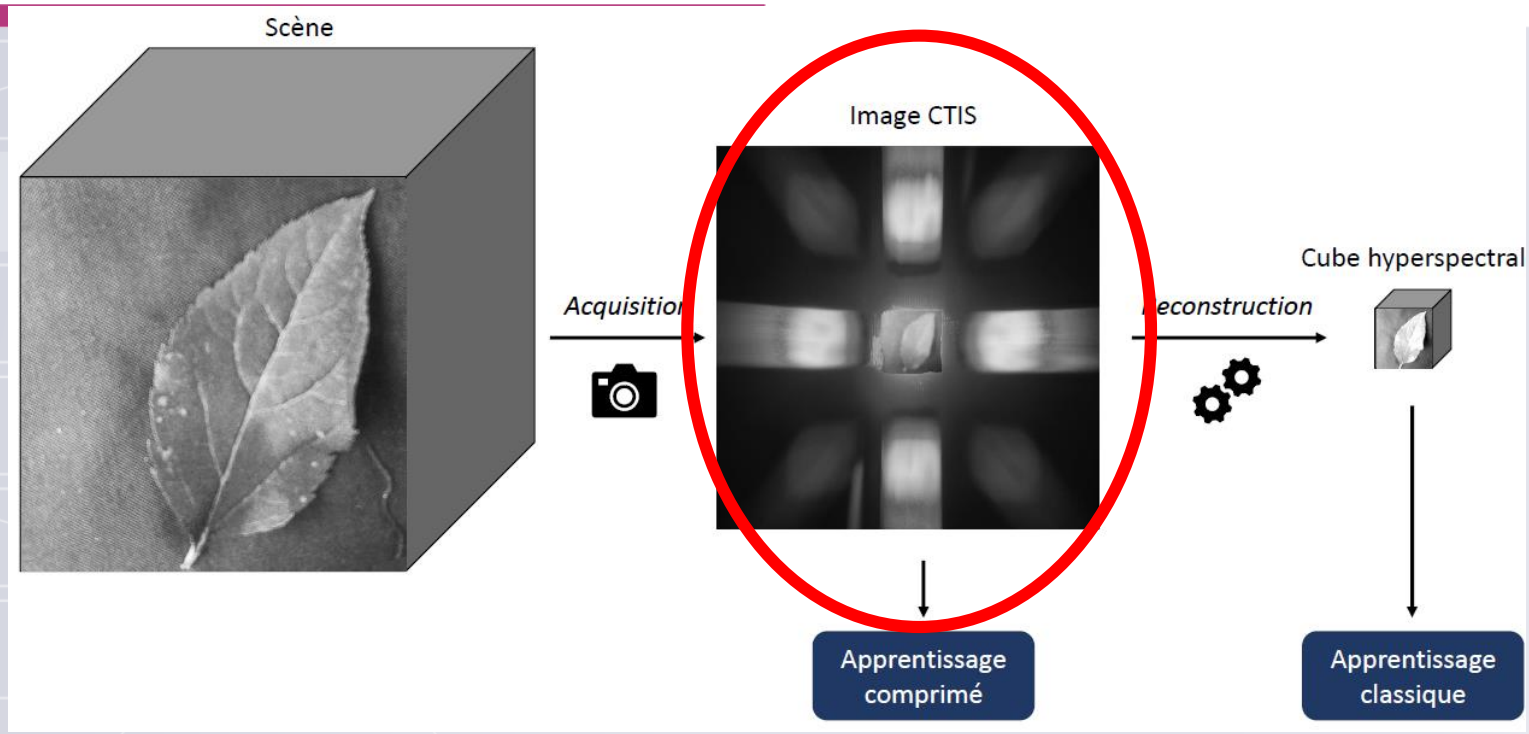
- Contexte industriel
- Un capteur hyperspectral à évaluer
- **Création du jeu de données**
- Résultats de l’apprentissage
- Conclusions et perspectives

Création d'un jeu simulé



Problème : Nous n'avons pas de jeu d'images CTIS.

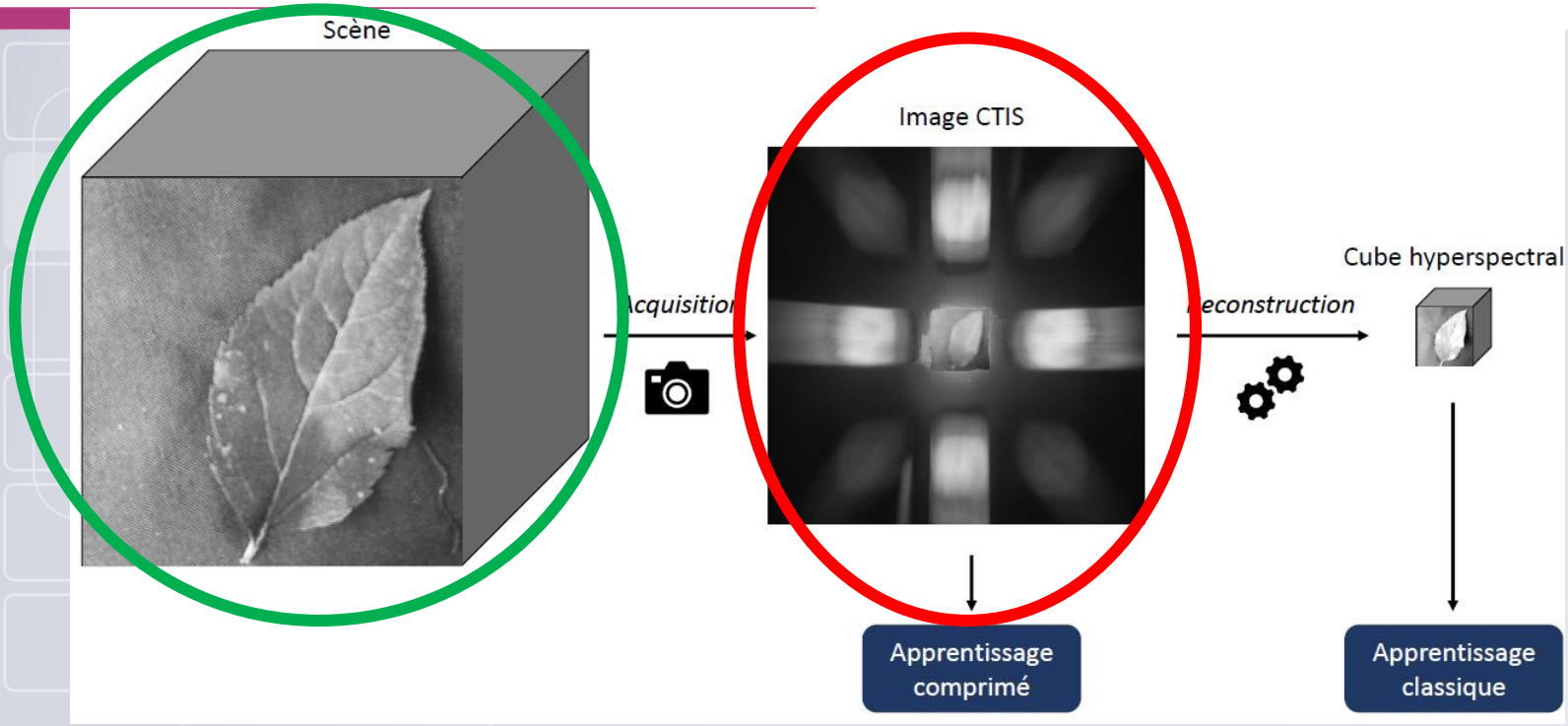
Création d'un jeu simulé



Problème : Nous n'avons pas de jeu d'images CTIS.

Création d'un jeu d'images CTIS en deux temps :

Création d'un jeu simulé

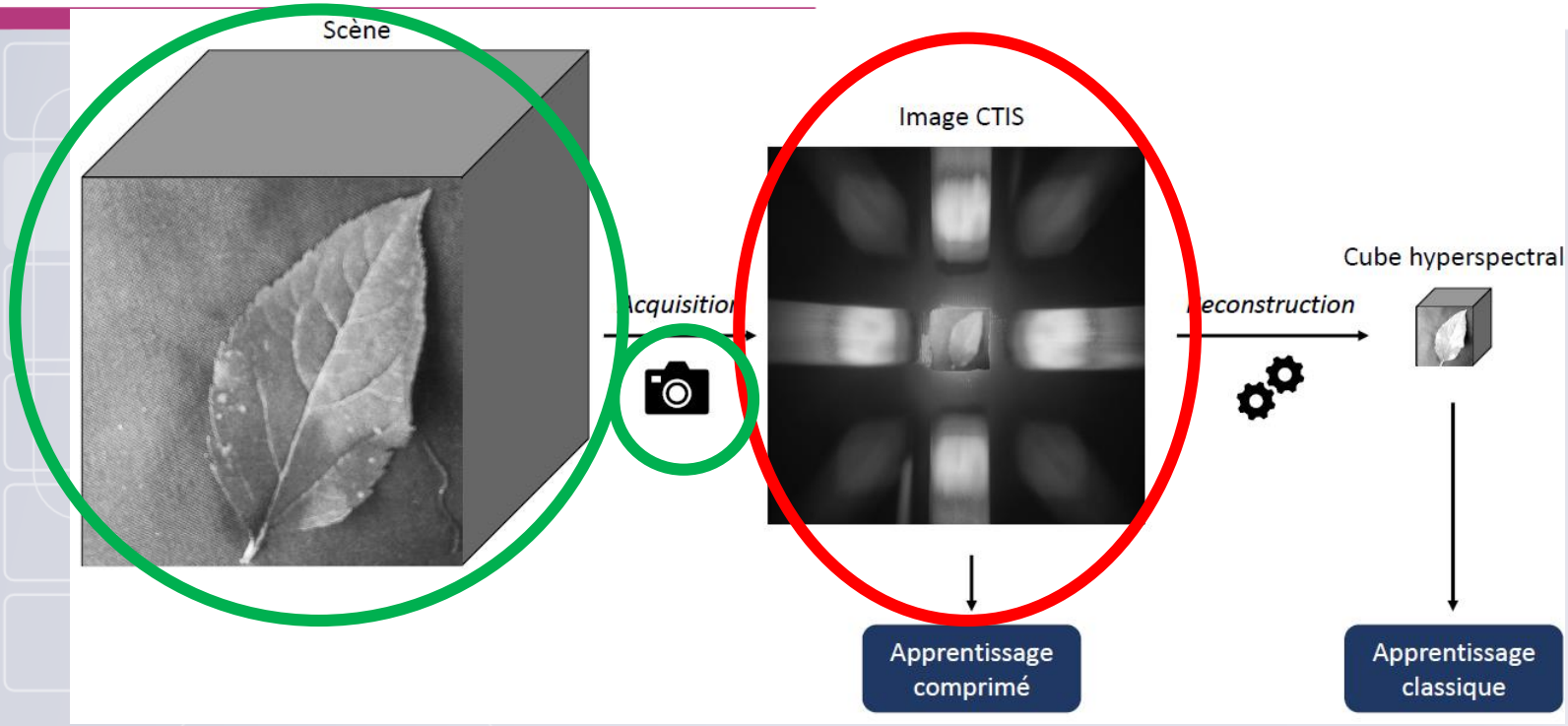


Problème : Nous n'avons pas de jeu d'images CTIS.

Création d'un jeu d'images CTIS en deux temps :

- Création de cubes hyperspectraux,

Création d'un jeu simulé



Problème : Nous n'avons pas de jeu d'images CTIS.

Création d'un jeu d'images CTIS en deux temps :

- Création de cubes hyperspectraux,
- Création d'images CTIS à partir de ces cubes.

Cas d’étude : la tavelure du pommier

La tavelure du pommier est la maladie causant le plus de pertes chez les producteurs de pommes au niveau mondial.[1]

[1] Bowen et al, *Venturia inequalis : the causal agent of apple scab* (2011)
Source image : adapté de [1]

Cas d’étude : la tavelure du pommier

La tavelure du pommier est la maladie causant le plus de pertes chez les producteurs de pommes au niveau mondial.[1]

Le champignon *V.inequalis* cause des nécroses sur les feuilles et le fruit.

[1] Bowen et al, *Venturia inequalis : the causal agent of apple scab* (2011)
Source image : adapté de [1]

Cas d'étude : la tavelure du pommier

La tavelure du pommier est la maladie causant le plus de pertes chez les producteurs de pommes au niveau mondial.[1]

Le champignon *V.inequalis* cause des nécroses sur les feuilles et le fruit. L'infection commence par une période "dormante" sous la cuticule de la feuille.

[1] Bowen et al, *Venturia inequalis : the causal agent of apple scab* (2011)
Source image : adapté de [1]

Cas d'étude : la tavelure du pommier

La tavelure du pommier est la maladie causant le plus de pertes chez les producteurs de pommes au niveau mondial.[1]

Le champignon *V.inequalis* cause des nécroses sur les feuilles et le fruit. L'infection commence par une période "dormante" sous la cuticule de la feuille.

[1] Bowen et al, *Venturia inequalis : the causal agent of apple scab* (2011)
Source image : adapté de [1]

Un jeu de tavelure

Images de feuilles saines[1]

[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)

Un jeu de tavelure

Images de feuilles saines[1]

Emplacements de lésions[2]

[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)
[2] Oerke et al, *Thermographic assessement of scab disease on apple leaves* (2011)

Un jeu de tavelure

Images de feuilles saines[1]

Emplacements de lésions[2]

Feuilles tavelées

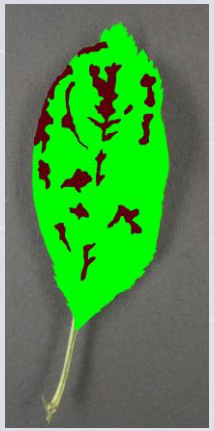
[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)
[2] Oerke et al, *Thermographic assessement of scab disease on apple leaves* (2011)

Un jeu de tavelure

Images de feuilles saines[1]

Emplacements de lésions[2]

Feuilles tavelées



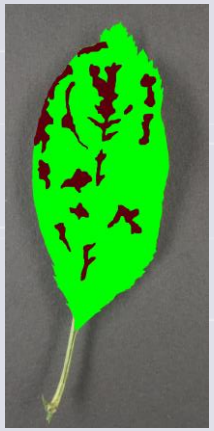
[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)
[2] Oerke et al, *Thermographic assessement of scab disease on apple leaves* (2011)

Un jeu de tavelure

Images de feuilles saines[1]

Emplacements de lésions[2]

Feuilles tavelées



Caméra hyperspectrale à balayage

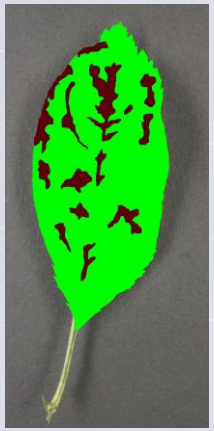
[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)
[2] Oerke et al, *Thermographic assessement of scab disease on apple leaves* (2011)

Un jeu de tavelure

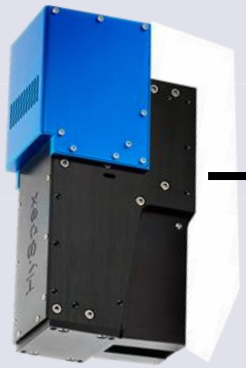
Images de feuilles saines[1]

Emplacements de lésions[2]

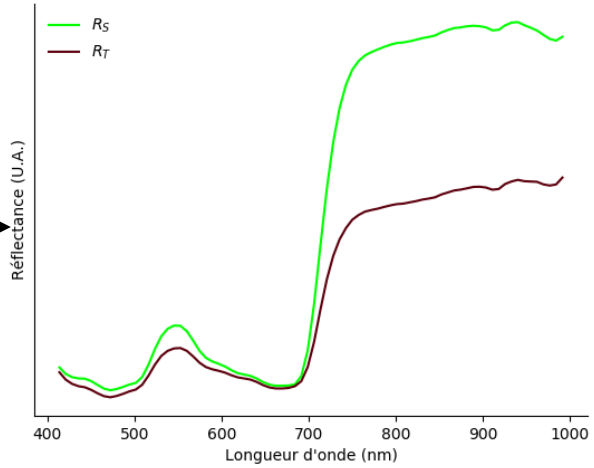
Feuilles tavelées



Caméra hyperspectrale à balayage



Spectres moyens sain et tavelure

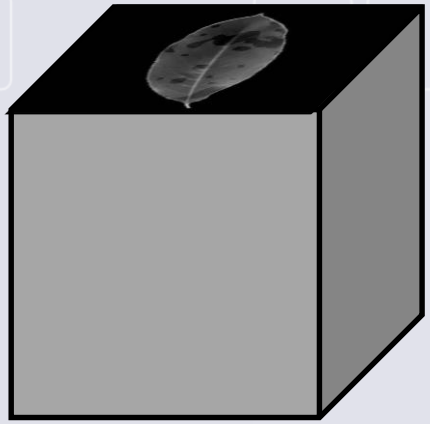


[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)
[2] Oerke et al, *Thermographic assessement of scab disease on apple leaves* (2011)

Un jeu de tavelure

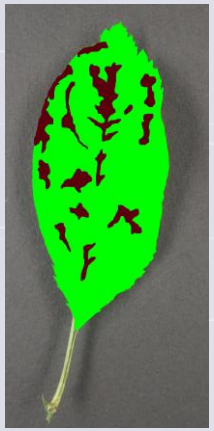
Images de feuilles saines[1]

Emplacements de lésions[2]

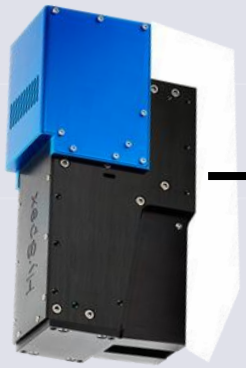


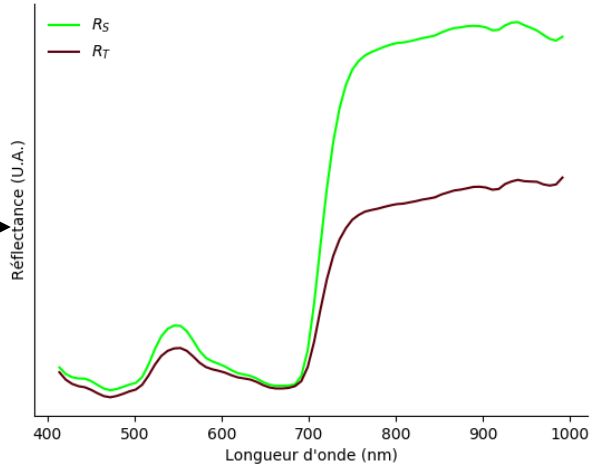
Spectres moyens sain et tavelure

Feuilles tavelées



Caméra hyperspectrale à balayage

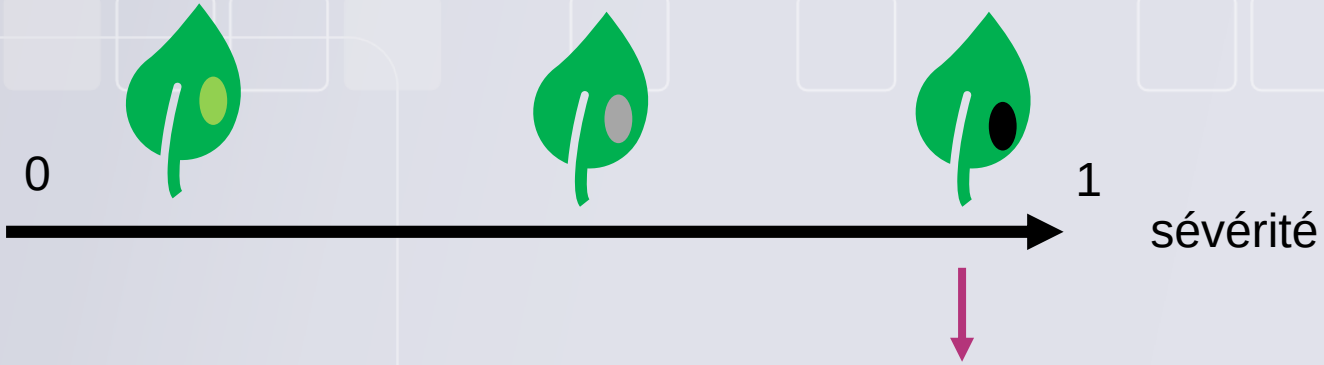


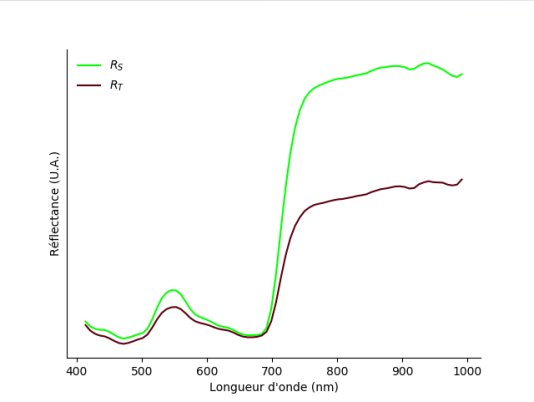


[1] Kumar et al, *Leafsnap : a CV system for automatic plant identification* (2012)
[2] Oerke et al, *Thermographic assessement of scab disease on apple leaves* (2011)

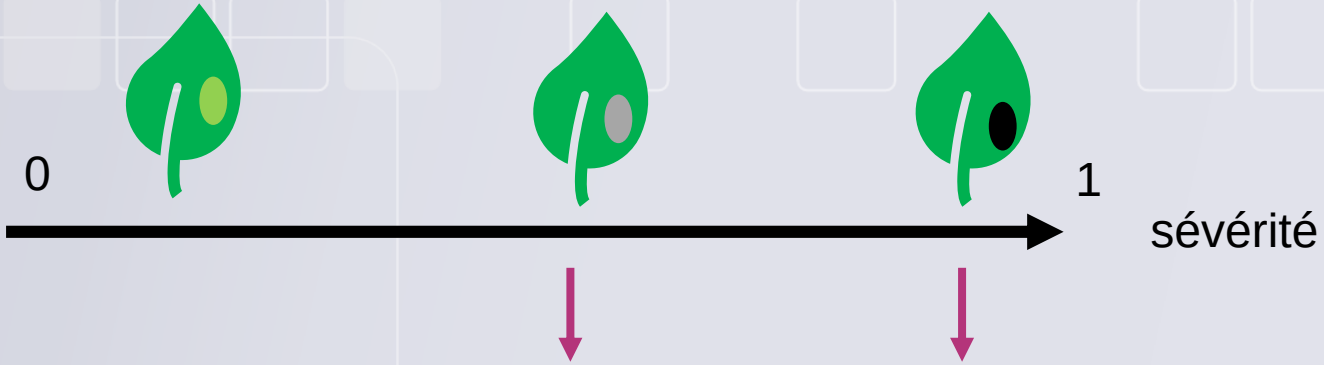
Des jeux à difficulté variables

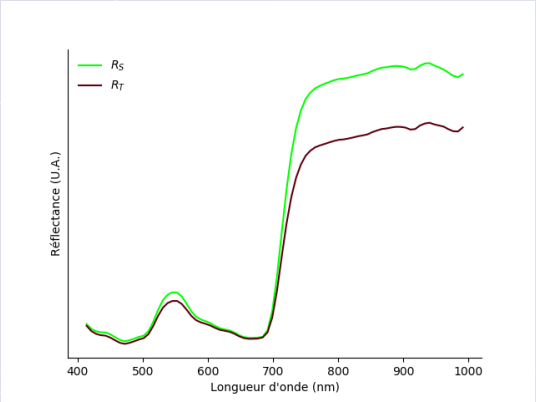
Des jeux à difficulté variables

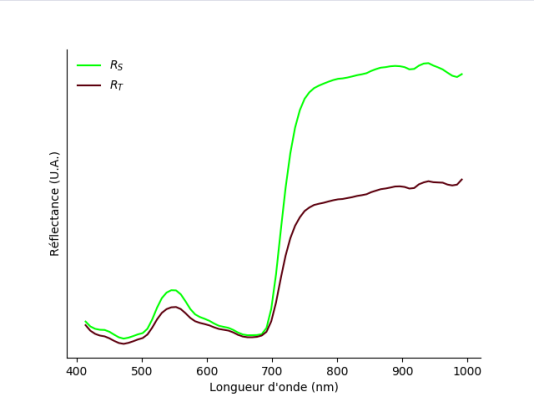




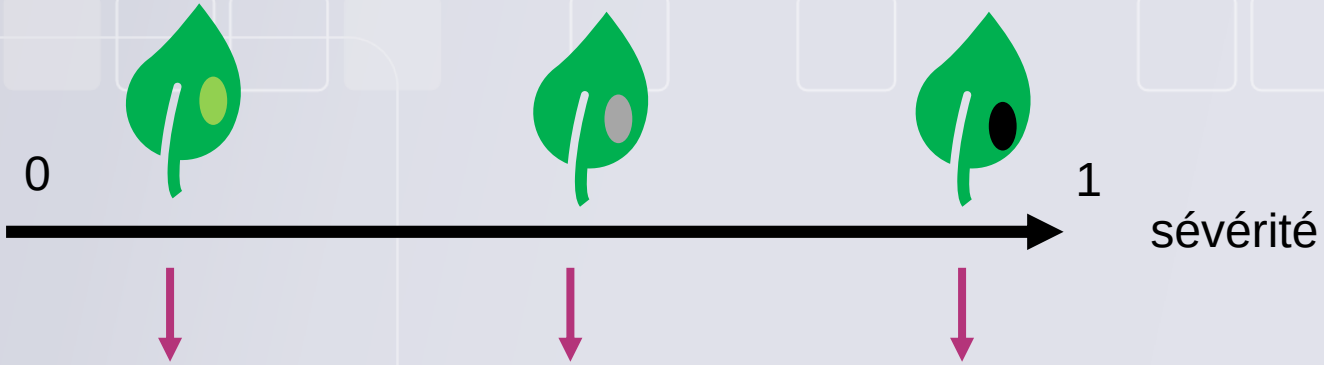
Des jeux à difficulté variables

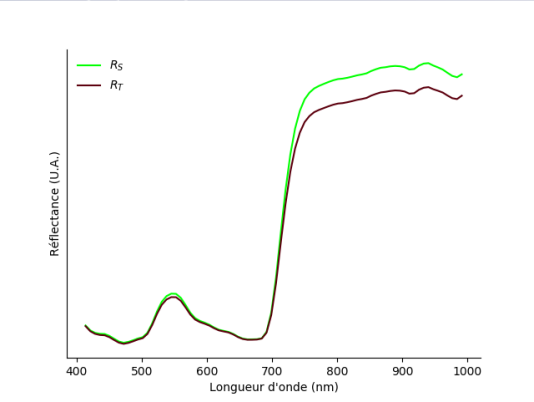


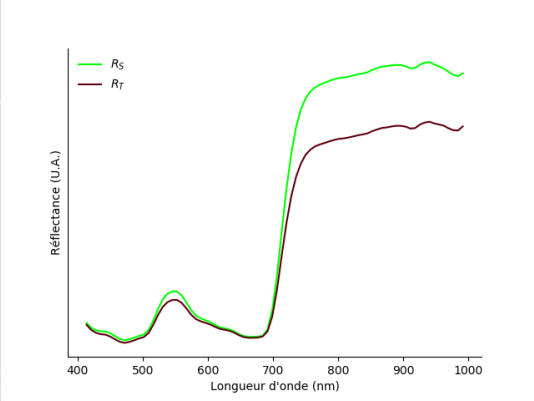


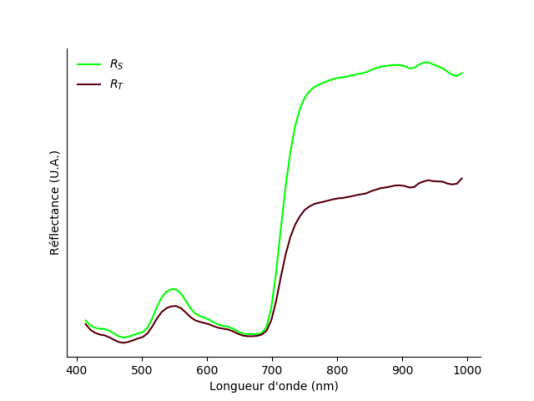


Des jeux à difficulté variables

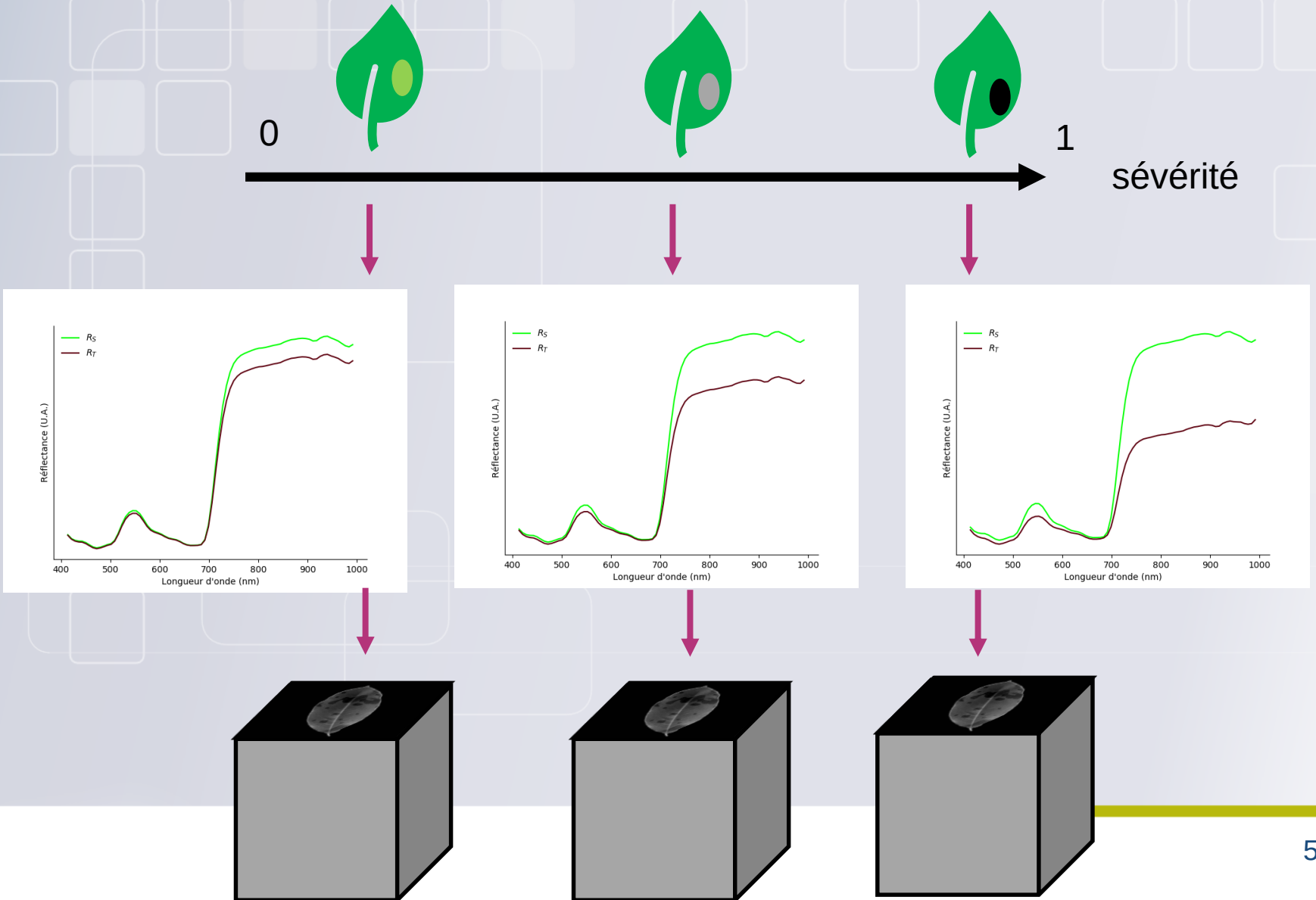








Des jeux à difficulté variables



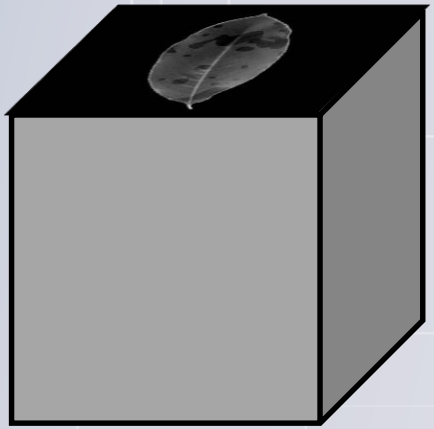
Le simulateur CTIS

Implémentation d’un **simulateur CTIS**.

Le simulateur CTIS

Implémentation d'un **simulateur CTIS**.

Cube hyperspectral

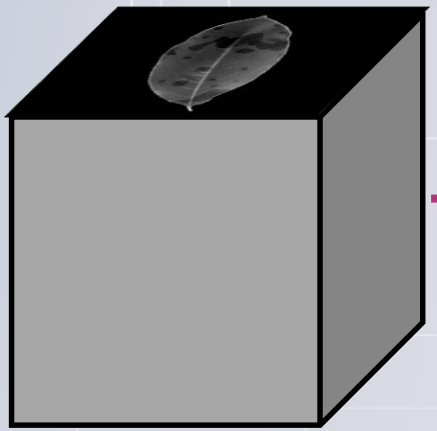


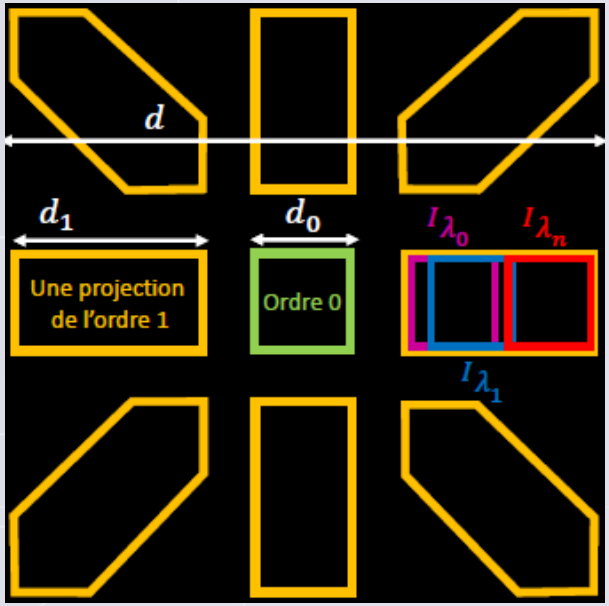
Le simulateur CTIS

Implémentation d'un **simulateur CTIS**.

modèle[1]

Cube hyperspectral



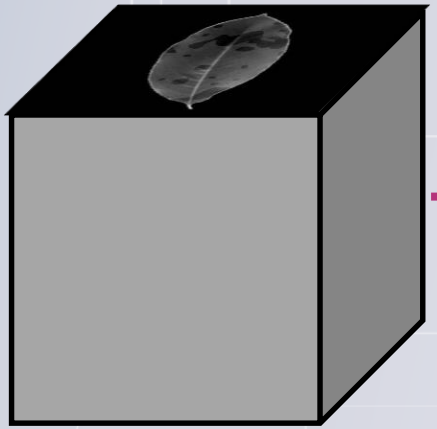


[1] Hagen et al, *Maximizing the resolution of a CTIS instrument* (2006)

Le simulateur CTIS

Implémentation d'un **simulateur CTIS**.

Cube hyperspectral



modèle[1]

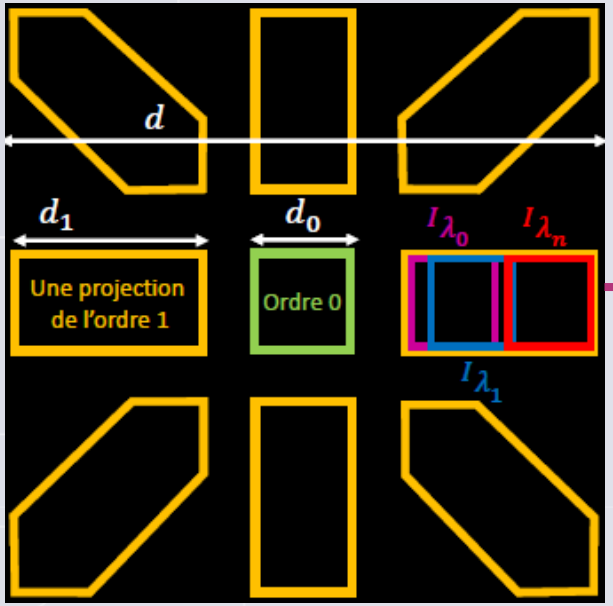
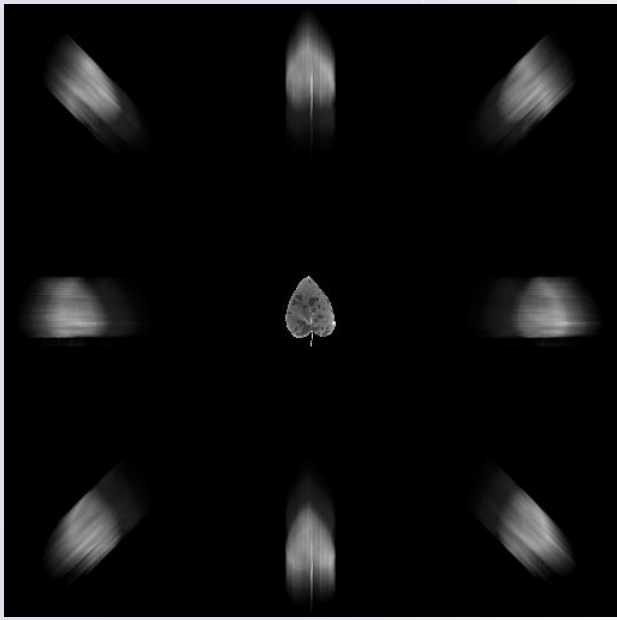
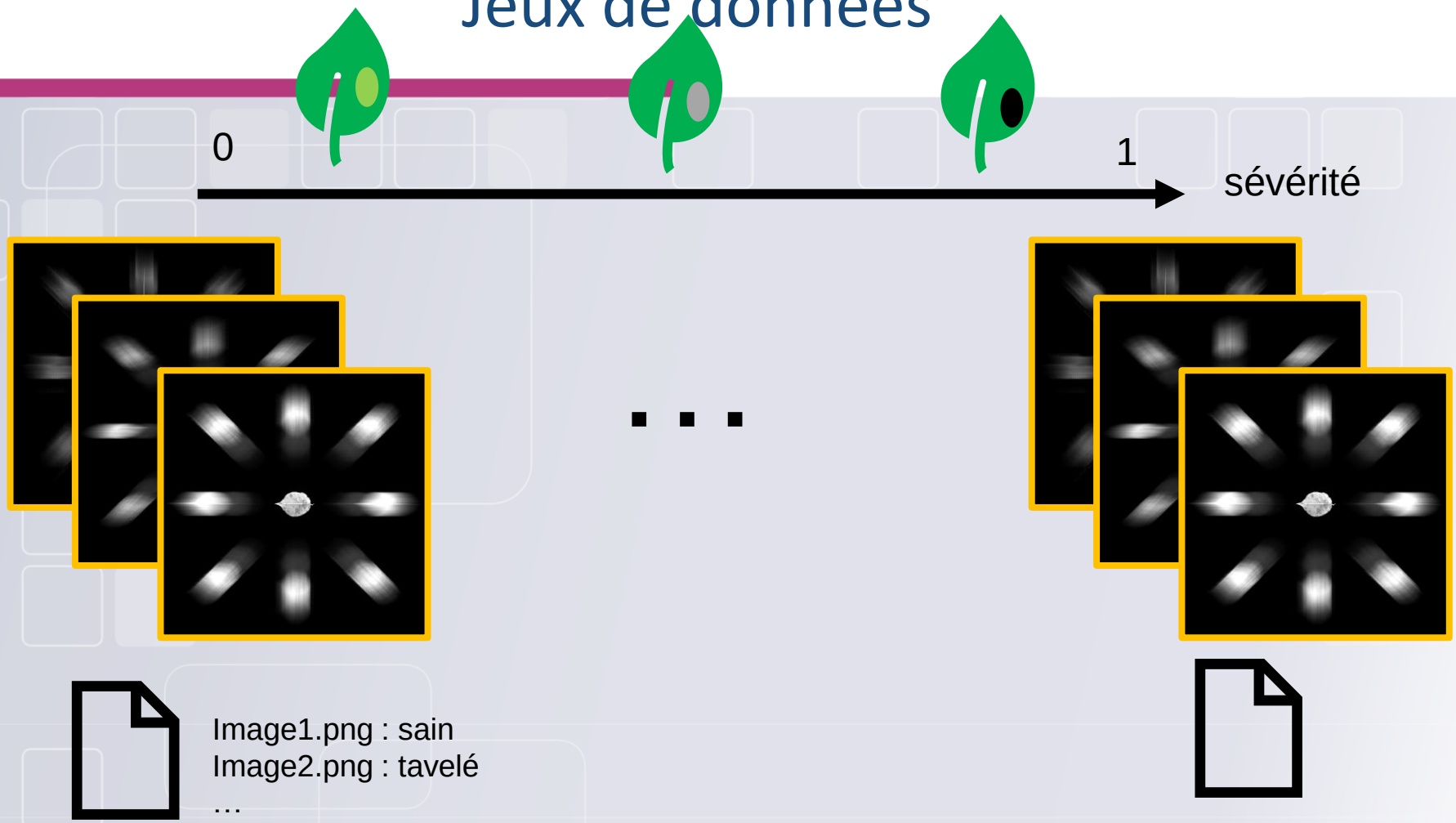


Image CTIS



[1] Hagen et al, *Maximizing the resolution of a CTIS instrument* (2006)

Jeux de données



Chaque jeu contient 3000 images de 512.512 pixels.

On leur associe une tache de **classification binaire** : feuille saine ou affectée de tavelure ?

Plan

- Contexte industriel
- Un capteur hyperspectral à évaluer
- Création du jeu de données
- **Résultats de l'apprentissage**
- Conclusions et perspectives

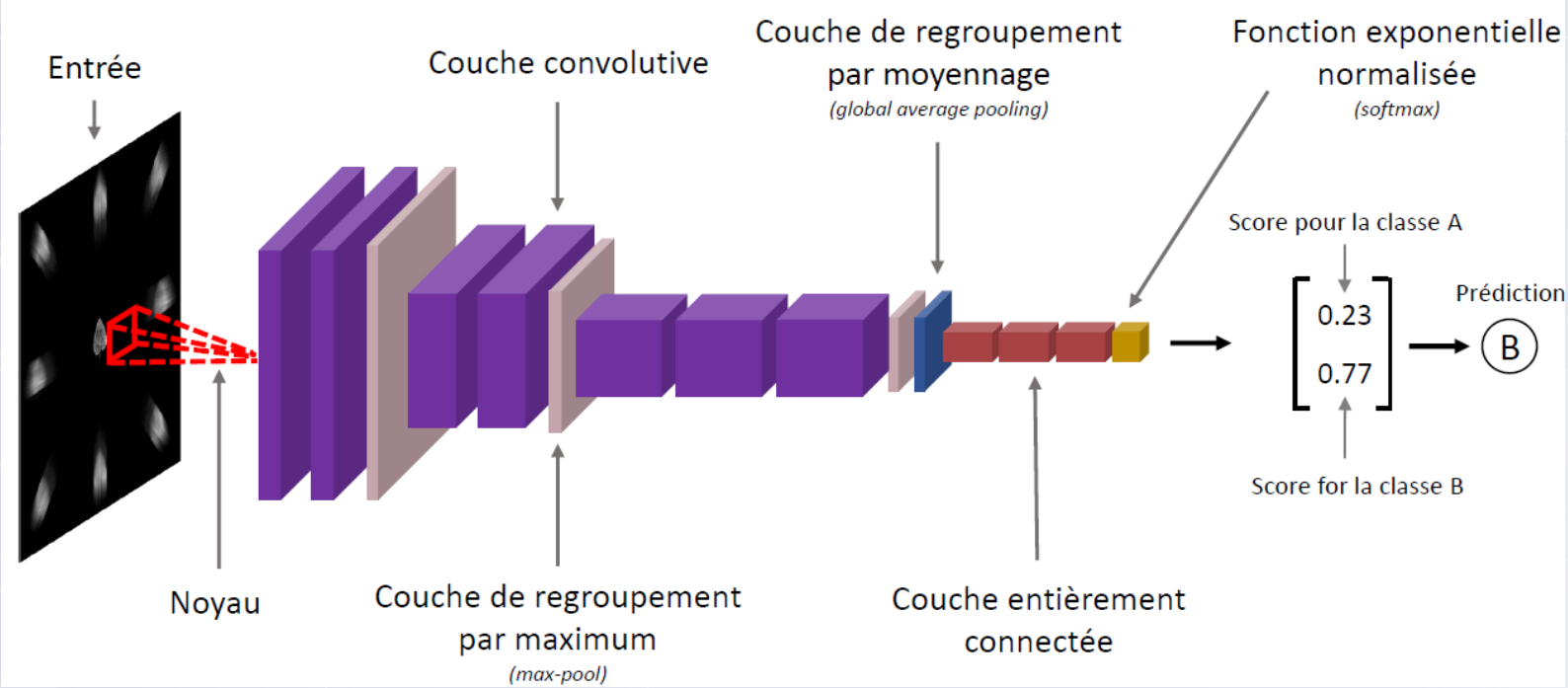
Réseau de neurones utilisé

Le reseau de neurones utilisé est une version simplifiée de **VGG**[1].

[1] Simonyan et al, *Very deep CNNs for large-scale image recognition* (2014)

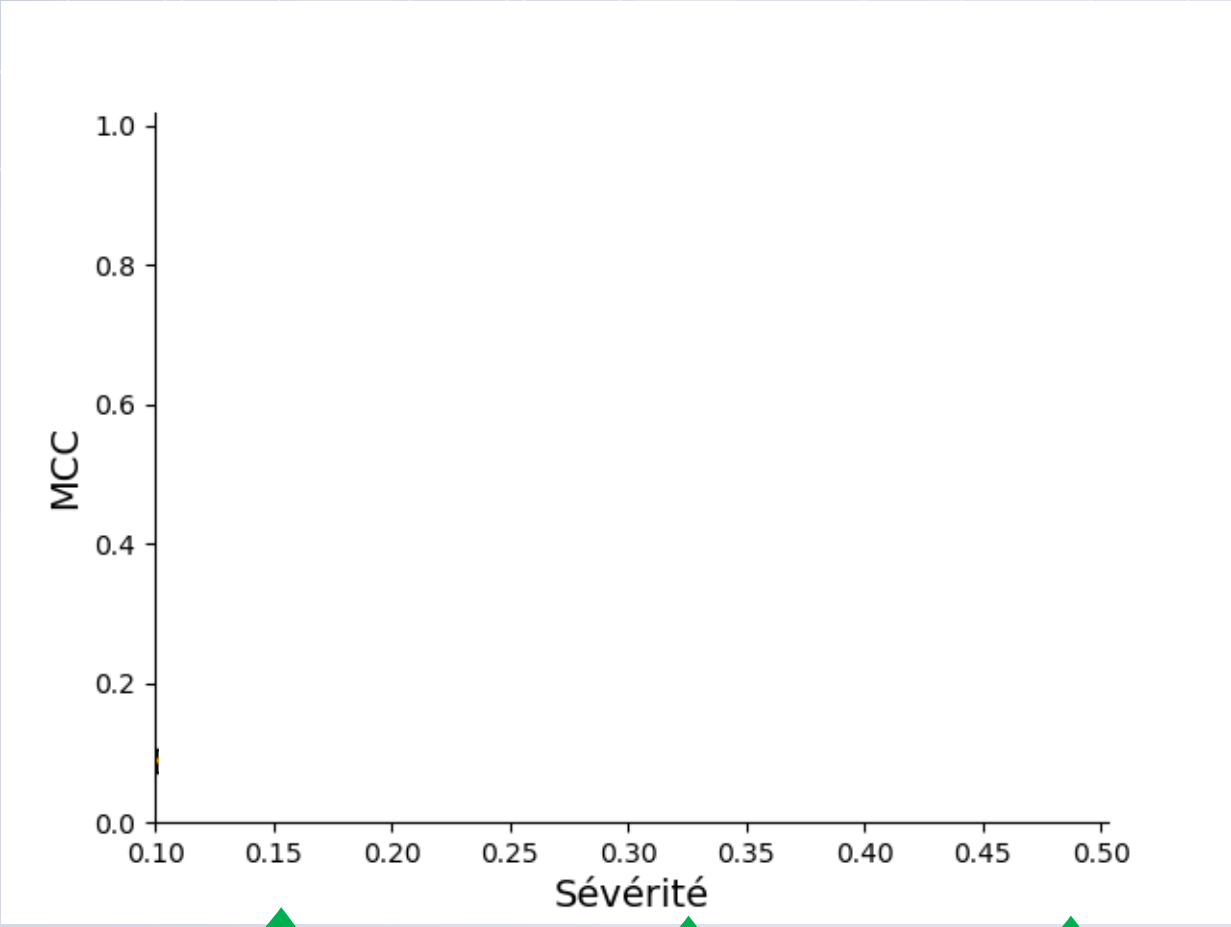
Réseau de neurones utilisé

Le reseau de neurones utilisé est une version simplifiée de **VGG**[1].

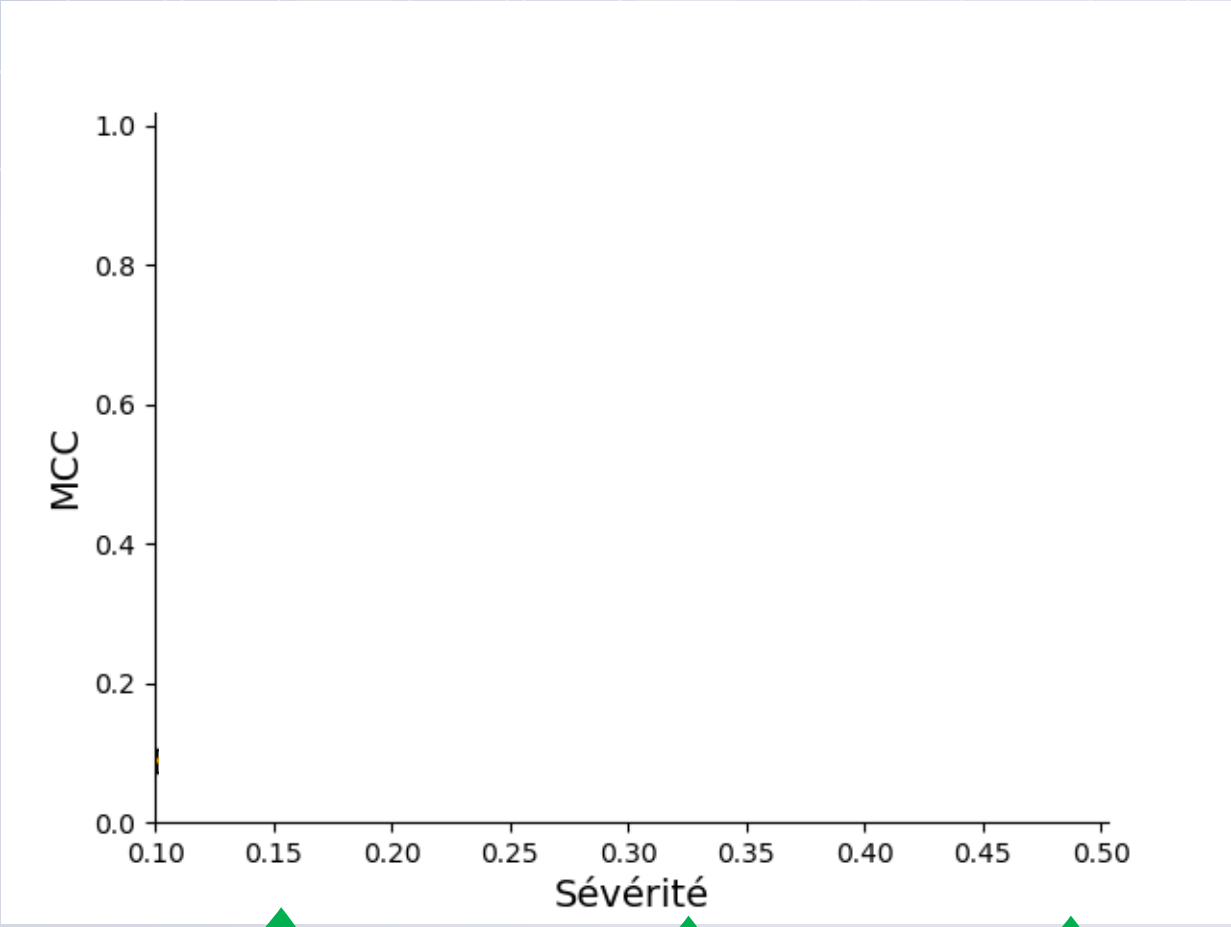


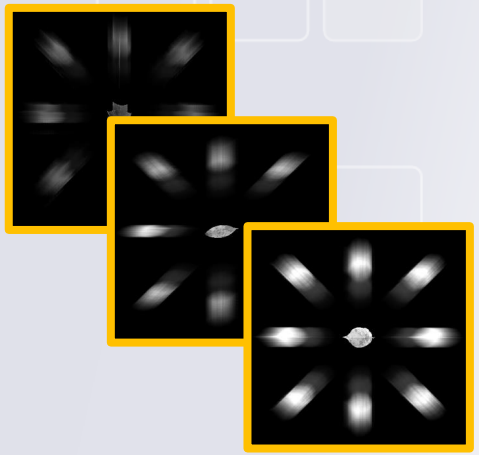
[1] Simonyan et al, *Very deep CNNs for large-scale image recognition* (2014)

Résultats

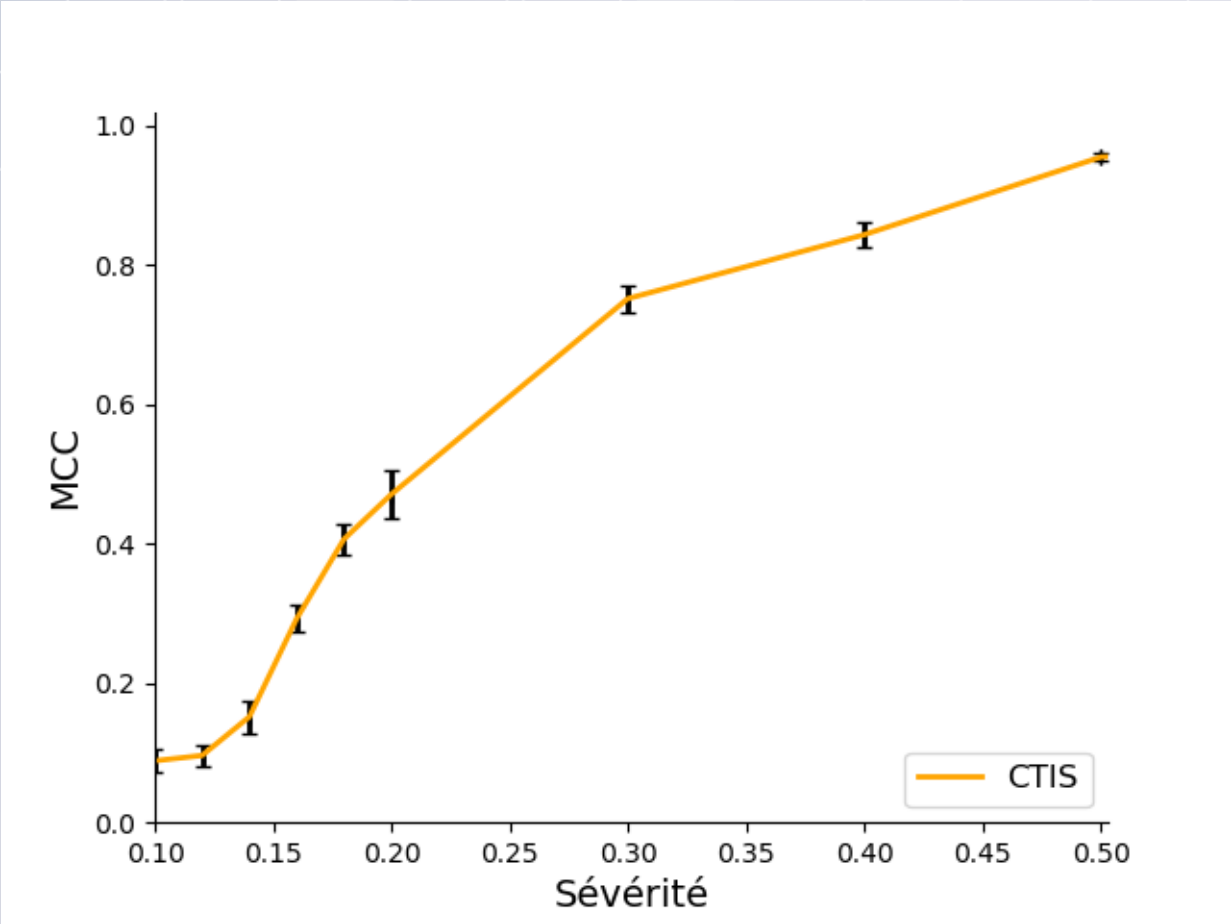

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
MCC
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.45
0.50
Sévérité

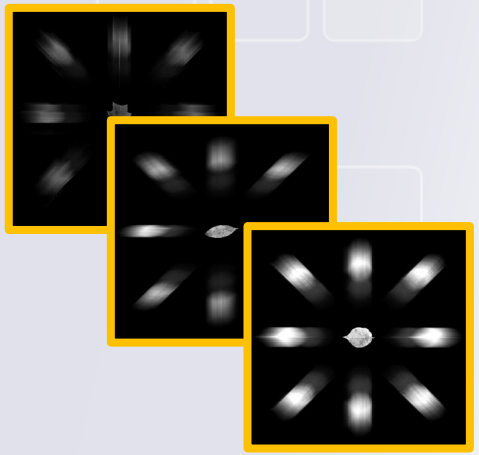
Résultats


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
MCC
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.45
0.50
Sévérité

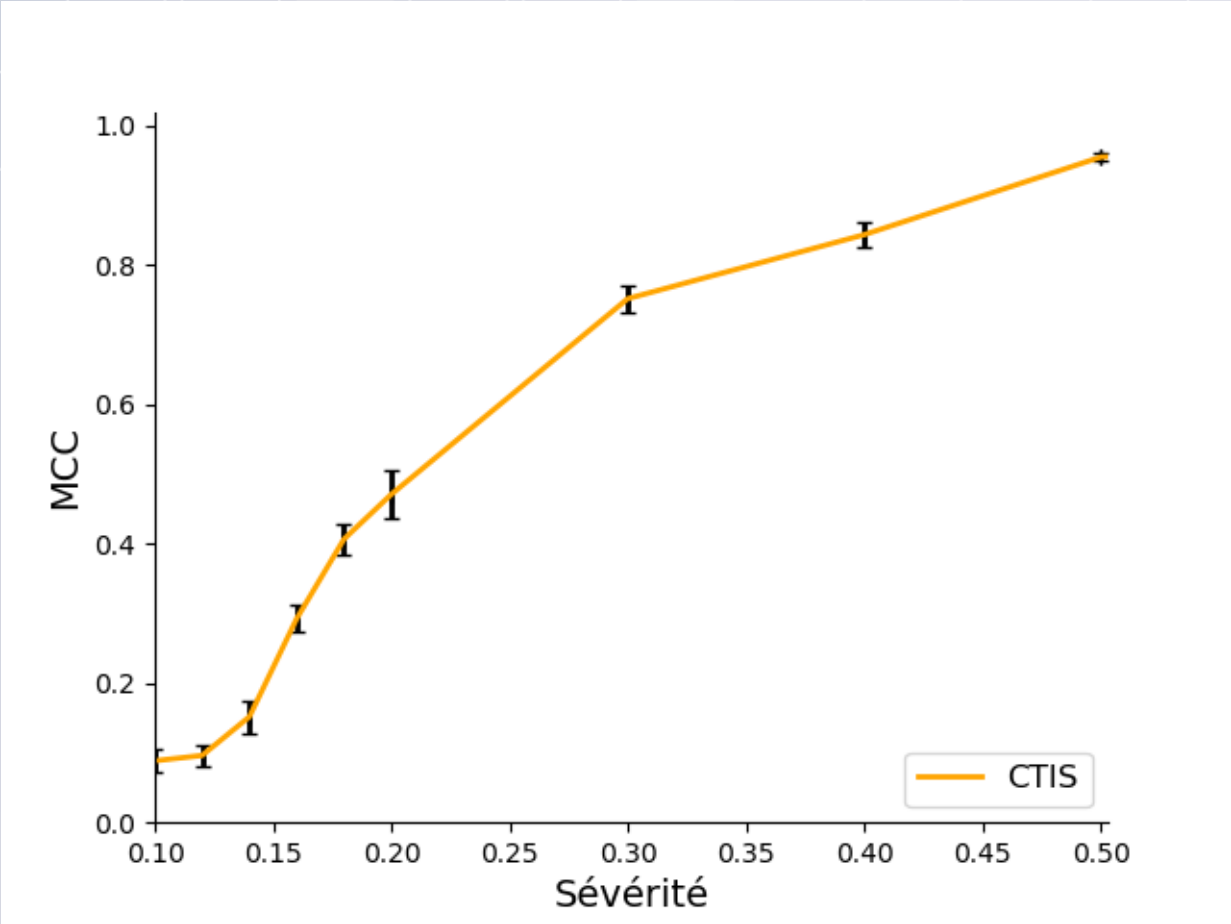


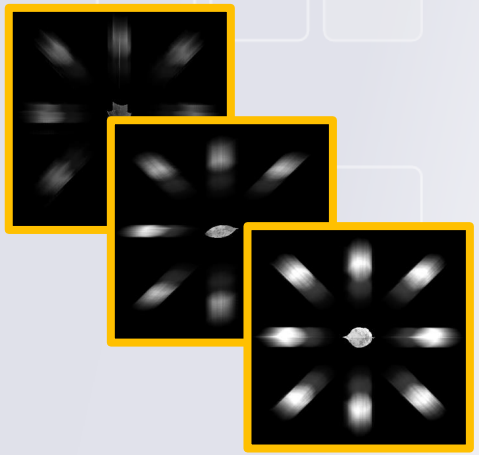
Résultats


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
MCC
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.45
0.50
Sévérité
CTIS



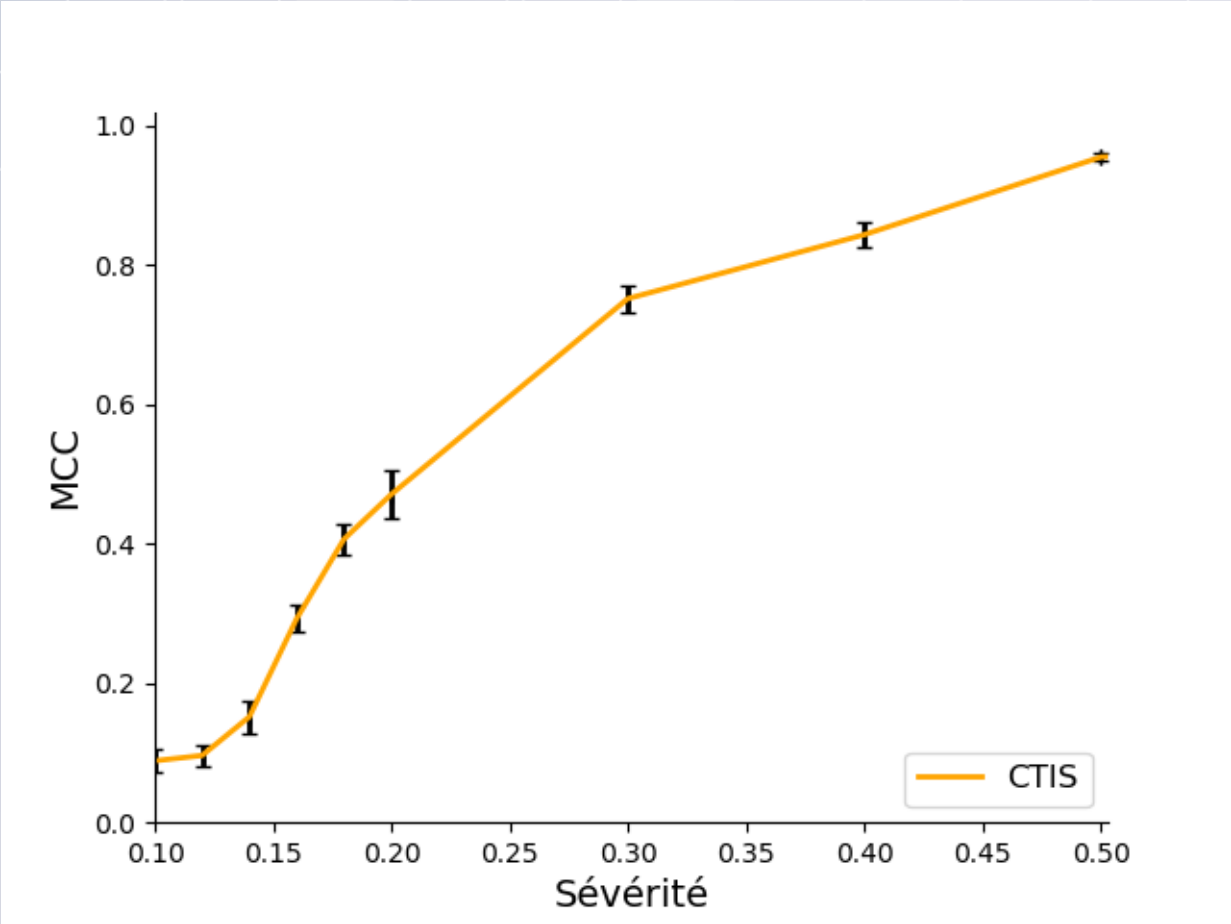
Résultats

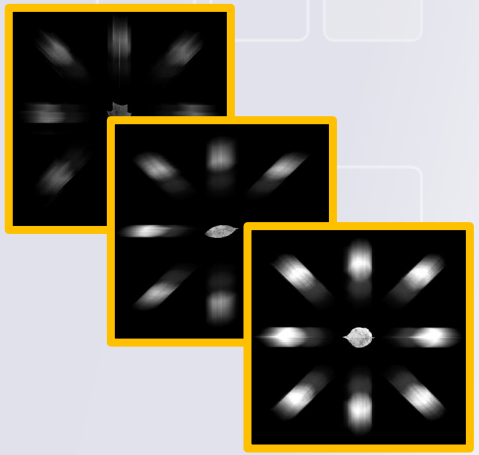




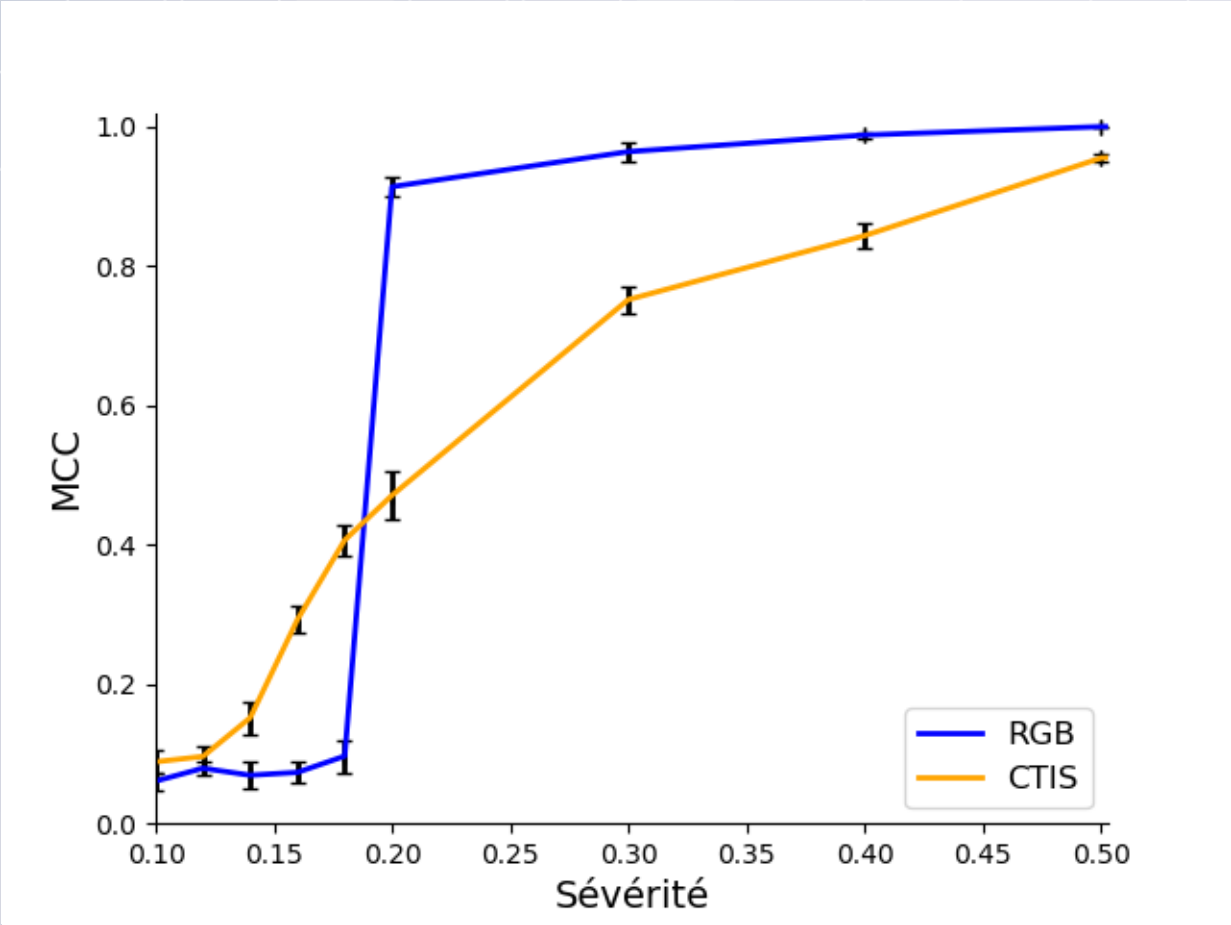
L'apprentissage comprimé sur images CTIS est **possible**.

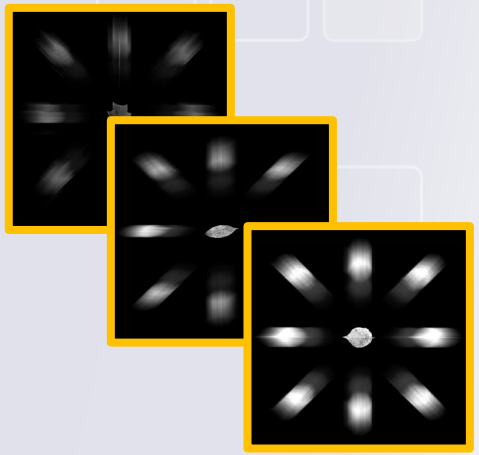
Résultats


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
MCC
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.45
0.50
Sévérité
CTIS



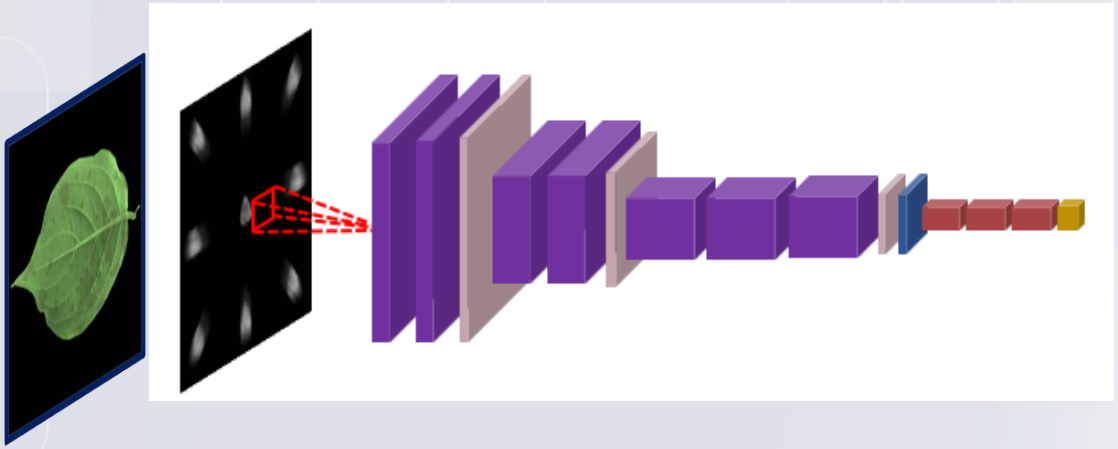
Résultats

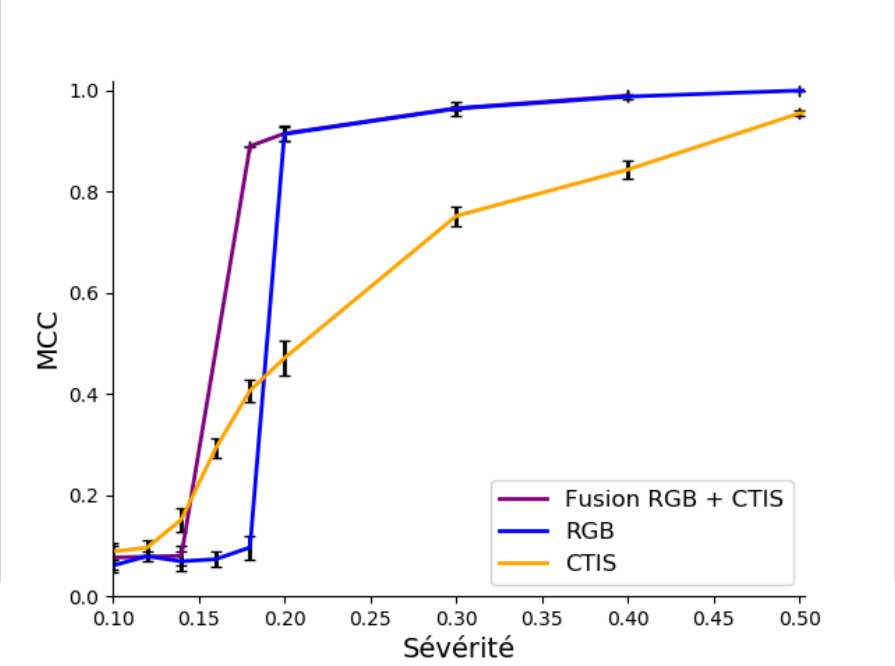




L'apprentissage comprimé sur images CTIS est **plus efficace** que l'apprentissage sur images RGB sur une certaine gamme de contrastes.

Fusion de données





Une fusion de données, même simple, permet un (petit) gain de performances.

Plan

- Contexte industriel
- Un capteur hyperspectral à évaluer
- Création du jeu de données
- Résultats de l'apprentissage
- **Conclusions et perspectives**

Conclusions : apports

- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.

Conclusions : apports

- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.

- Premiers résultats de **fusion** CTIS + autre imagerie.

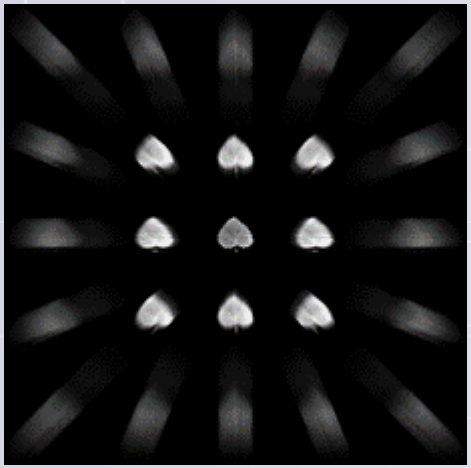
Conclusions : apports

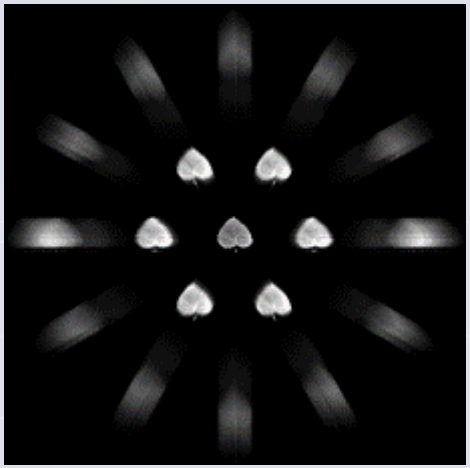
- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.
- Premiers résultats de **fusion** CTIS + autre imagerie.
- Mise au point d'un **simulateur CTIS** laissé en open source[1].

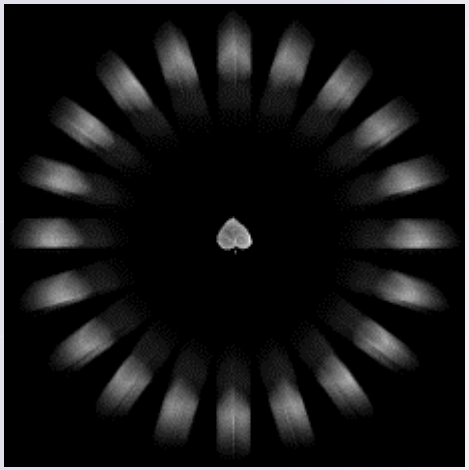
[1] https://gitlab.liris.cnrs.fr/cdouarre/ctis-simulator

Conclusions : apports

- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.
- Premiers résultats de **fusion** CTIS + autre imagerie.
- Mise au point d'un **simulateur CTIS** laissé en open source[1].





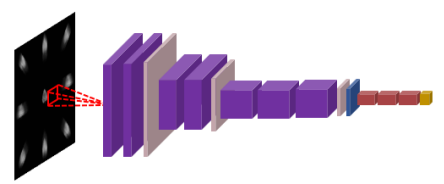


[1] https://gitlab.liris.cnrs.fr/cdouarre/ctis-simulator

Perspectives

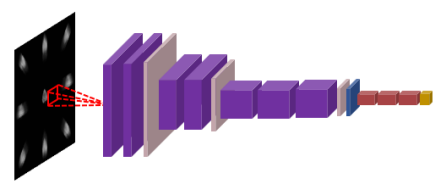
Perspectives

- Implémentation d'une **architecture neuronale spécifique** aux images CTIS, en prenant partie des spécificités de l'image.

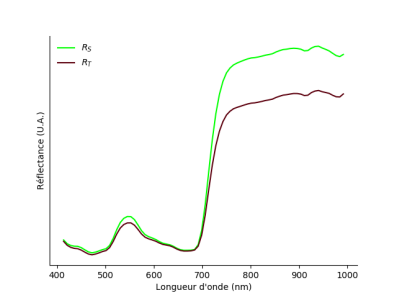


Perspectives

- Implémentation d'une **architecture neuronale spécifique** aux images CTIS, en prenant partie des spécificités de l'image.

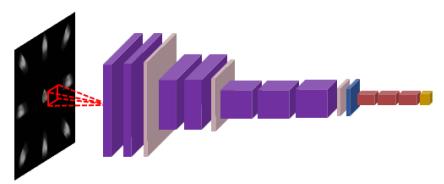


- Modèle de **tavelure plus réaliste**, en particulier au niveau spectral : mesure du spectre entre l'inoculation et le J+14.

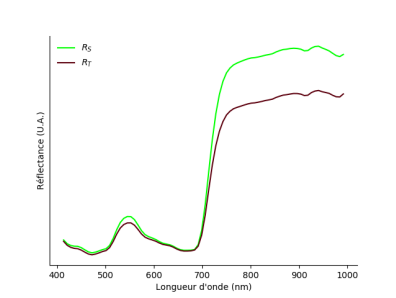


Perspectives

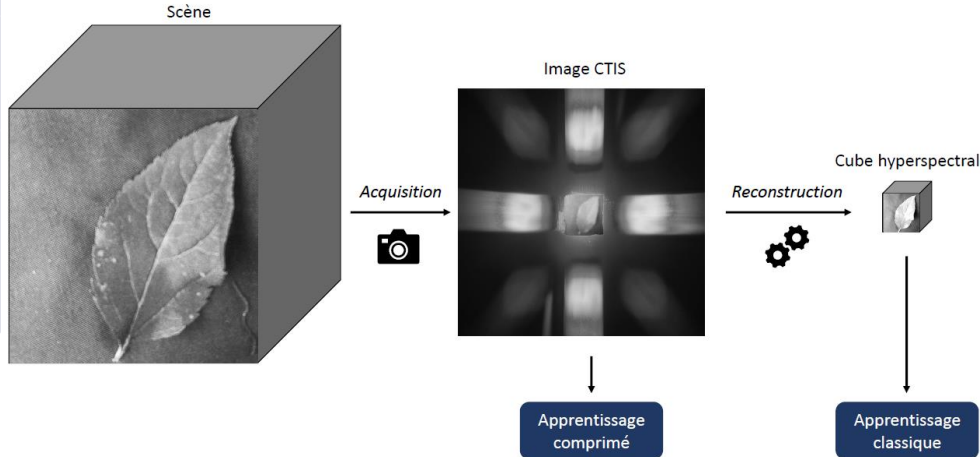
- Implémentation d'une **architecture neuronale spécifique** aux images CTIS, en prenant partie des spécificités de l'image.



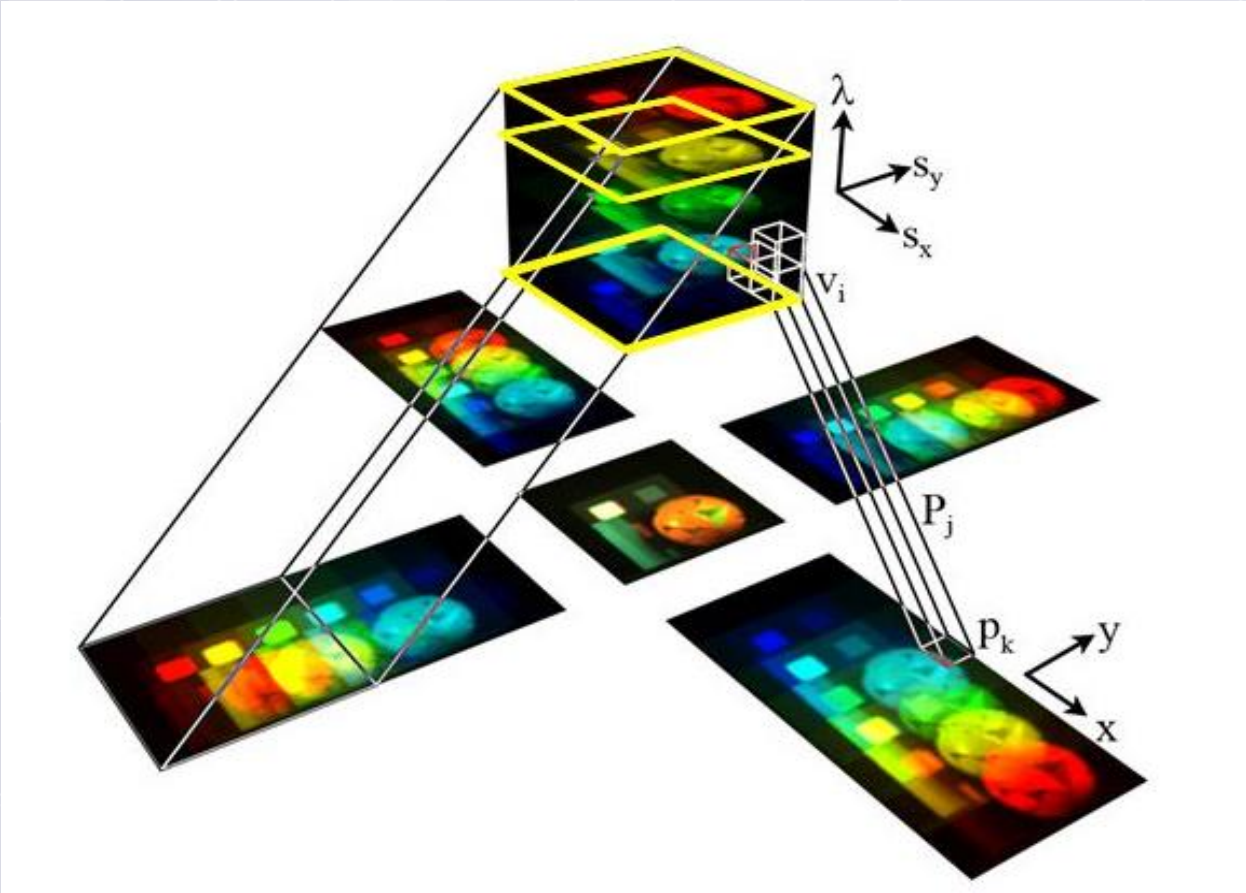
- Modèle de **tavelure plus réaliste**, en particulier au niveau spectral : mesure du spectre entre l'inoculation et le J+14.



- Comparaison des résultats avec un apprentissage "classique" sur **cubes reconstruits.**



Merci pour votre attention



Source image : Habel et al, Practical Spectral Photography (2012)