

Spectro-imagerie et apprentissage comprimé

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



Carbon Bee



université
angers



INSA



Lyon 1

— université
— LUMIÈRE
— LYON 2



ÉCOLE
CENTRALE LYON



Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 dans la Drôme, propose une aide aux agriculteurs.



Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 dans la Drôme, propose une aide aux agriculteurs.

Développe des solutions de **détection automatique** de mauvaises herbes et de maladies de plantes **à partir d'images**.



Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 dans la Drôme, propose une aide aux agriculteurs.

Développe des solutions de **détection automatique** de mauvaises herbes et de maladies de plantes **à partir d'images**.

Solutions proposées :

une **caméra** comprenant plusieurs capteurs, dont un capteur hyperspectral,



Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 dans la Drôme, propose une aide aux agriculteurs.

Développe des solutions de **detection automatique** de mauvaises herbes et de maladies de plantes **à partir d'images**.

Solutions proposées :

une **caméra** comprenant plusieurs capteurs, dont un capteur hyperspectral,





Carbon Bee

Entreprise créée en 2015 dans la Drôme, propose une aide aux agriculteurs.

Développe des solutions de **détection automatique** de mauvaises herbes et de maladies de plantes **à partir d'images**.

Solutions proposées :

une **caméra** comprenant plusieurs capteurs, dont un capteur hyperspectral,

un **algorithme d'apprentissage profond** qui procède à la détection des cibles sur les images acquises.



Plan

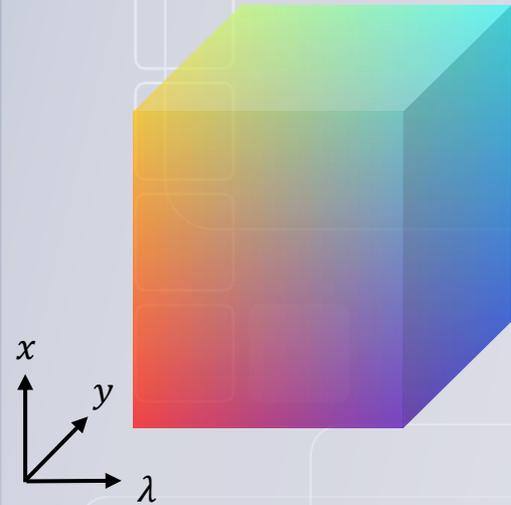
- Contexte industriel
- Un capteur hyperspectral à évaluer
- Création du jeu de données
- Résultats de l'apprentissage
- Conclusions et perspectives

Plan

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

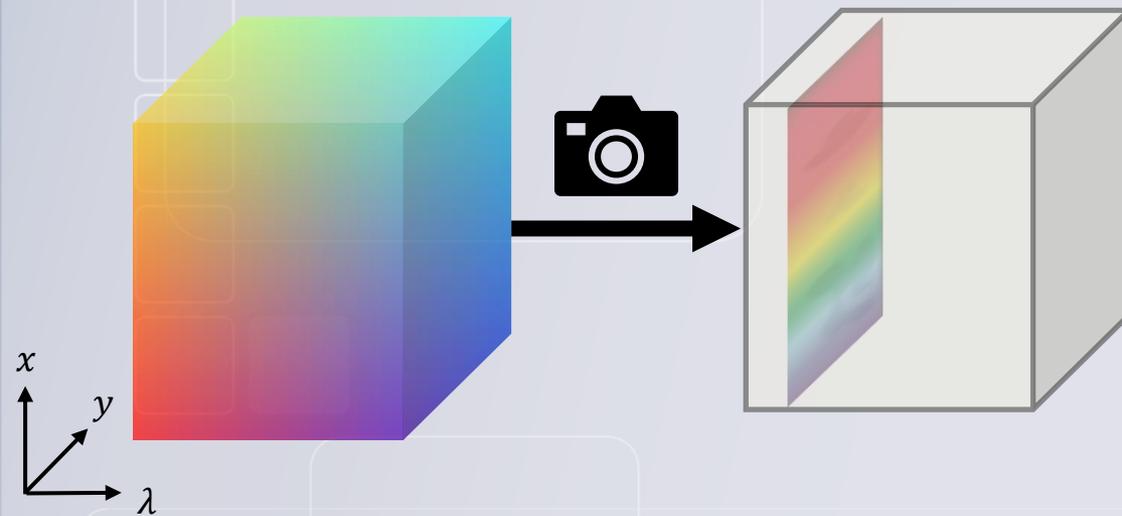
Capteurs hyperspectraux instantanés

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



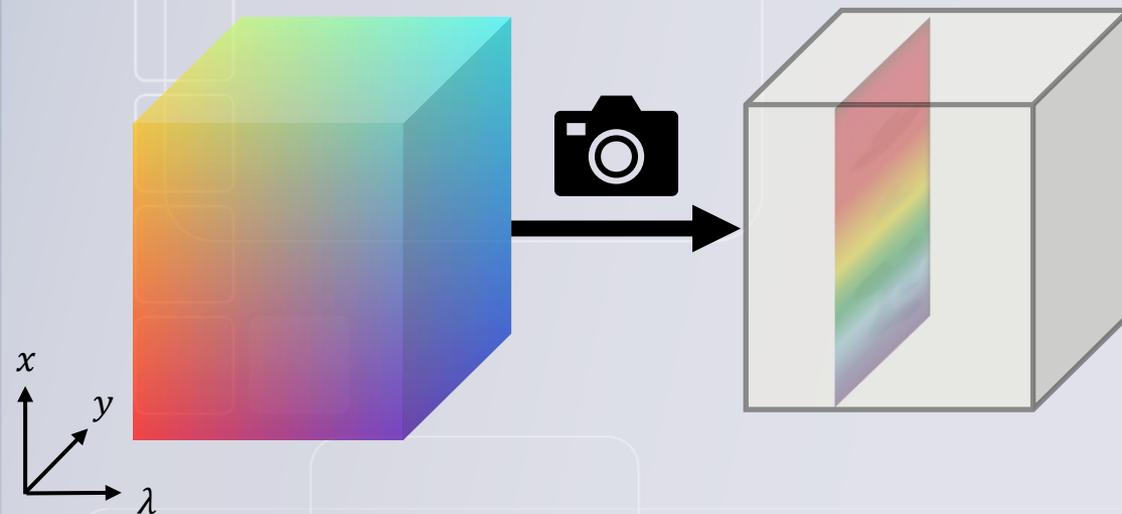
Capteurs hyperspectraux instantanés

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



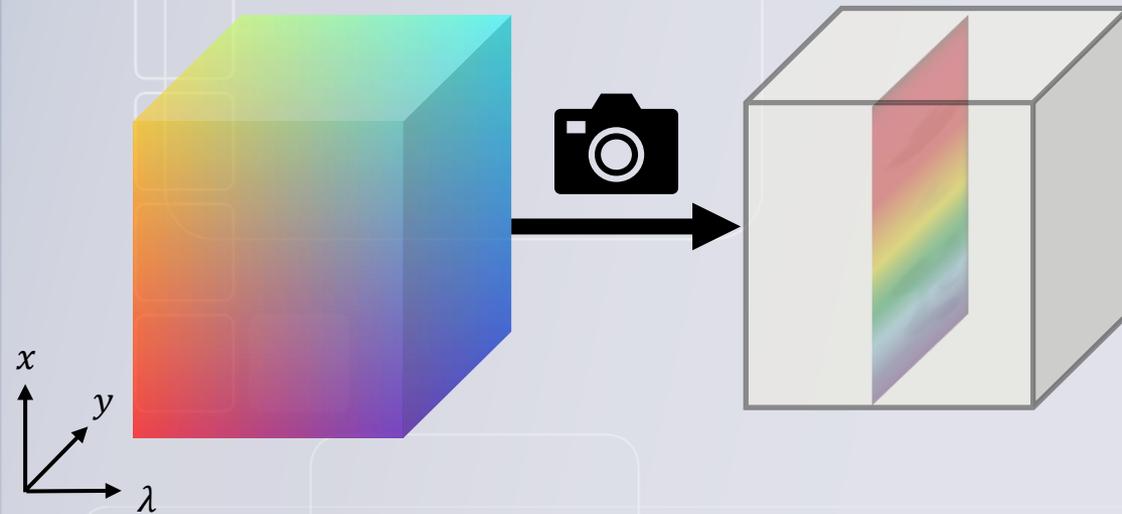
Capteurs hyperspectraux instantanés

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



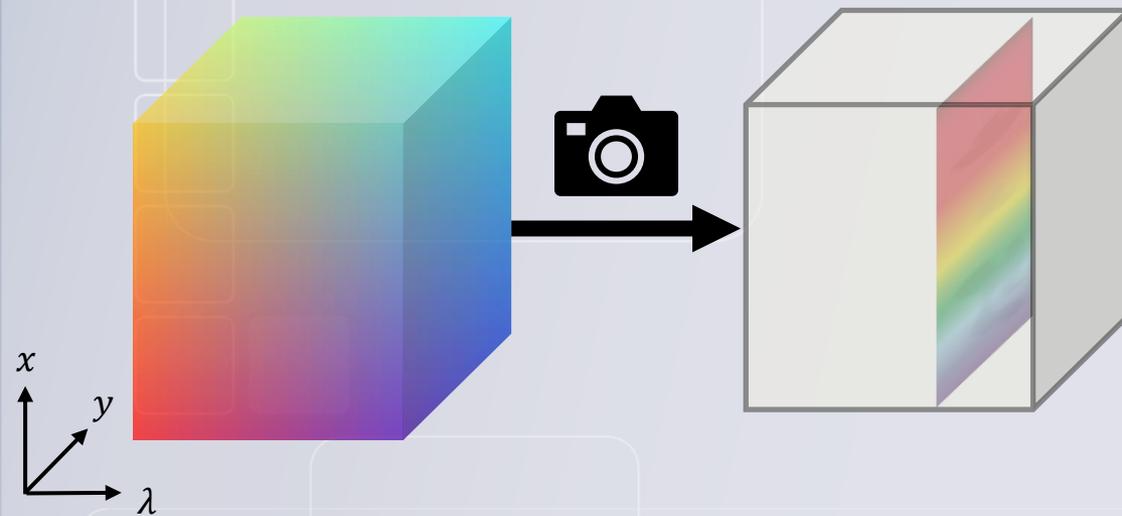
Capteurs hyperspectraux instantanés

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



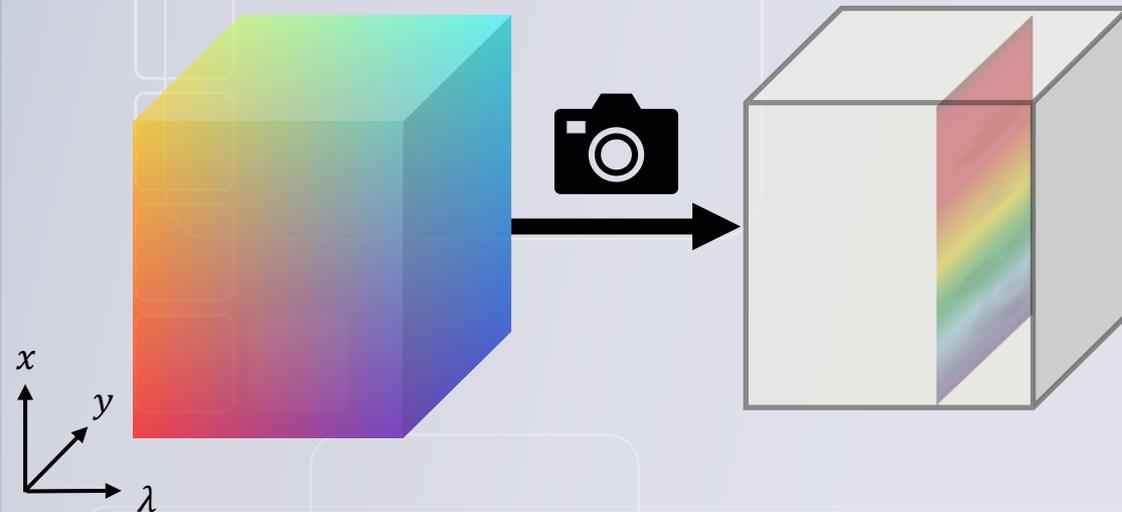
Capteurs hyperspectraux instantanés

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



Capteurs hyperspectraux instantanés

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

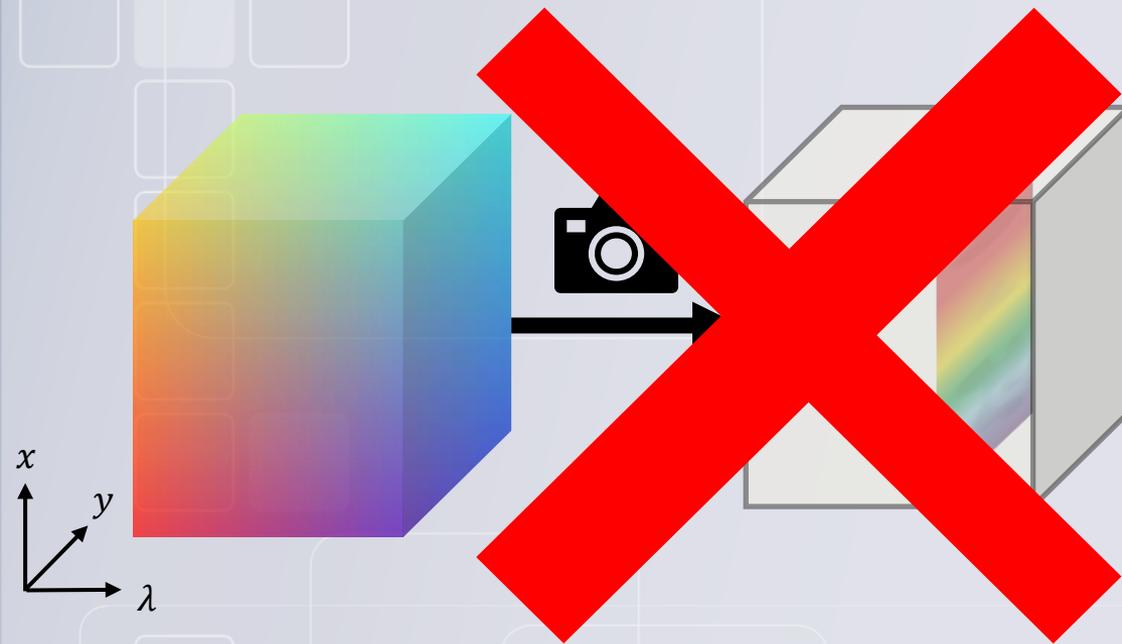


Inconvénients de ces méthodes¹ :

- acquisition lente,
- artefacts de mouvement,
- la scène doit être statique.

Capteurs hyperspectraux instantanés

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



Inconvénients de ces méthodes¹ :

- acquisition lente,
- artefacts de mouvement,
- la scène doit être statique.

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

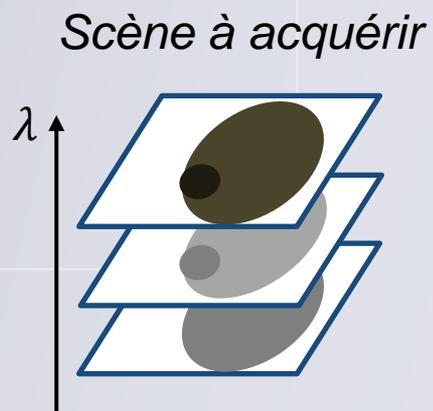
Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané : le spectromètre imageur par tomographie¹ (***Computed Tomography Imaging Spectrometer*** (CTIS)).

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

Le CTIS

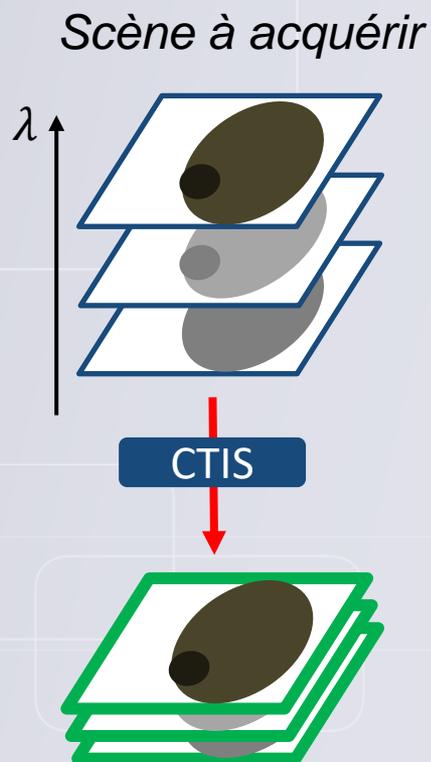
Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané : le spectromètre imageur par tomographie¹ (**Computed Tomography Imaging Spectrometer (CTIS)**).



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

Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané : le spectromètre imageur par tomographie¹ (**Computed Tomography Imaging Spectrometer (CTIS)**).

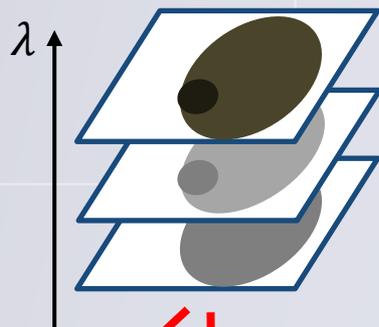


[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

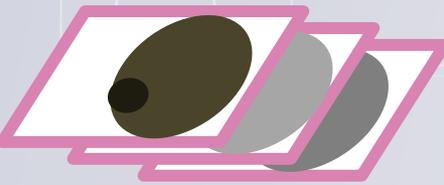
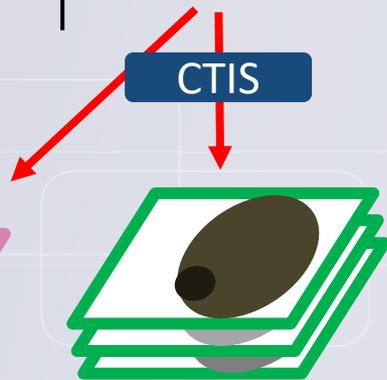
Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané : le spectromètre imageur par tomographie¹ (**Computed Tomography Imaging Spectrometer (CTIS)**).

Scène à acquérir



CTIS

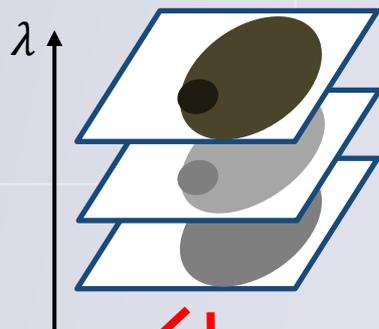


[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

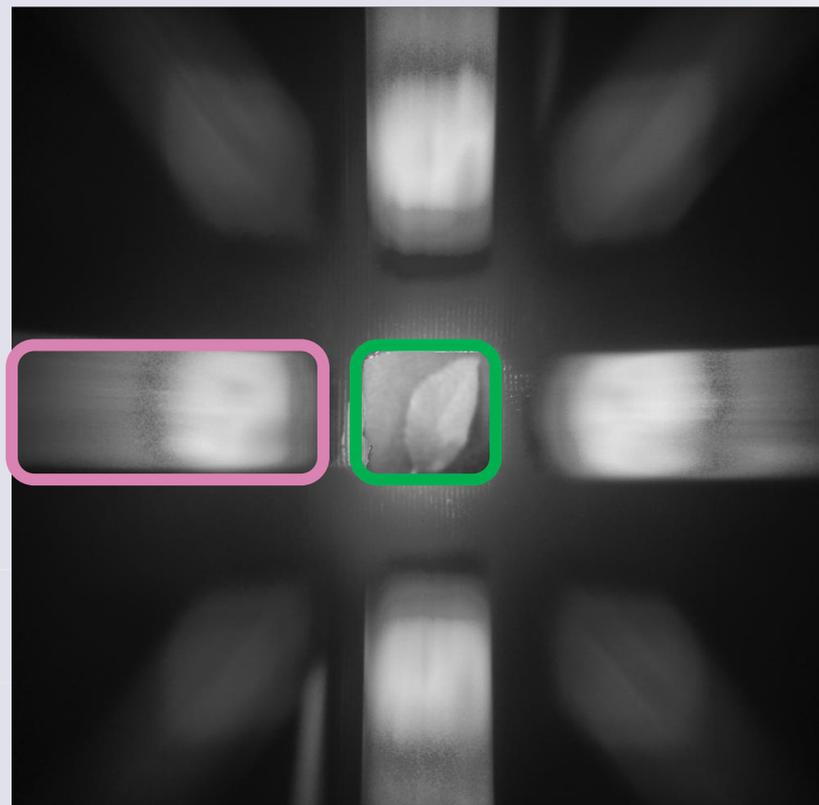
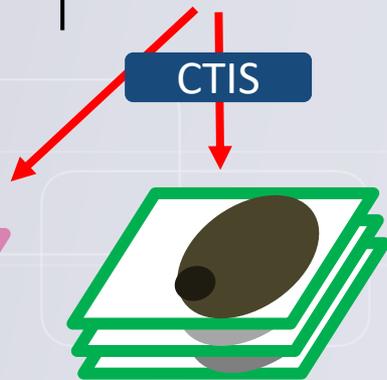
Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané : le spectromètre imageur par tomographie¹ (**Computed Tomography Imaging Spectrometer (CTIS)**).

Scène à acquérir



CTIS

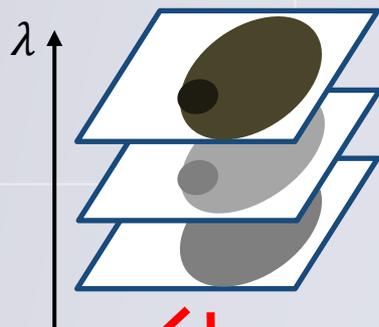


[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)

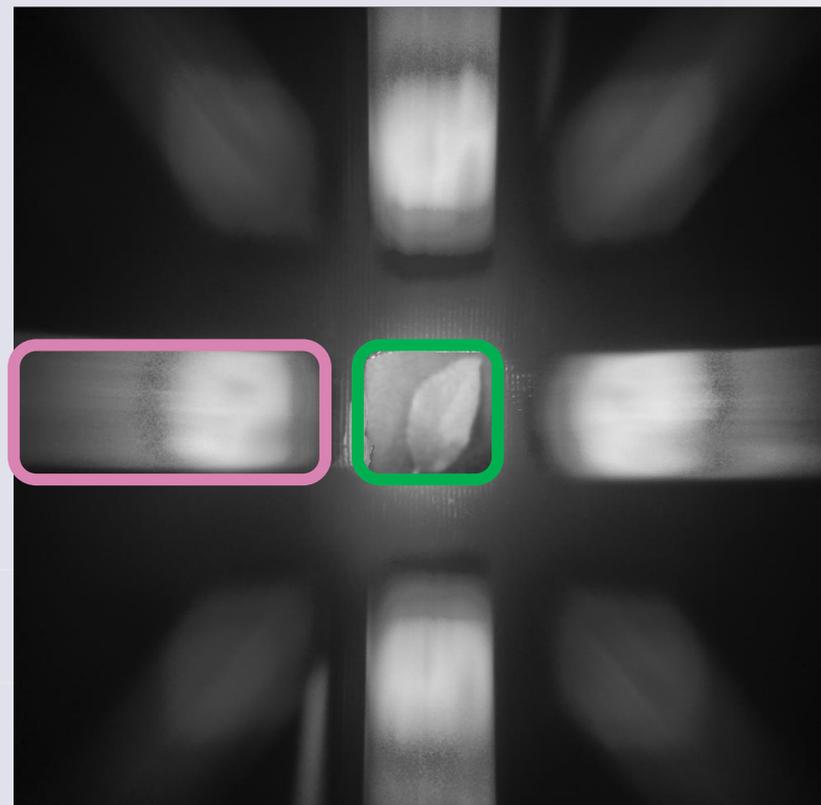
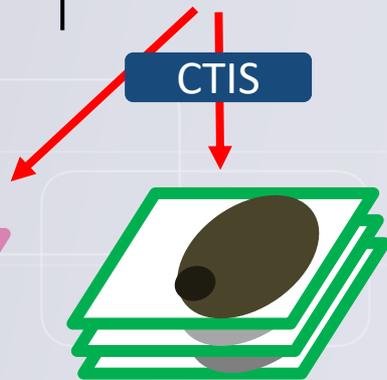
Le CTIS

Carbon Bee utilise un capteur hyperspectral instantané : le spectromètre imageur par tomographie¹ (**Computed Tomography Imaging Spectrometer (CTIS)**).

Scène à acquérir



CTIS



Mais où est le cube hyperspectral ?

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

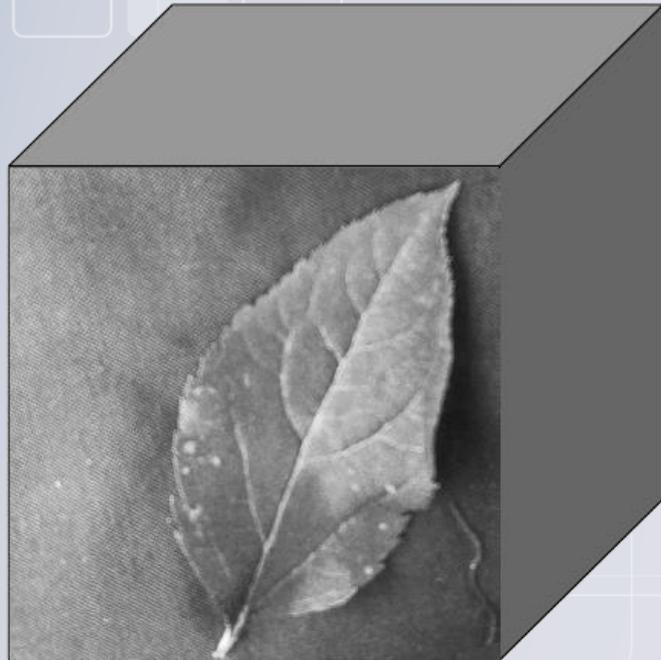
Il est nécessaire de reconstruire le cube

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

Il est nécessaire de reconstruire le cube

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

Scène



Acquisition



(signal indirect)

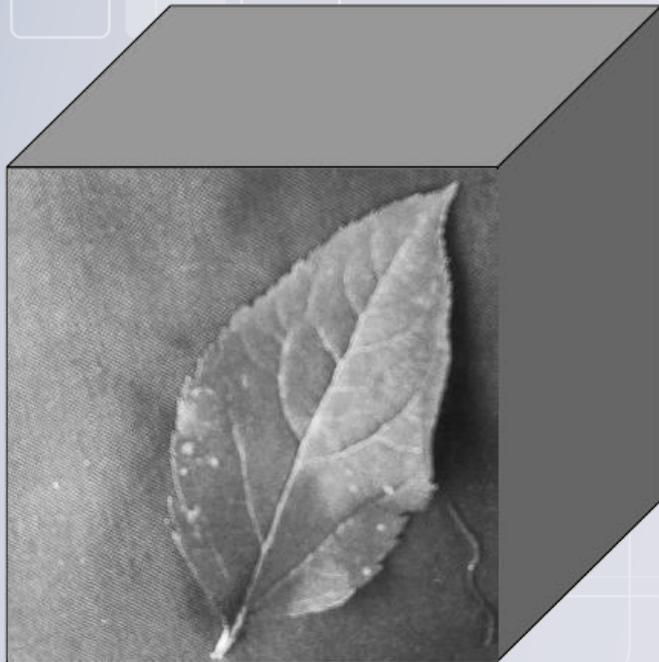
Image CTIS



Il est nécessaire de reconstruire le cube

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

Scène

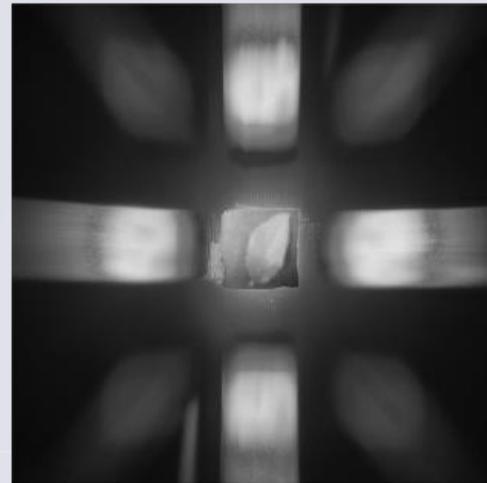


Acquisition



(*signal indirect*)

Image CTIS



Reconstruction



(*signal reconstruit*)

Cube hyperspectral



Apprentissage comprimé

Les algorithmes d'apprentissage basés sur le CTIS s'appliquent sur le cube reconstruit... une autre voie est-elle possible ?

Scène

(signal indirect)

Image CTIS

(signal reconstruit)

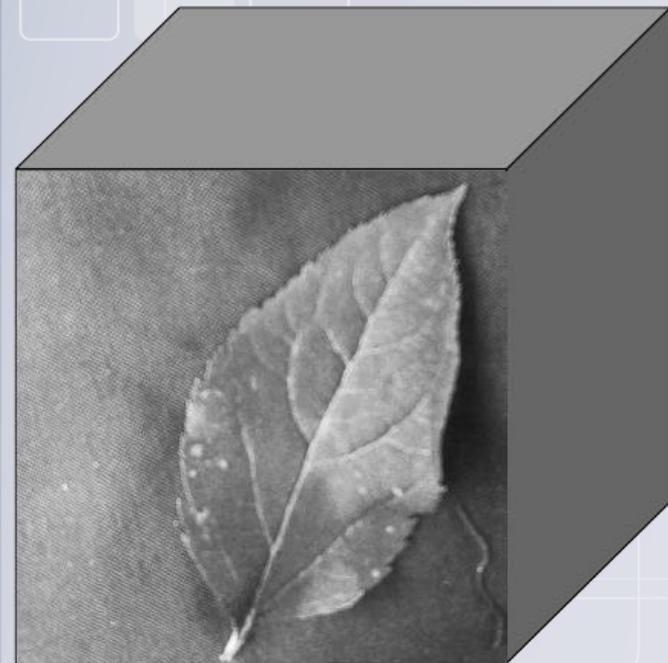
Cube hyperspectral

Acquisition

Reconstruction

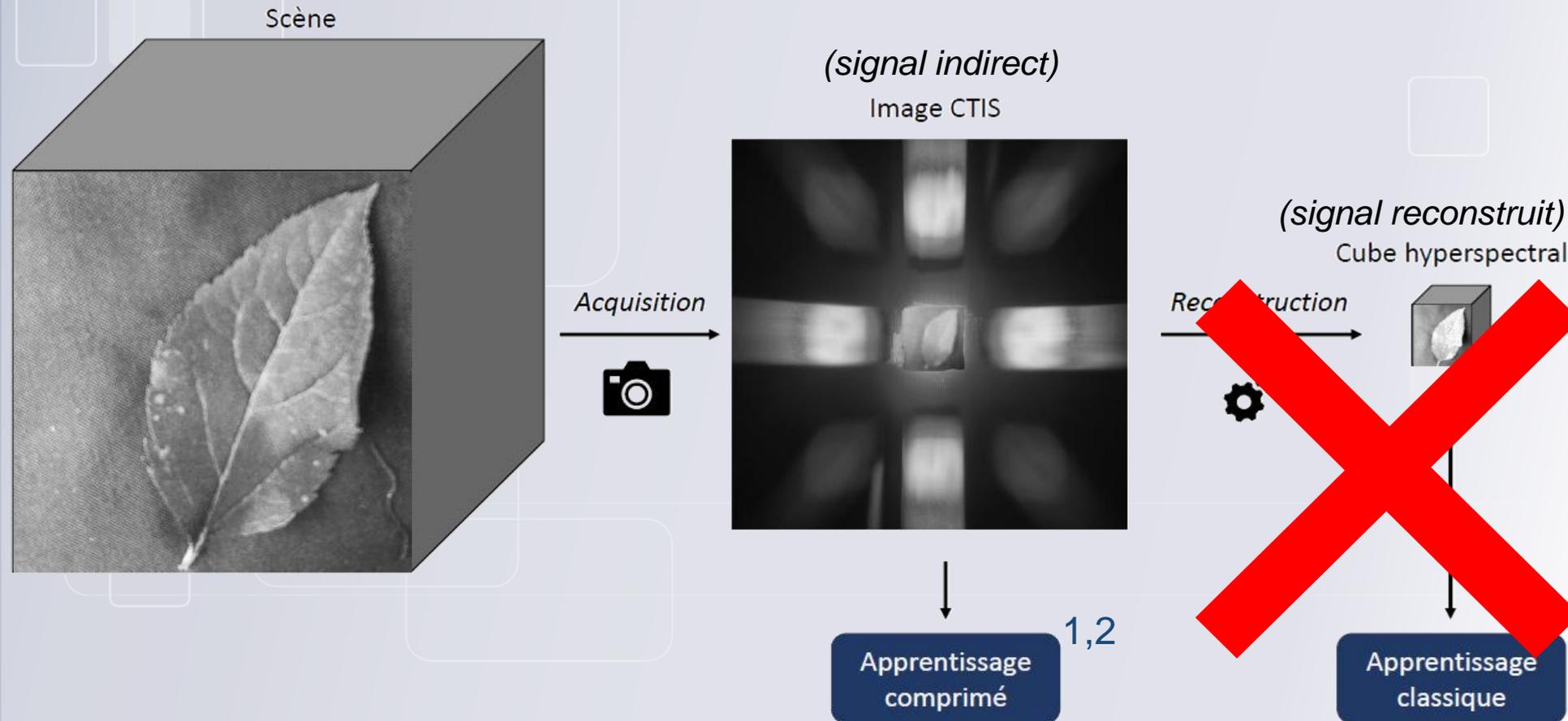


Apprentissage classique



Apprentissage comprimé

Les algorithmes d'apprentissage basés sur le CTIS s'appliquent sur le cube reconstruit... une autre voie est-elle possible ?



[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

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)

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

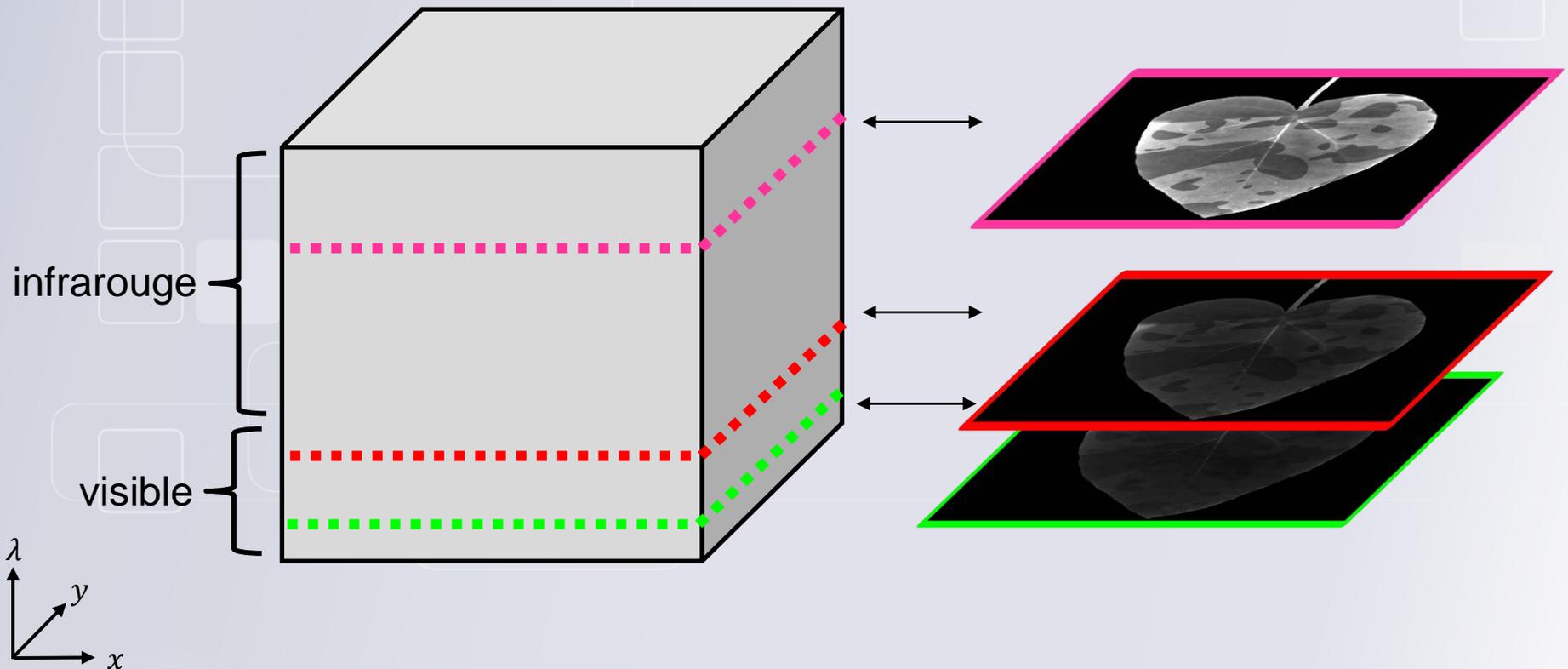
Elle est causée par le développement d'un champignon, et se manifeste par des taches sombres visibles principalement en lumière infrarouge.



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

Un jeu de cubes hyperspectraux

Nous avons créé un grand nombre de cubes hyperspectraux simulés représentant des feuilles atteintes de tavelure.



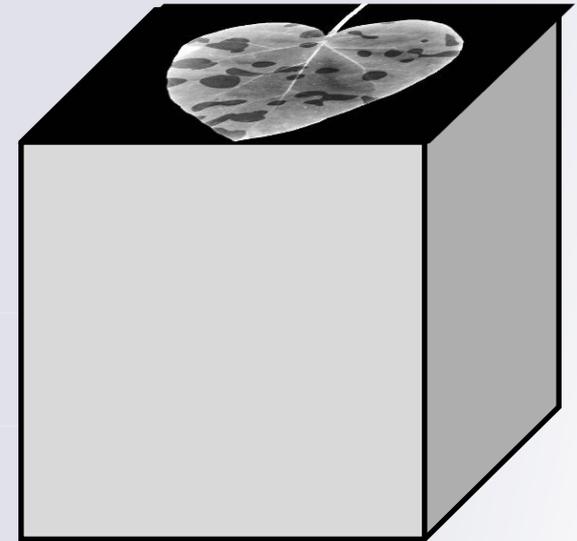
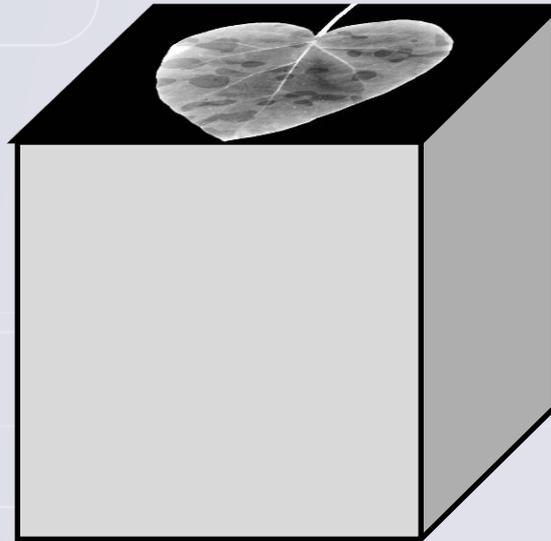
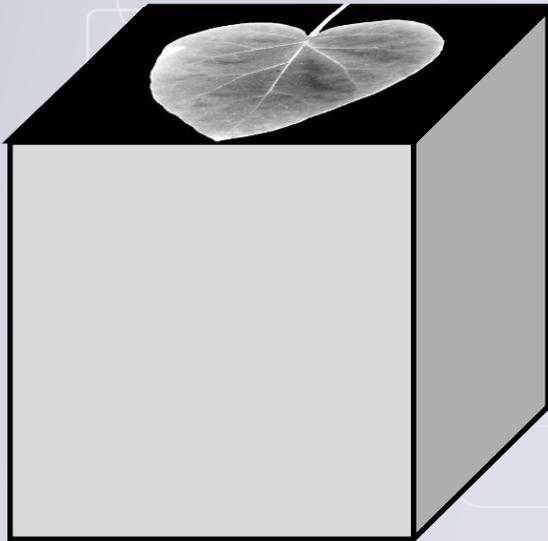
Des jeux à difficulté variables

De plus, nous avons introduit un paramètre de “sévérité” représentant le stade de développement de l’infection, afin de créer des tâches de détection plus ou moins difficiles.

0

sévérité

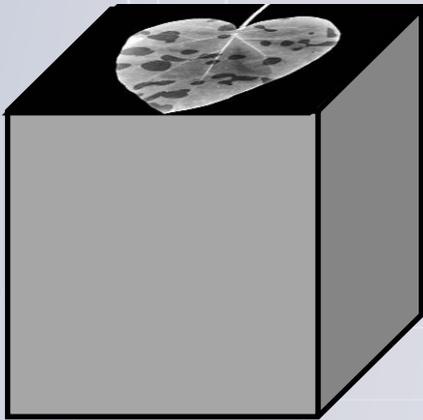
1



Le simulateur CTIS

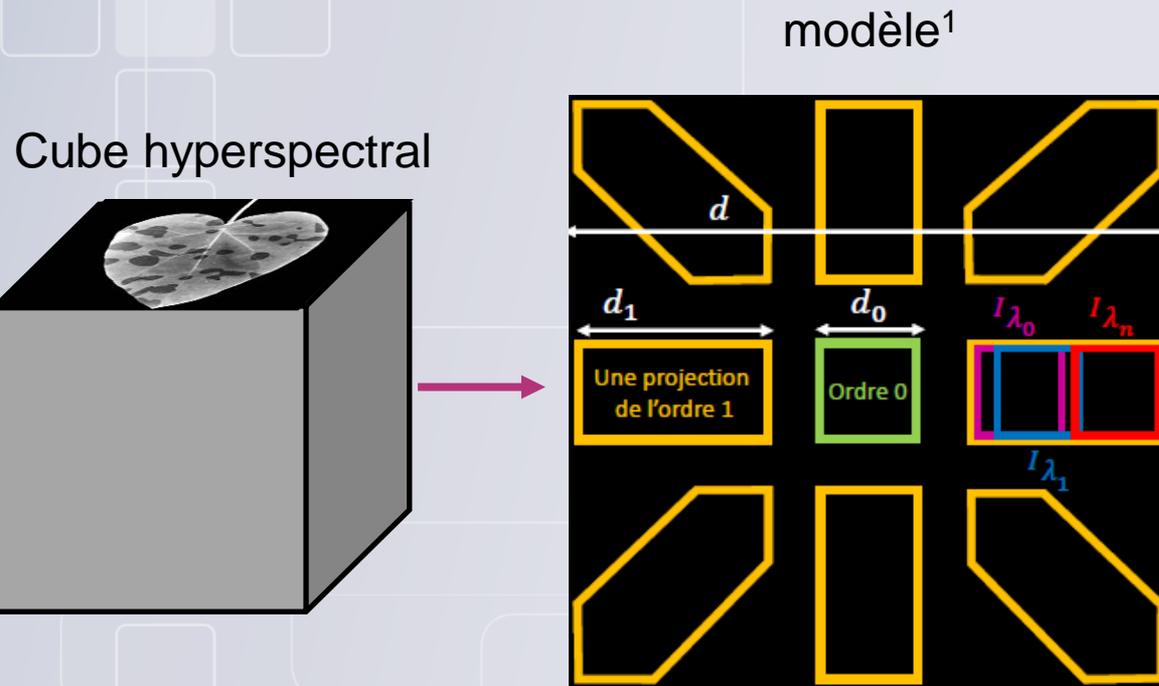
Nous avons par la suite implémenté un **simulateur CTIS** qui permet de créer des images CTIS à partir de cubes hyperspectraux.

Cube hyperspectral



Le simulateur CTIS

Nous avons par la suite implémenté un **simulateur CTIS** qui permet de créer des images CTIS à partir de cubes hyperspectraux.



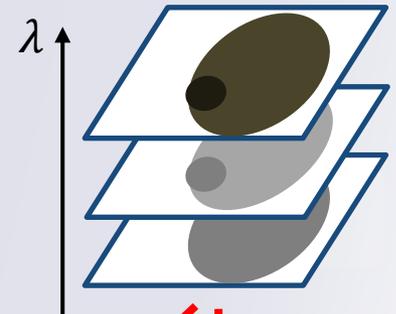
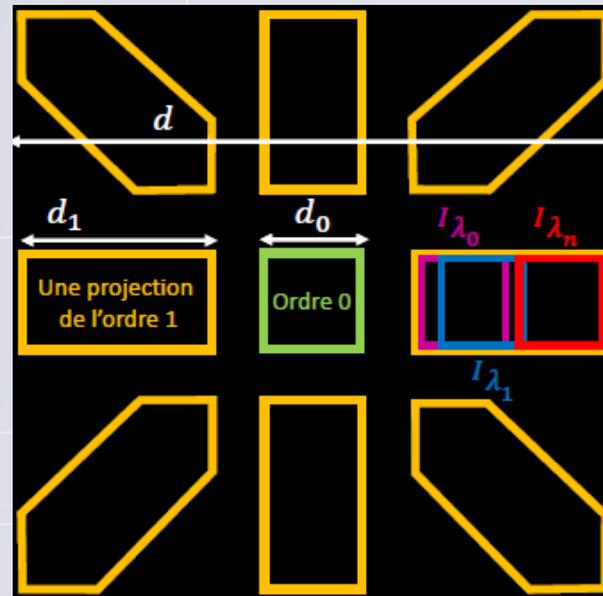
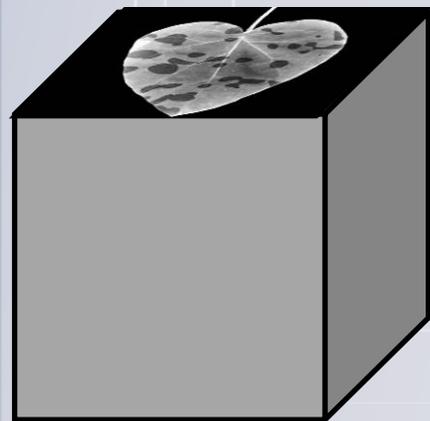
[1] Hagen et al, *Maximizing the resolution of a CTIS instrument* (2006)

Le simulateur CTIS

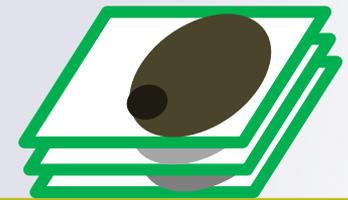
Nous avons par la suite implémenté un **simulateur CTIS** qui permet de créer des images CTIS à partir de cubes hyperspectraux.

modèle¹

Cube hyperspectral



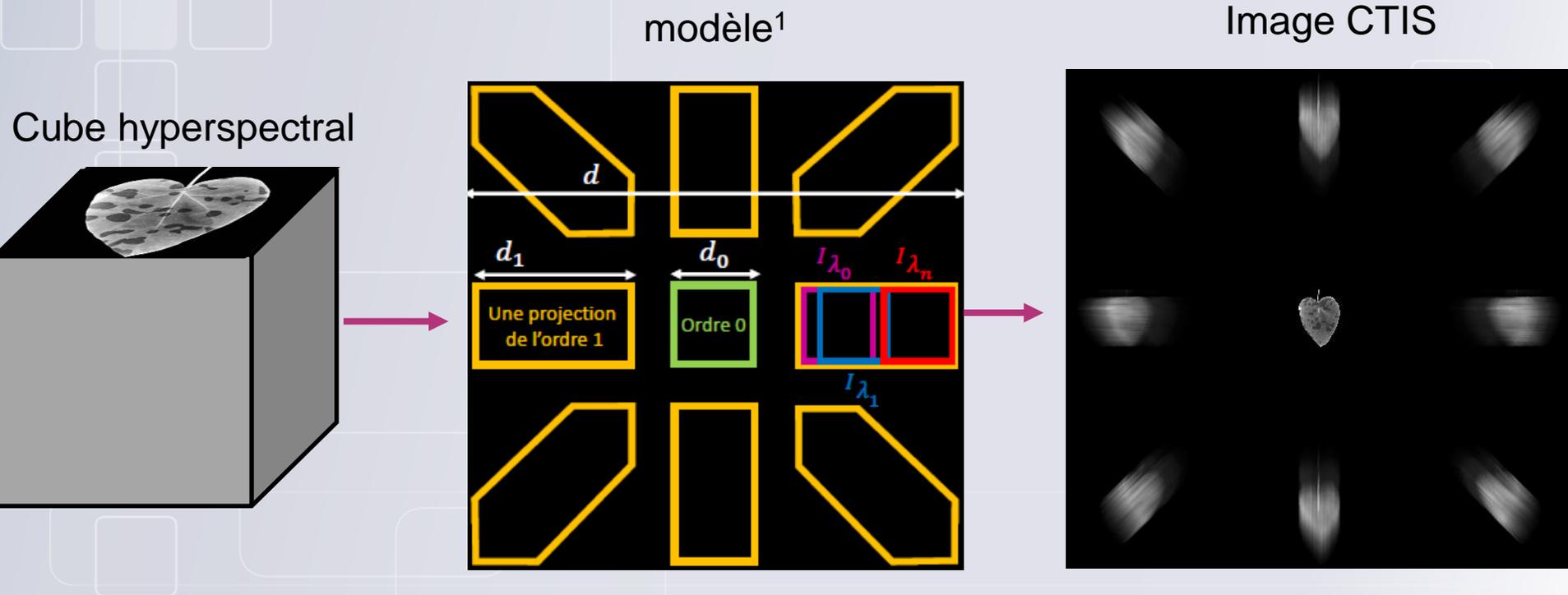
CTIS



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

Le simulateur CTIS

Nous avons par la suite implémenté un **simulateur CTIS** qui permet de créer des images CTIS à partir de cubes hyperspectraux.



Les jeux de données : une tâche de classification

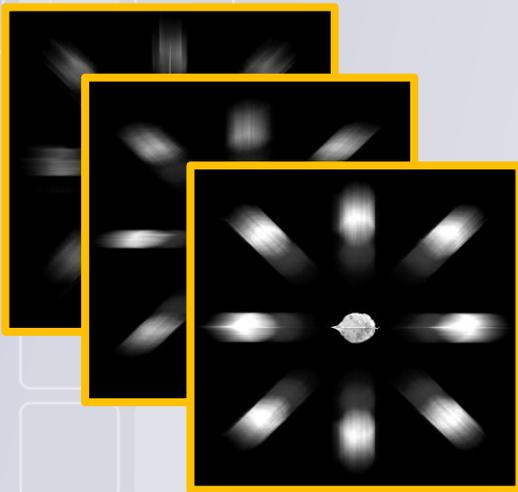


Image1.png : sain
Image2.png : malade

...

Les jeux de données : une tâche de classification

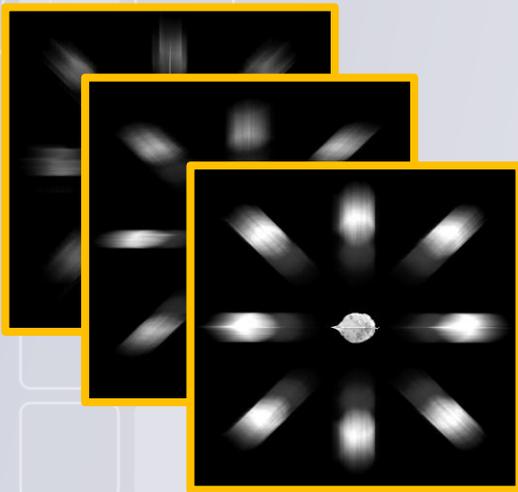


Image1.png : sain
Image2.png : malade

...

Chaque jeu contient 3000 images de 512 x 512 pixels.

Les jeux de données : une tâche de classification

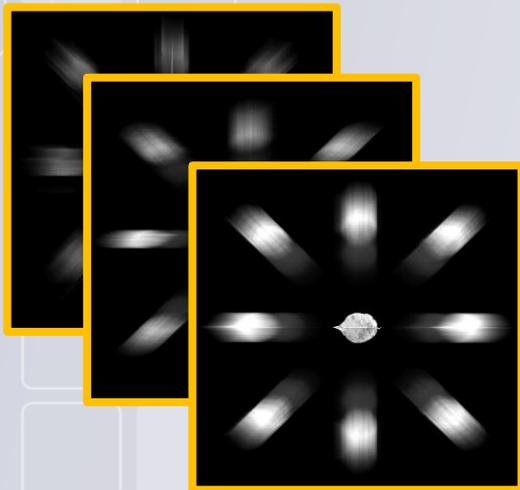


Image1.png : sain
Image2.png : malade
...

Chaque jeu contient 3000 images de 512 x 512 pixels.

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

Les jeux de données : une tâche de classification

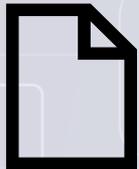
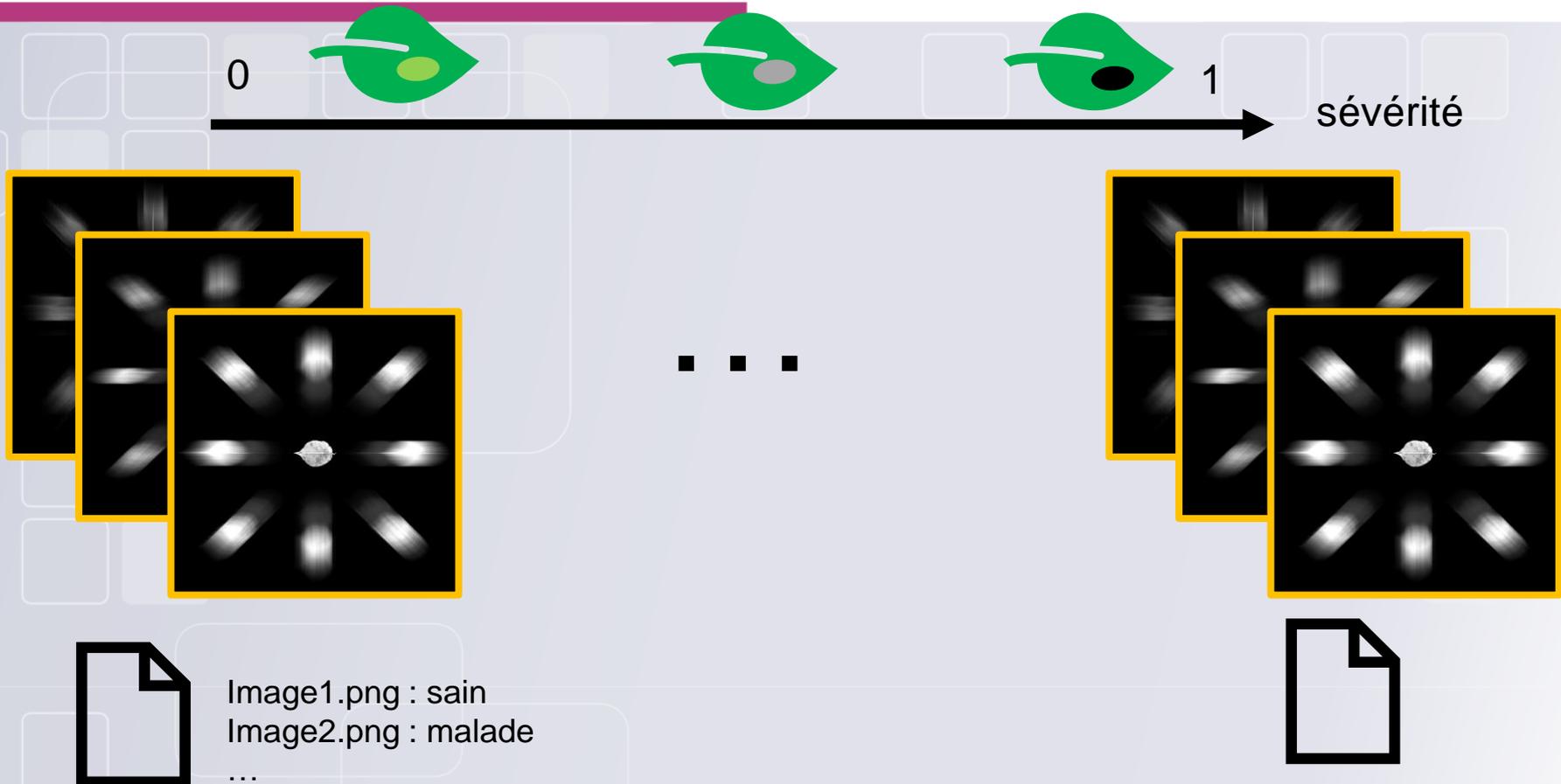


Image1.png : sain
Image2.png : malade
...

Chaque jeu contient 3000 images de 512 x 512 pixels.

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

Les jeux de données : une tâche de classification



Chaque jeu contient 3000 images de 512 x 512 pixels.

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

Plan

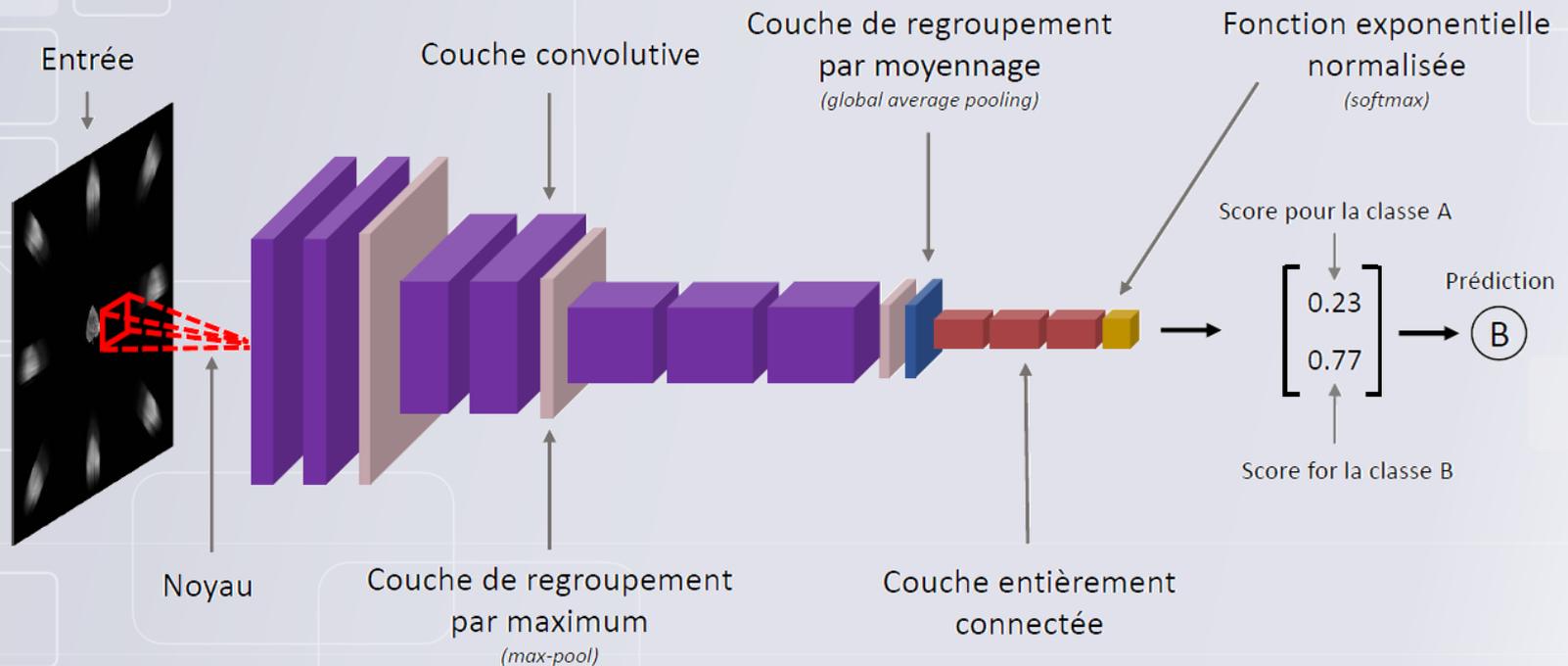
- Contexte industriel
- Un capteur hyperspectral à évaluer
- Création du jeu de données
- **Résultats de l'apprentissage**
- Conclusions et perspectives

Un réseau de neurones comme algorithme d'apprentissage

Nous avons employé pour la classification un **réseau de neurones**. Son architecture est une version simplifiée de VGG¹.

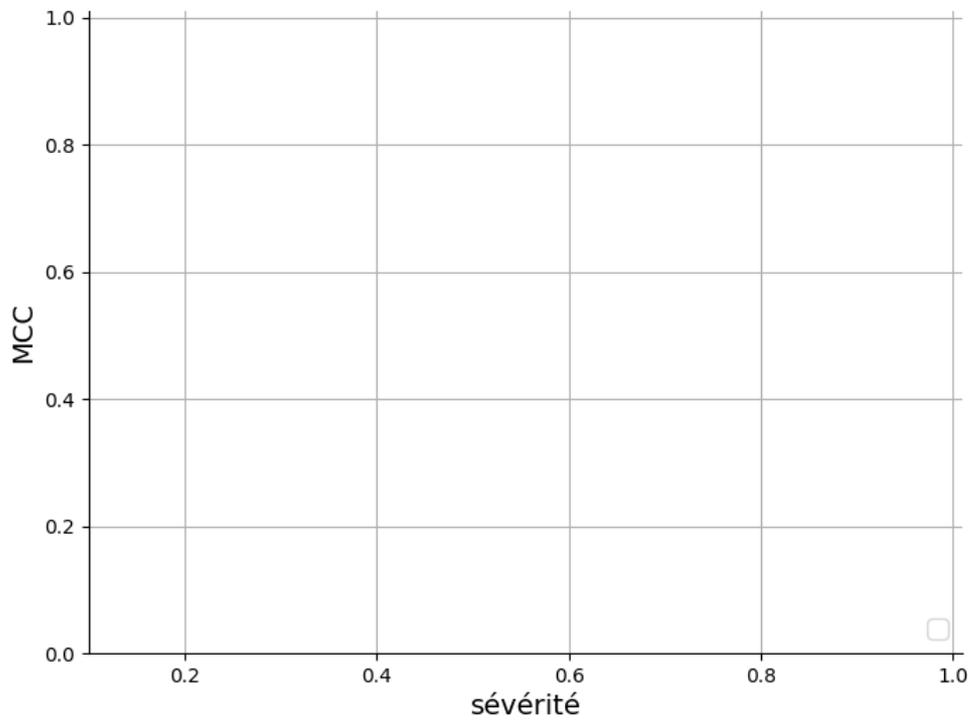
Un réseau de neurones comme algorithme d'apprentissage

Nous avons employé pour la classification un **réseau de neurones**. Son architecture est une version simplifiée de VGG¹.

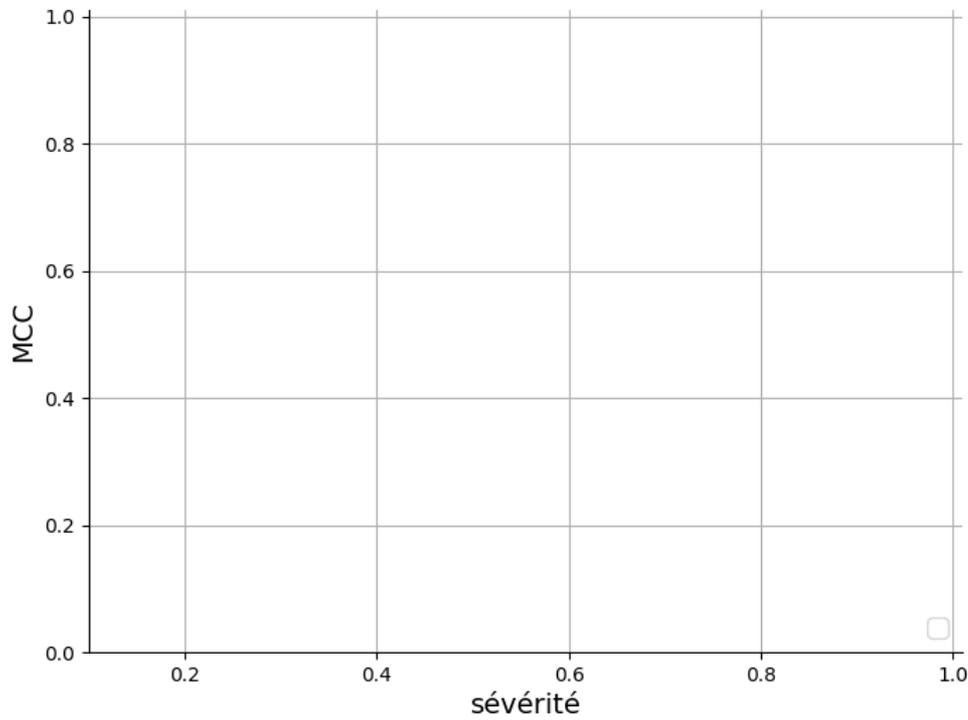
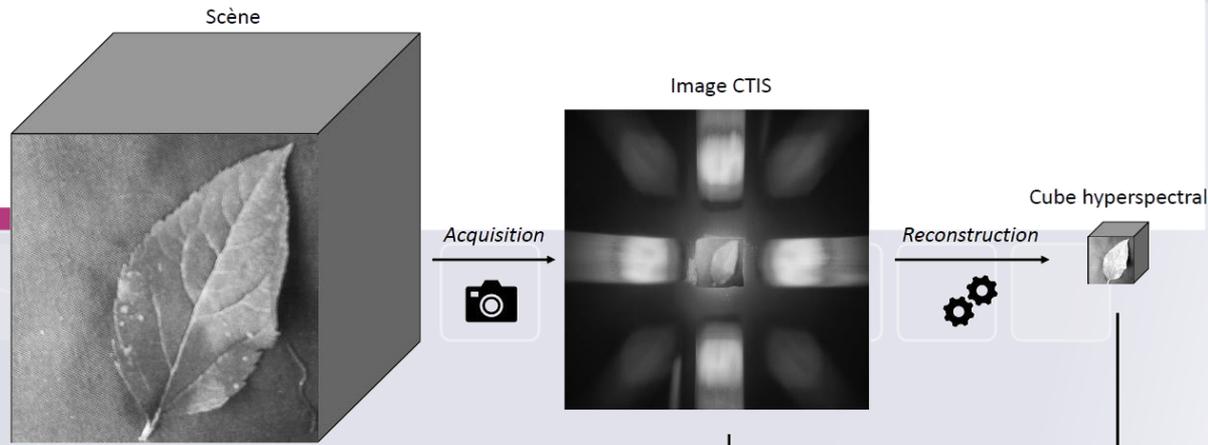


[1] Simonyan et al, *Very deep CNNs for large-scale image recognition* (2014)

Résultats



Résultats

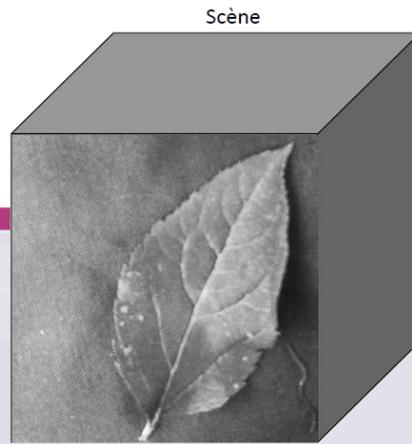


Apprentissage
comprimé

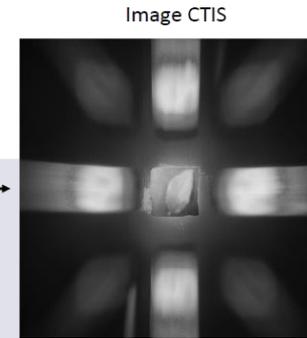
Apprentissage
classique

Résultats

Performance de référence :
l'apprentissage classique sur
cubes reconstruits^{1,2}.



Acquisition



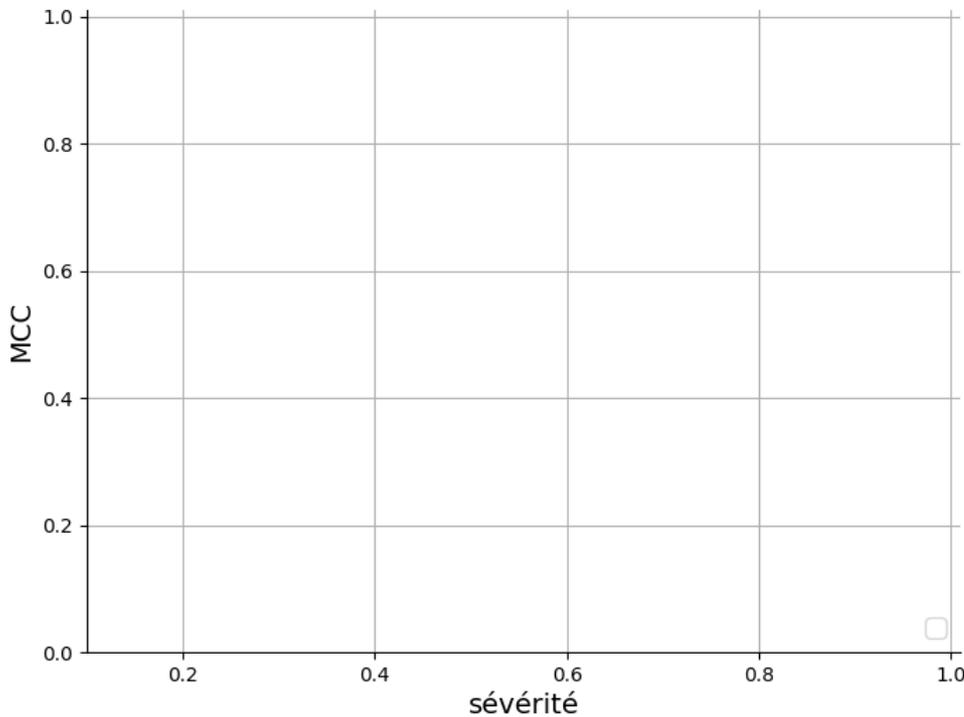
Reconstruction



Cube hyperspectral



Apprentissage
classique

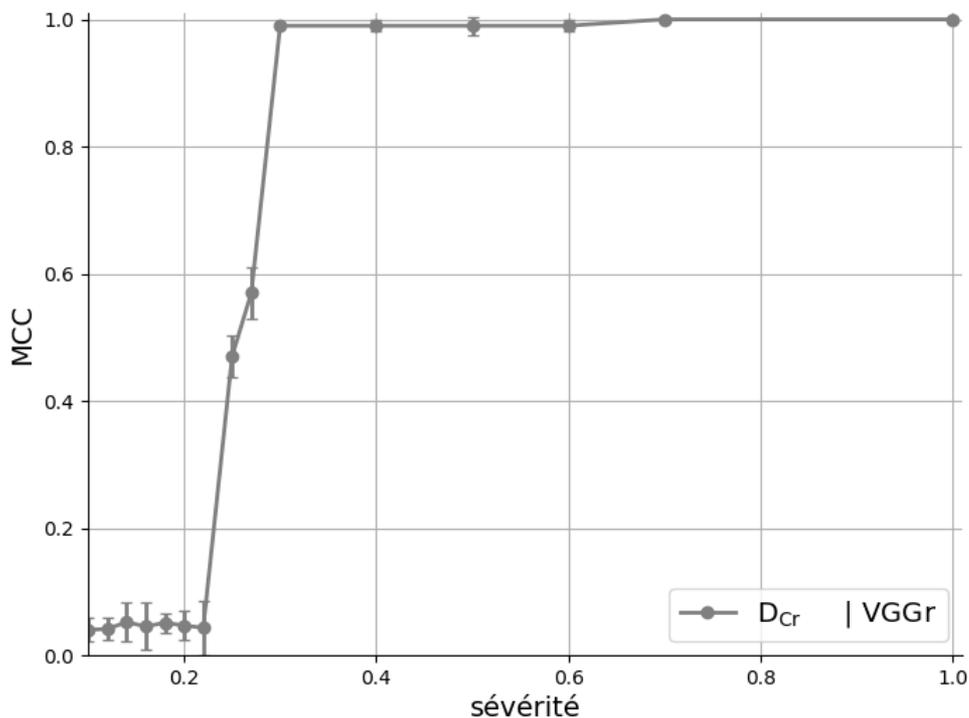
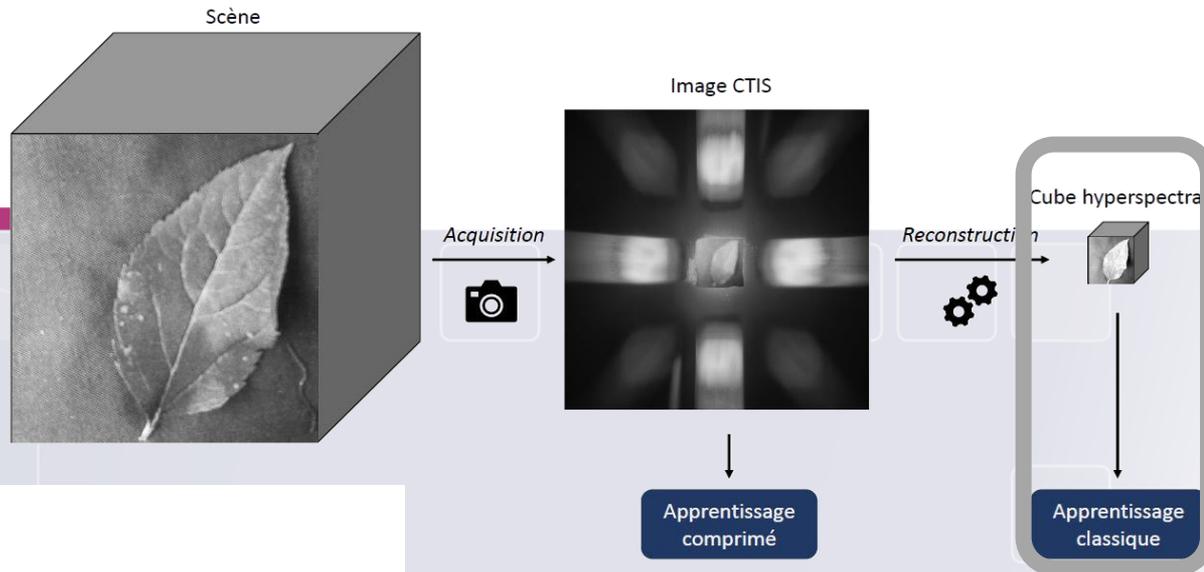


Apprentissage
comprimé

[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)
[2] Shepp and Vardi, *Maximum likelihood reconstruction for emission tomography* (1982)

Résultats

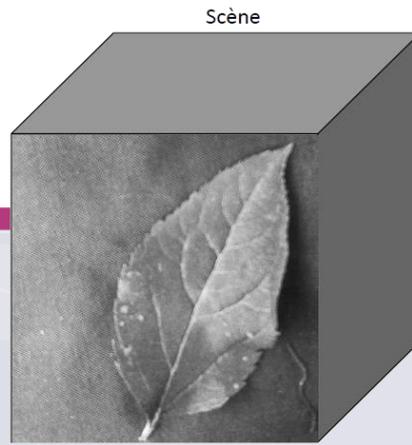
Performance de référence :
l'apprentissage classique sur
cubes reconstruits^{1,2}.



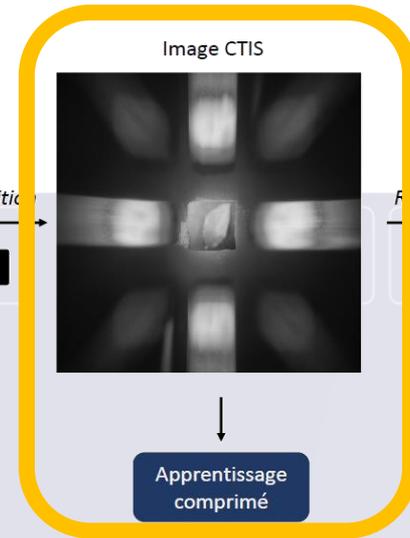
[1] Descour et al, *CTIS : Experimental calibration and reconstruction results* (1994)
[2] Shepp and Vardi, *Maximum likelihood reconstruction for emission tomography* (1982)

Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement
sur images CTIS.



Acquisition



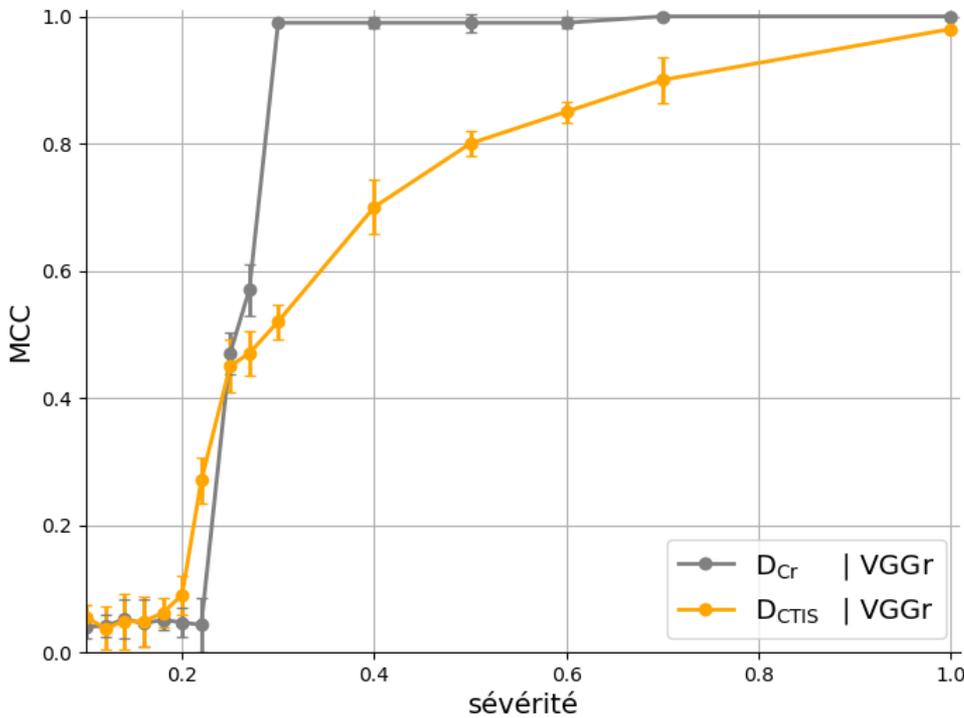
Reconstruction



Cube hyperspectral

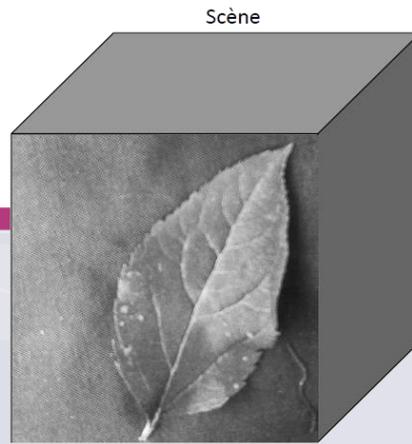


Apprentissage classique

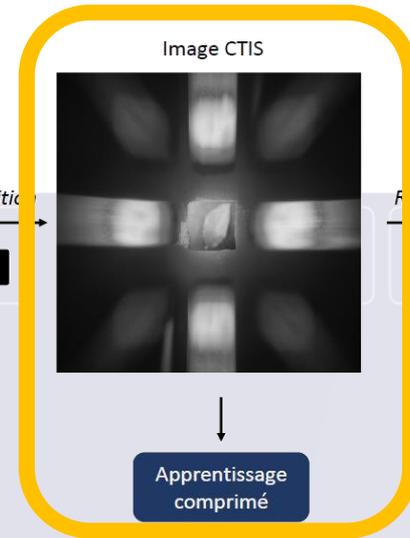


Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement
sur images CTIS.



Acquisition



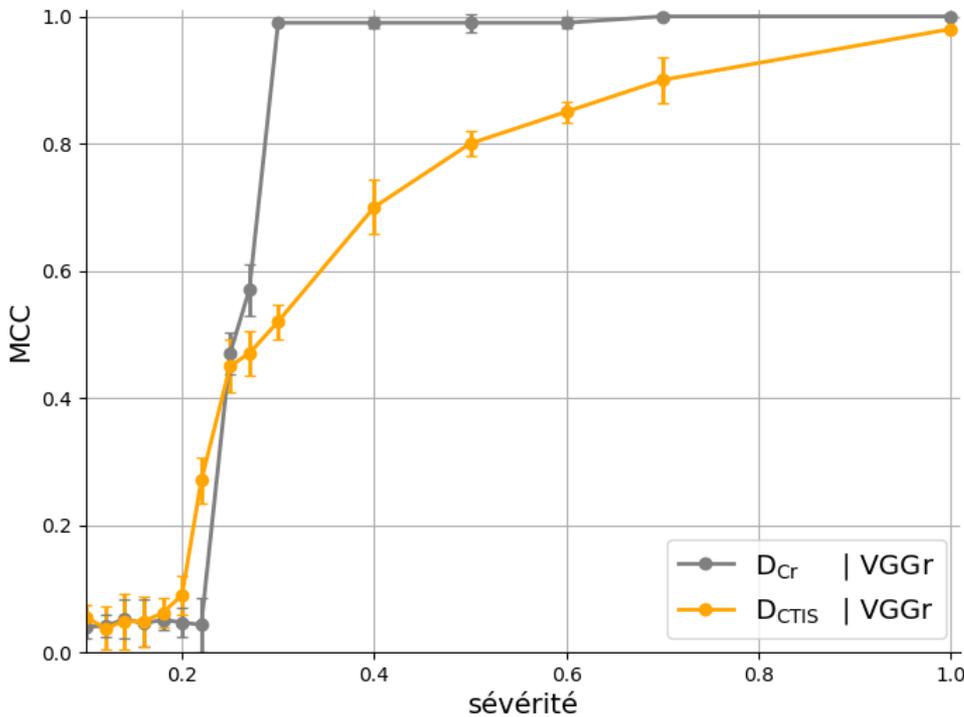
Reconstruction



Cube hyperspectral



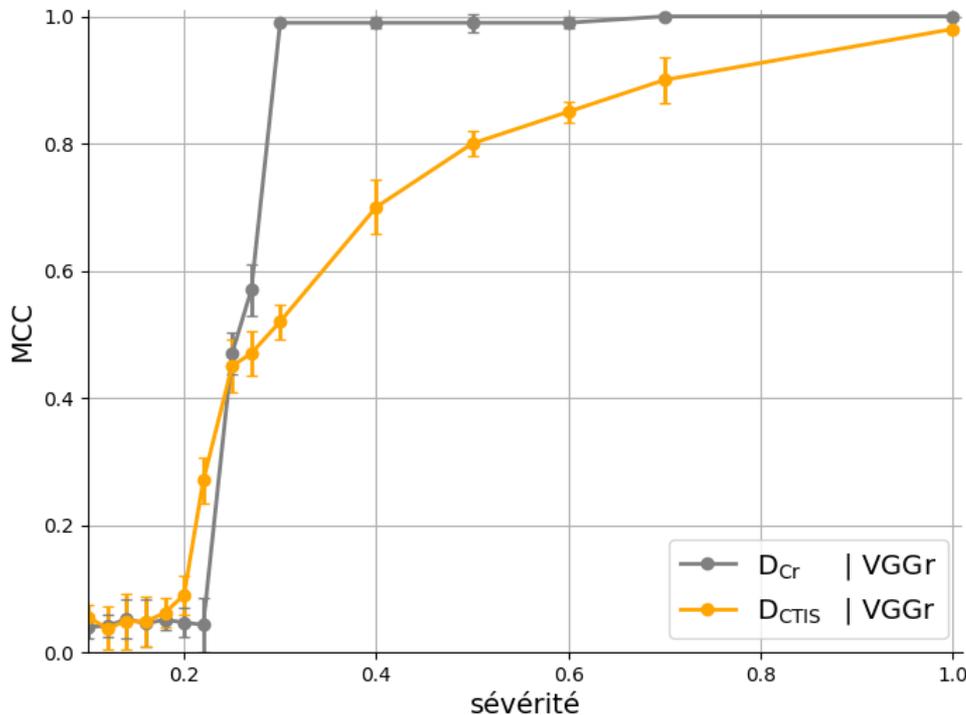
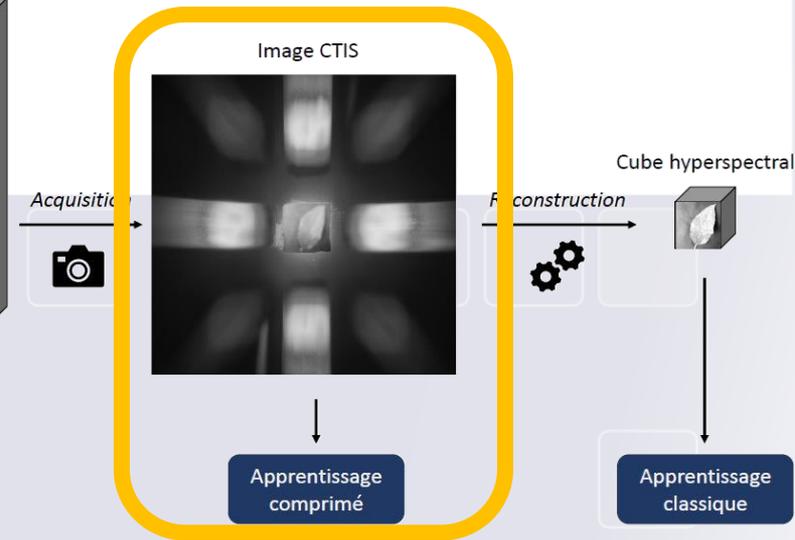
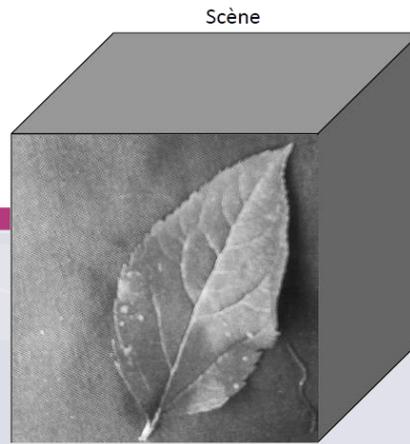
Apprentissage classique



L'apprentissage comprimé est viable.

Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement
sur images CTIS.

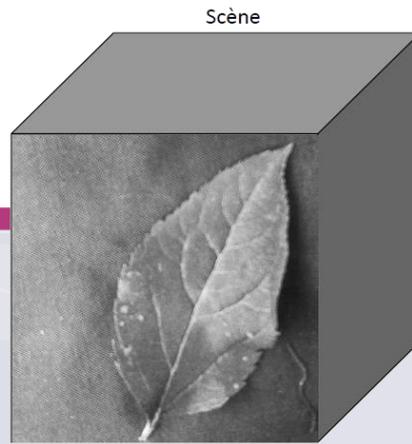


L'apprentissage comprimé est viable.

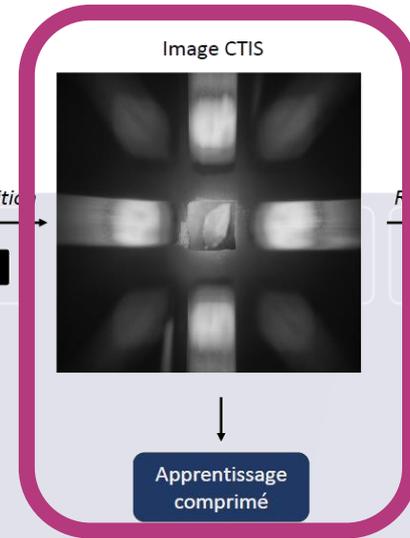
De plus, la prédiction est 100 fois plus rapide que l'apprentissage classique : pas besoin de reconstruire le cube.

Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement sur
images CTIS avec un **réseau
de neurones spécialisé.**



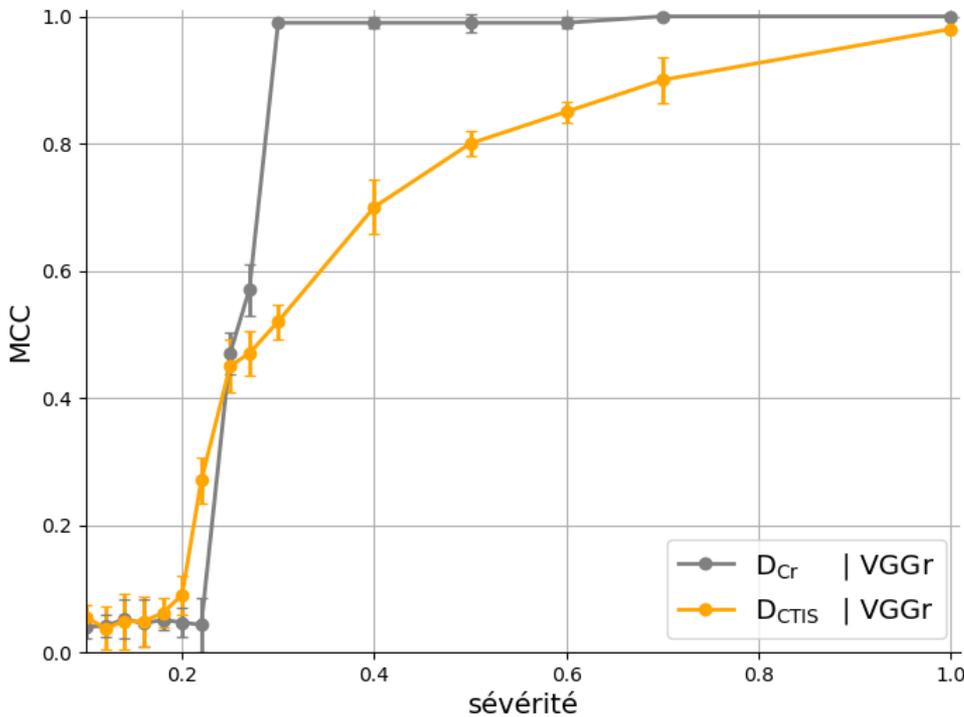
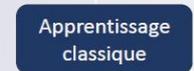
Acquisition



Reconstruction

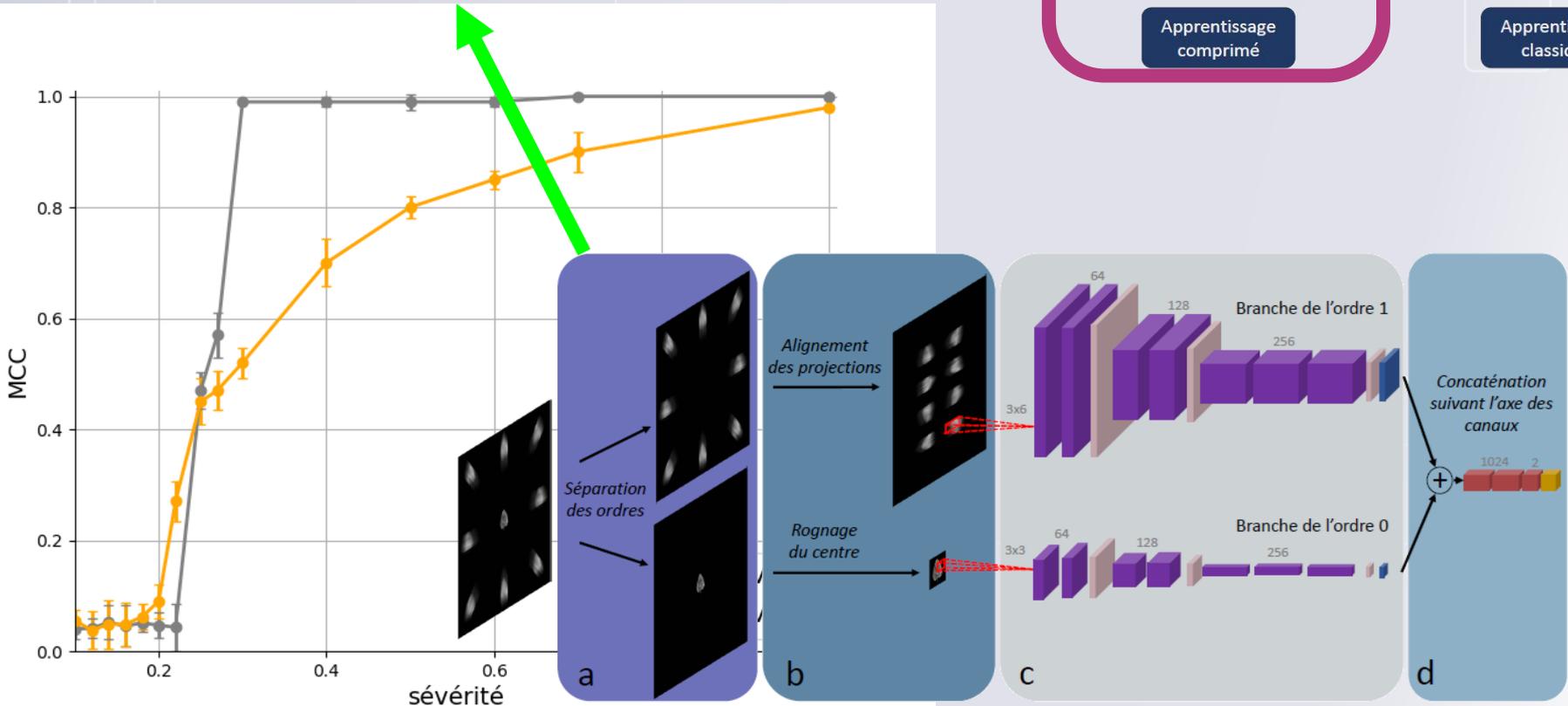
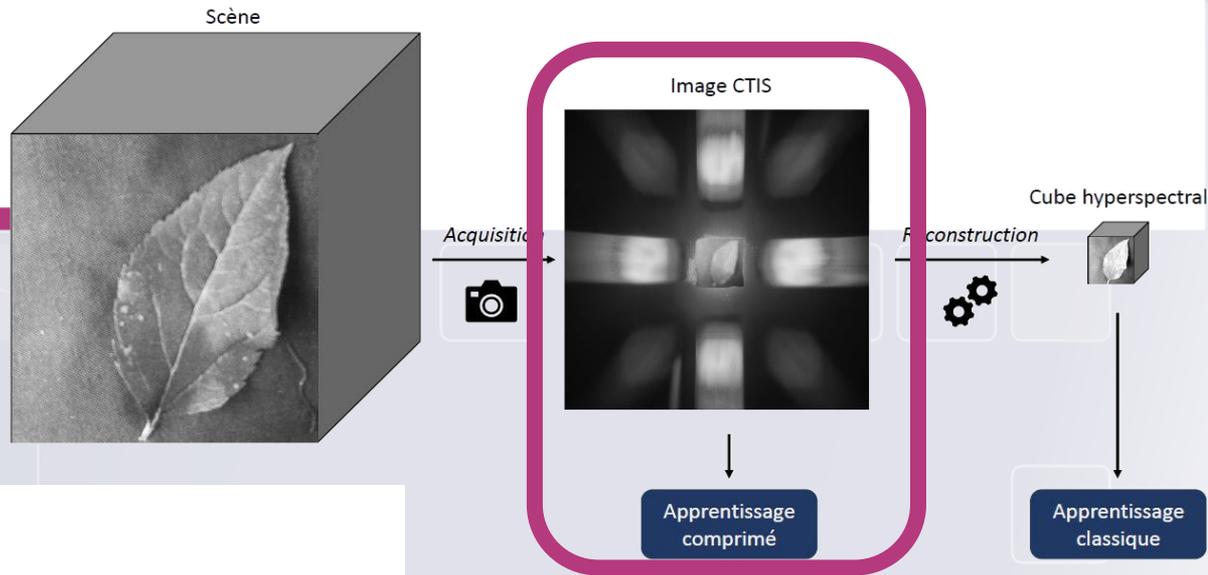


Cube hyperspectral



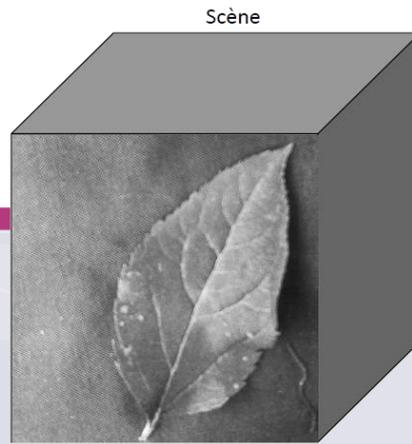
Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement sur
images CTIS avec un **réseau**
de neurones spécialisé.

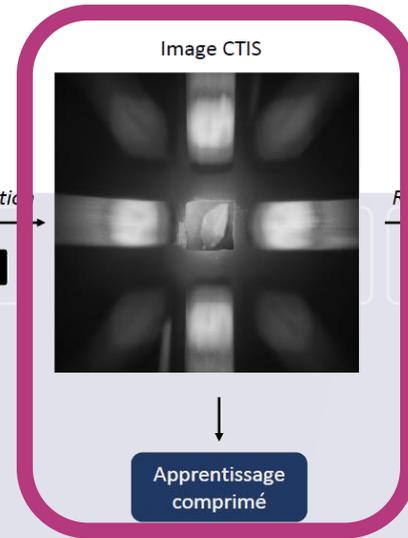


Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement sur
images CTIS avec un **réseau
de neurones spécialisé.**



Acquisition



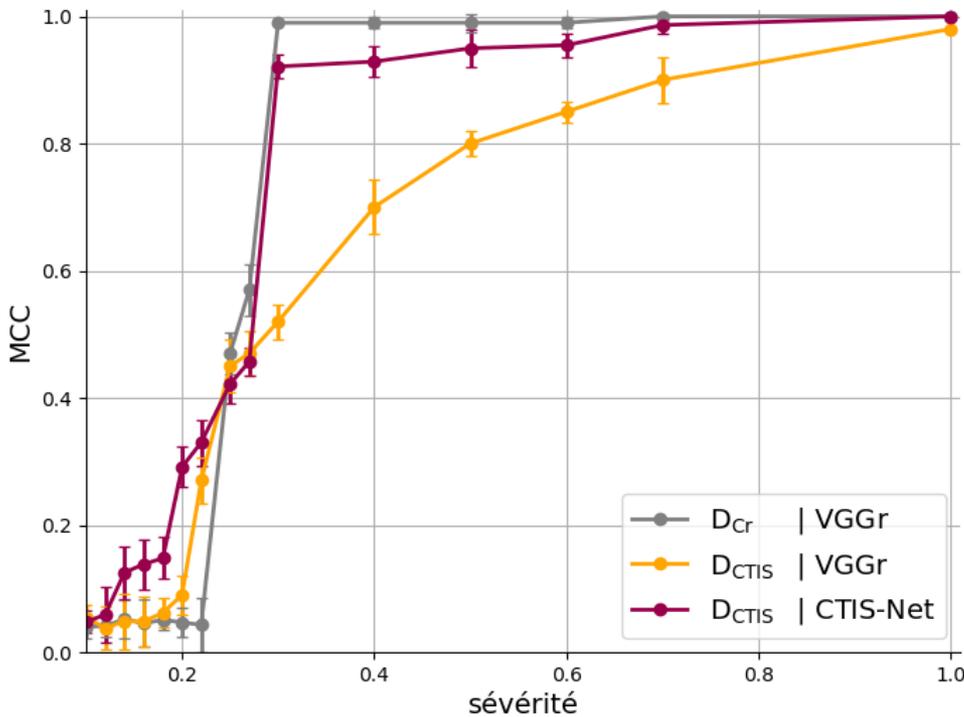
Reconstruction



Cube hyperspectral

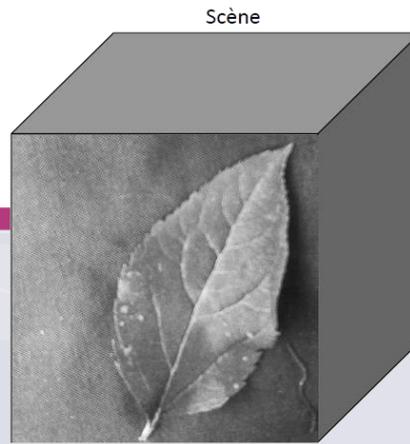


Apprentissage classique

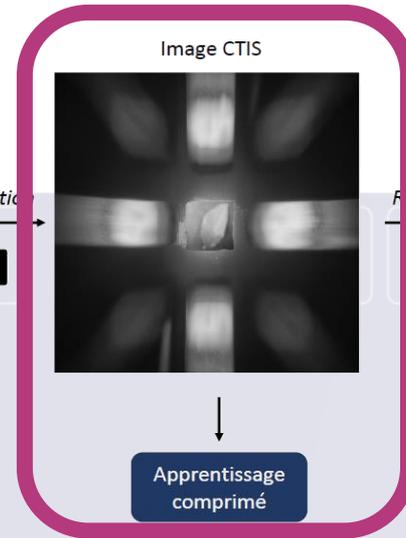


Résultats

Apprentissage comprimé :
apprentissage directement sur
images CTIS avec un **réseau
de neurones spécialisé.**



Acquisition



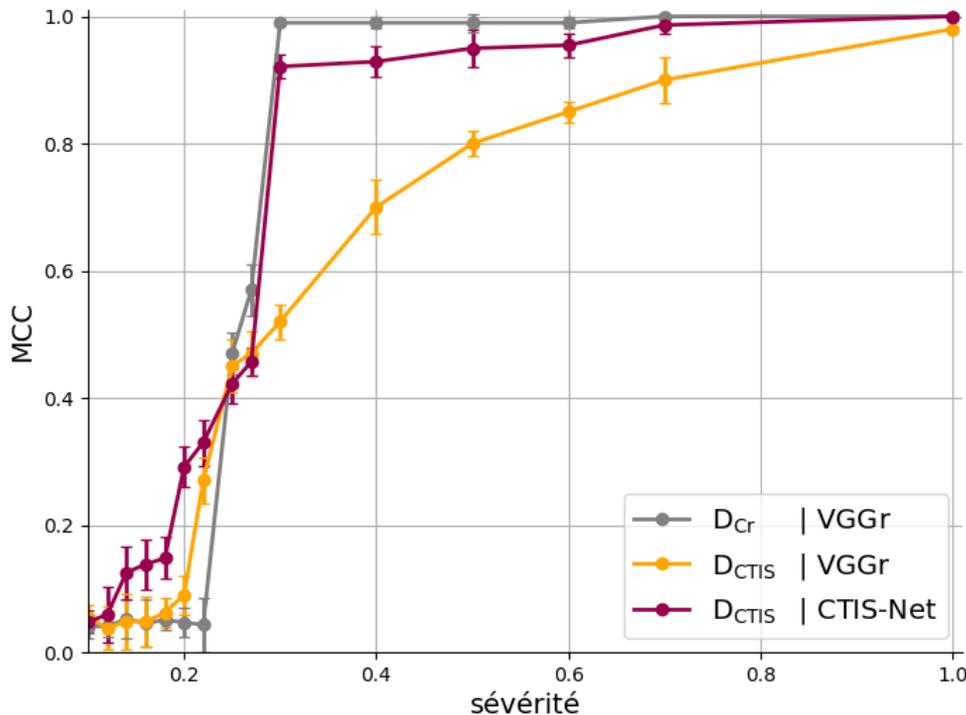
Reconstruction



Cube hyperspectral



Apprentissage classique



Les performances sont
comparables avec celles
permises par le cube
reconstruit.

Plan

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

Conclusions : apports

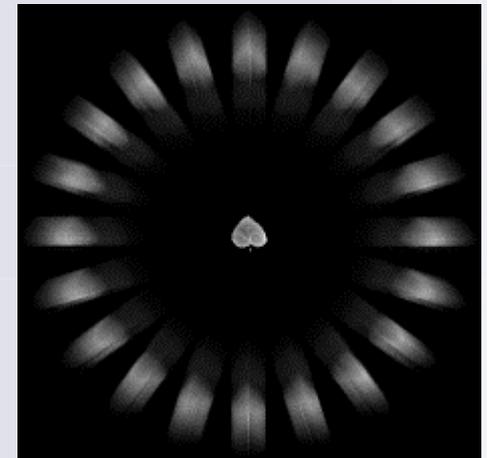
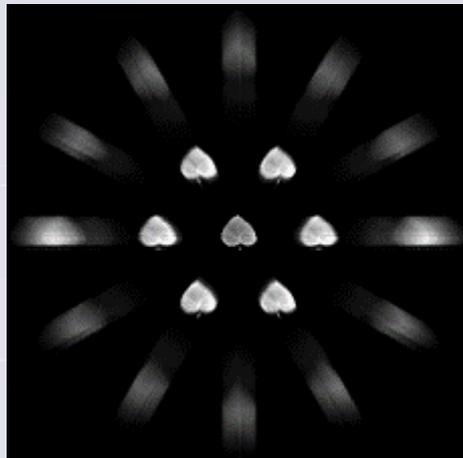
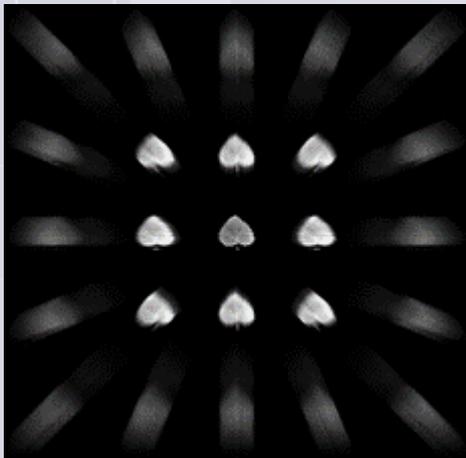
- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.

Conclusions : apports

- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.
- Les performances d'apprentissage sont compétitives avec celles de la voie "classique" de reconstruction, et les prédictions sont substantiellement (100 fois) **plus rapides**.

Conclusions : apports

- Nous avons montré pour la première fois que **l'apprentissage comprimé sur images CTIS est possible**, sur une application agronomique.
- Les performances d'apprentissage sont compétitives avec celles de la voie "classique" de reconstruction, et les prédictions sont substantiellement (100 fois) **plus rapides**.
- Nous avons mis au point un **simulateur CTIS** laissé en open source¹.



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

Perspectives

- Recherche de nouvelles architectures spécifiques aux images CTIS.

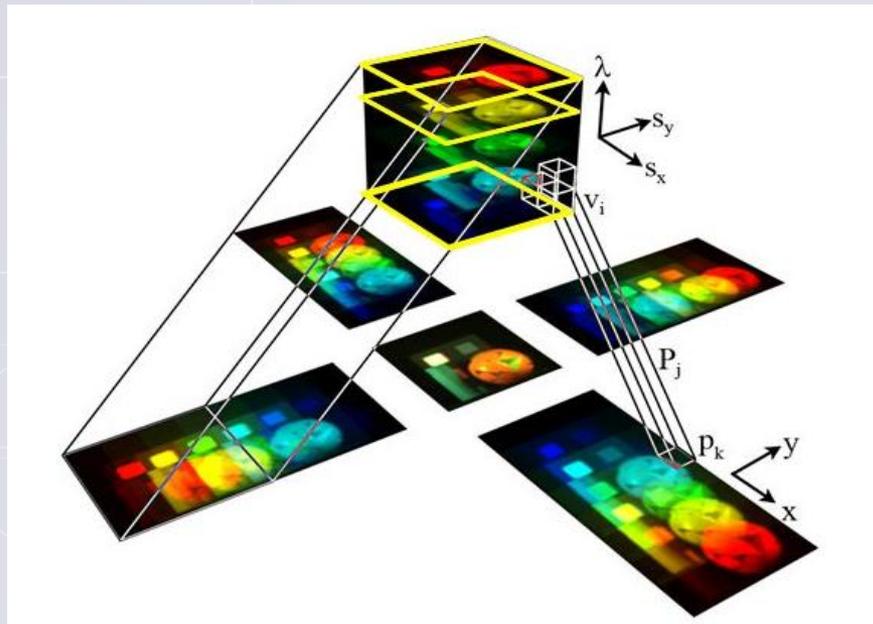
Perspectives

- Recherche de nouvelles architectures spécifiques aux images CTIS.
- Extension du principe de l'apprentissage comprimé à d'autres imageries computationnelles telles que le lidar.

Merci pour votre attention ! Des questions ?

Pour en savoir plus :

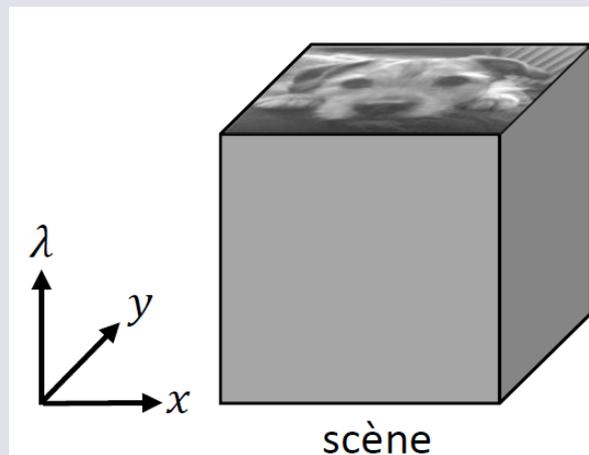
- Douarre et al, *On the value of CTIS imagery for neural network based classification : a simulation perspective*, Applied Optics (2020),
- Douarre et al, *CTIS-Net: a neural network architecture for compressed learning based on CTIS*, IEEE Transactions on Computational Imaging (bientôt).



Back up slides

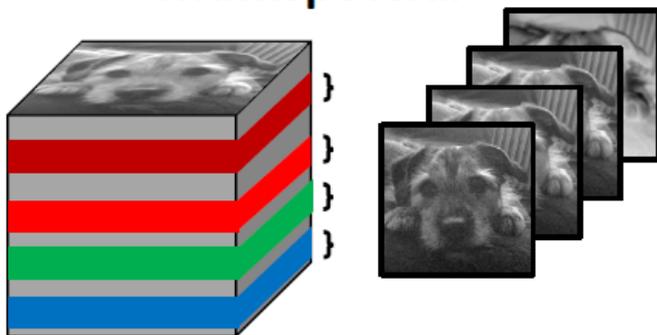
Capteurs hyperspectraux

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

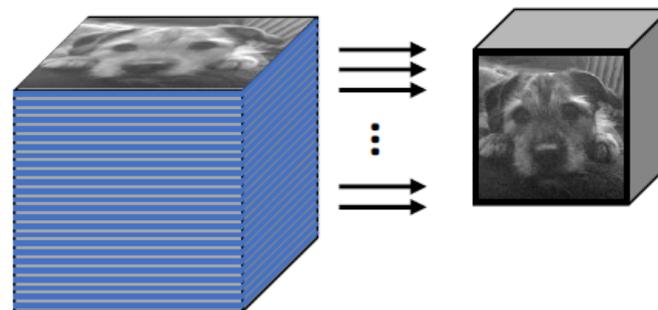


Les capteurs hyperspectraux acquièrent un grand nombre de “tranches spectrales”
→ un **cube de données**.

Multispectral



Hyperspectral



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.

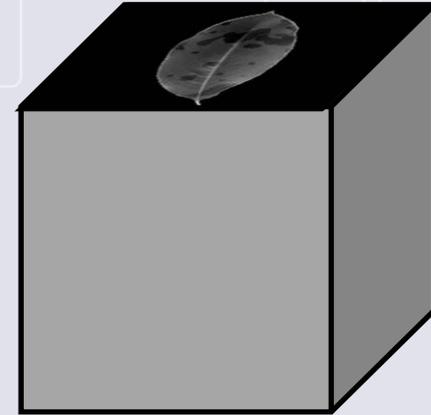


Création du jeu de cubes de feuilles tavelées

Images de feuilles saines¹



Emplacements de lésions²

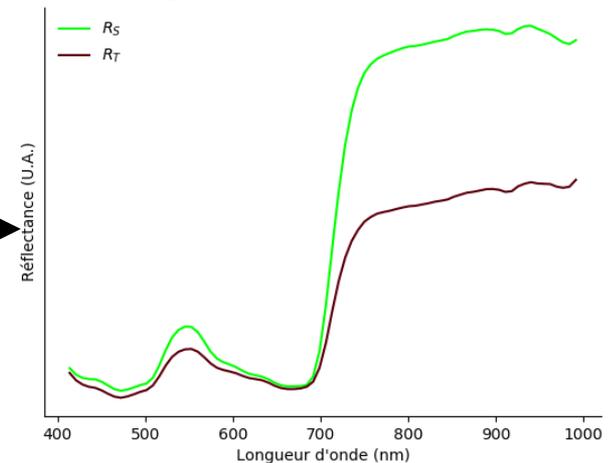
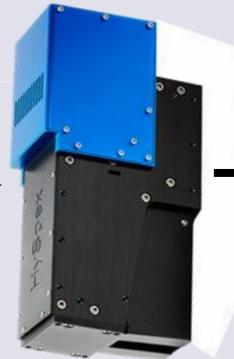


Spectres moyens sain et tavelure

Feuilles tavelées

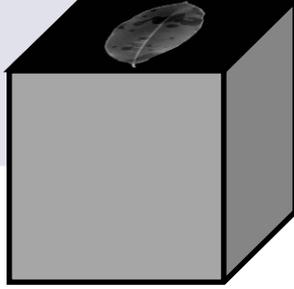
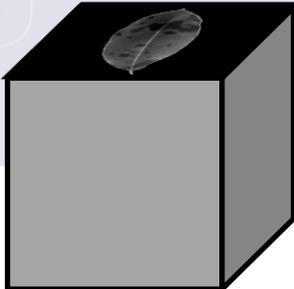
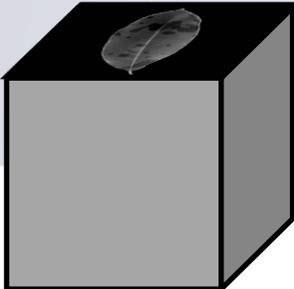
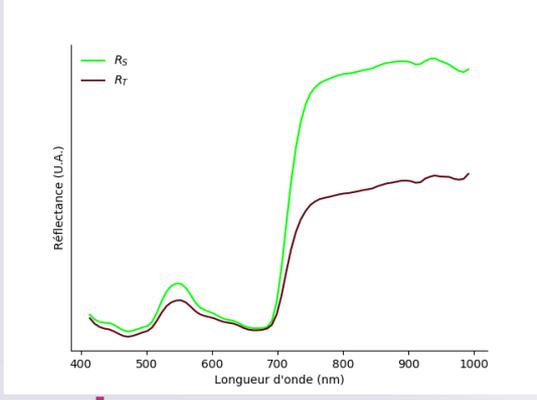
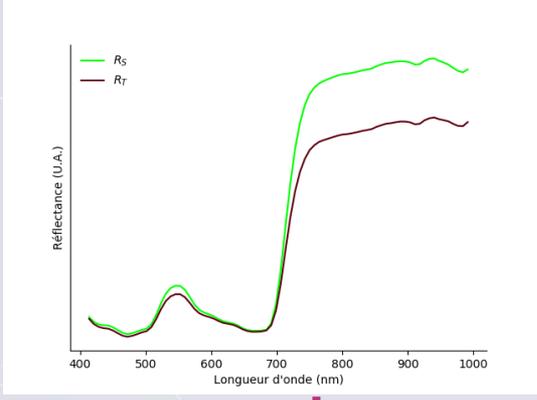
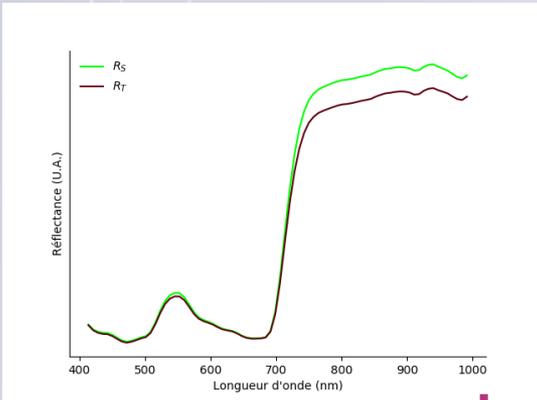


Caméra hyperspectrale à balayage



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

Sévérité



CTIS-Net

