

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

Détection et suppression des cirrus en imagerie hyperspectrale [0.4 – 2.5 μm]

17-18 Mai 2018

Sandra Salgado^{1,2}, *Laurent Poutier*¹, *Xavier Briottet*¹, *Sandrine Mathieu*³

1 : ONERA The French Aerospace Lab, Toulouse

2 : Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, Toulouse

3 : Thales Alenia Space, Cannes



1. Contexte - Introduction

2. Matériel et méthode

1. Les cirrus

2. Principe de la détection

3. Principe de la suppression des cirrus

4. Données utilisées

3. Résultats

1. Détection des cirrus

2. Suppression des cirrus

4. Perspectives

Contexte

Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance



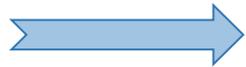
Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance



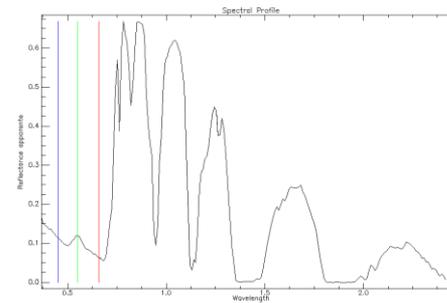
**Correction
atmosphérique**

Contexte

Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance



**Correction
atmosphérique**



Contexte

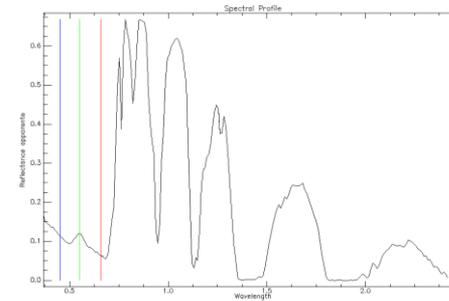
Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance



**Correction
atmosphérique**



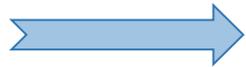
**OK sur ciel
clair
(COMANCHE/COCHISE)***



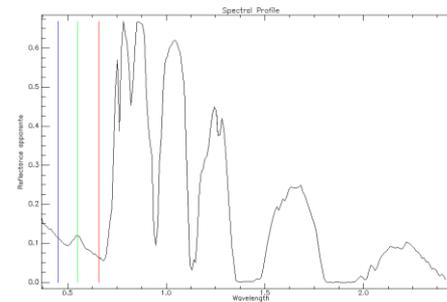
* Poutier L., Miesch C., Lenot X., Achard V. and Boucher Y., « *COMANCHE and COCHISE : two reciprocal atmospheric codes for hyperspectral remote sensing* », 2002

Contexte

Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance



**Correction
atmosphérique**



**OK sur ciel
clair
(COMANCHE/COCHISE)**

Or

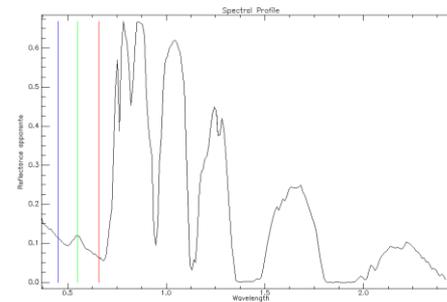


Contexte

Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance

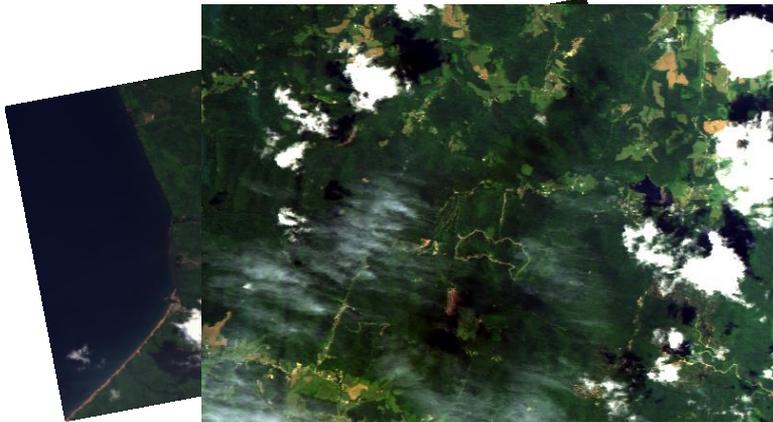


Correction
atmosphérique



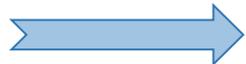
**OK sur ciel
clair
(COMANCHE/COCHISE)**

Or

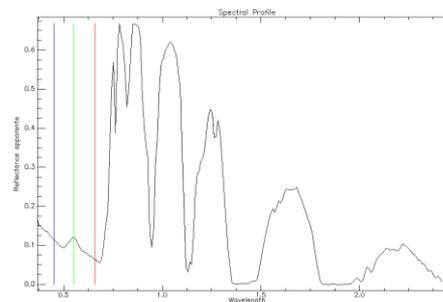
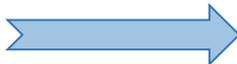


Contexte

Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance

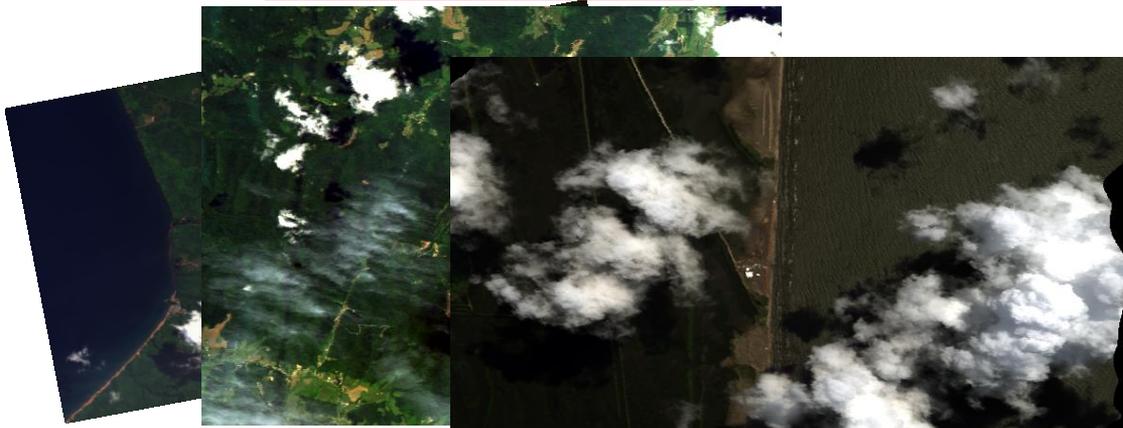


Correction
atmosphérique



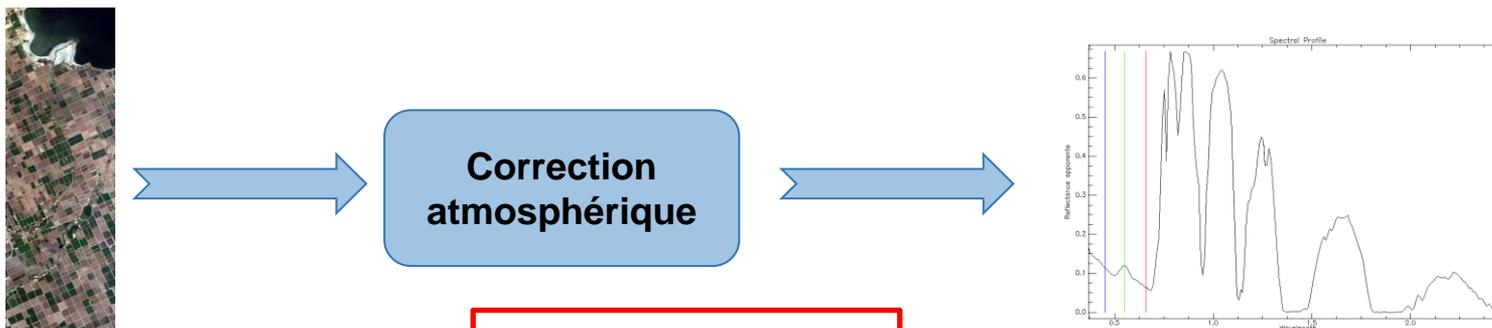
**OK sur ciel
clair
(COMANCHE/COCHISE)**

Or



Contexte

Objectif : remonter aux propriétés intrinsèques des surfaces : la réflectance

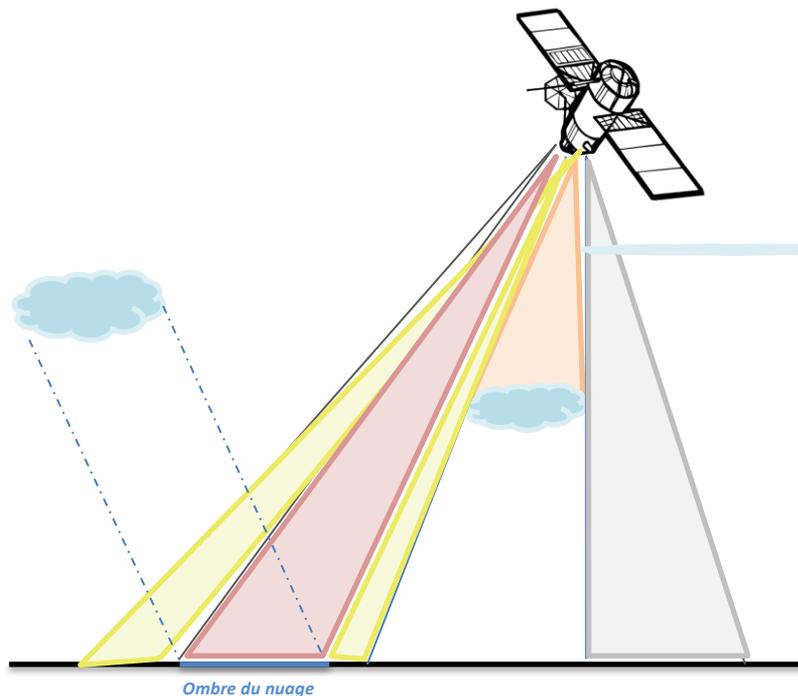


**OK sur ciel
clair
(COMANCHE/COCHISE)**

Or



Nuages \approx 2/3 de la couverture terrestre globale



- Atténuation / Occultation Eclairage solaire direct
- Augmentation des termes de diffusion (piégeage radiatif)
- Atténuation dans les zones d'ombre

-  Zone sans obstacle : Contributions de l'environnement modifiant l'éclairage
-  Zone dans l'ombre du nuage : Plus d'éclairage direct
-  Zone invisible pour le capteur, cachée par le nuage : rayonnement montant bloqué
-  Zone traversée par un cirrus : modification de tous les termes

But : Appliquer une correction atmosphérique à des images hyperspectrales contenant des cirrus

But : Appliquer une correction atmosphérique à des images hyperspectrales contenant des cirrus

➔ Comment détecter et supprimer les cirrus ?

Matériel et méthodes

1- Les cirrus

Caractéristiques des cirrus



Cirrus vu de la Terre



*Cirrus vu depuis le capteur
AVIRIS*

Caractéristiques des cirrus



Cirrus vu de la Terre



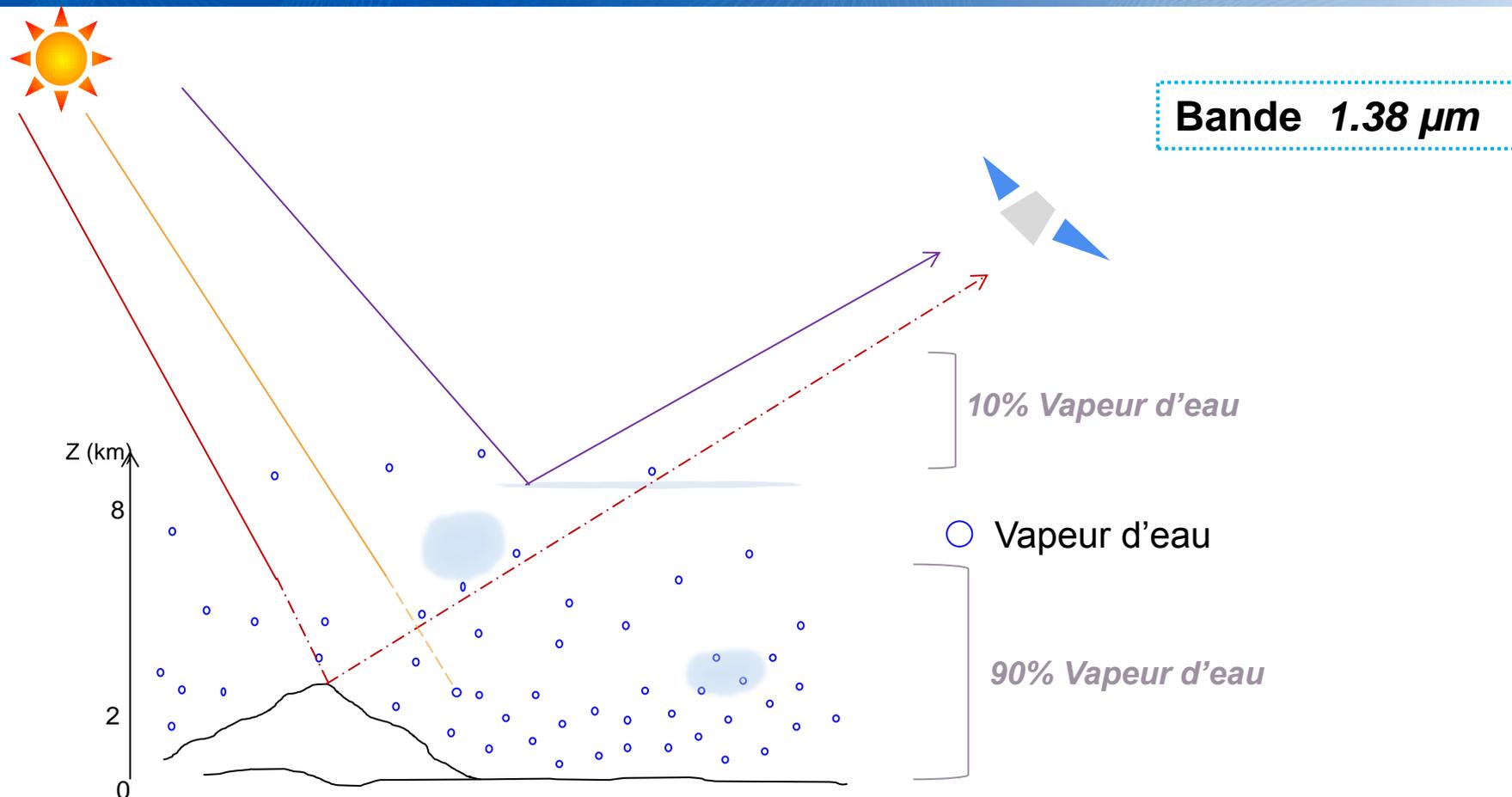
*Cirrus vu depuis le capteur
AVIRIS*

- Nuages les plus répandus dans l'atmosphère : 20-50%
- Haute troposphère / Basse stratosphère
 - Base : > 7 km en latitude moyenne (> 9 km en régions tropicales)
 - Epaisseur : 0.5 à 5 km
- **Semi-transparents** → **laissent entrevoir la surface sous-jacente**
- Composés de cristaux de glace (> 5 μ m)

Matériel et méthodes

2- Principe de la détection des cirrus

Principe de la détection des cirrus



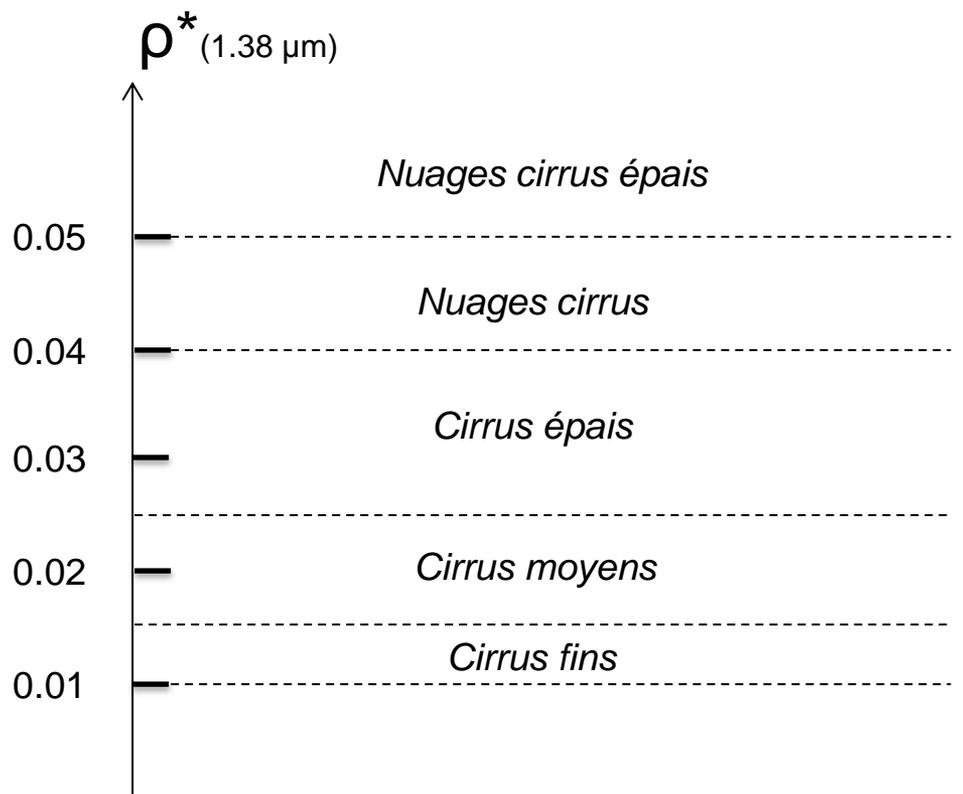
[1] Bo Cai Gao and al., "An algorithm using visible and 1,38- μm channels to retrieve cirrus cloud reflectances from aircraft and satellite data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.40, No.8, 2002

[2] Bo-Cai Gao and Yoram J. Kaufman, "Selection of the 1.375- μm MODIS channel for remote sensing of cirrus clouds and stratospheric aerosols from space.", American Meteorological Society, 4231-4237, 1995

[3] E. Ben Dor, « A precaution regarding cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer data using the 1.38 μm water vapor band », Remote Sensing Environment, 50, pp. 346-350, 1994

Principe de la détection des cirrus

Seuils ATCOR¹

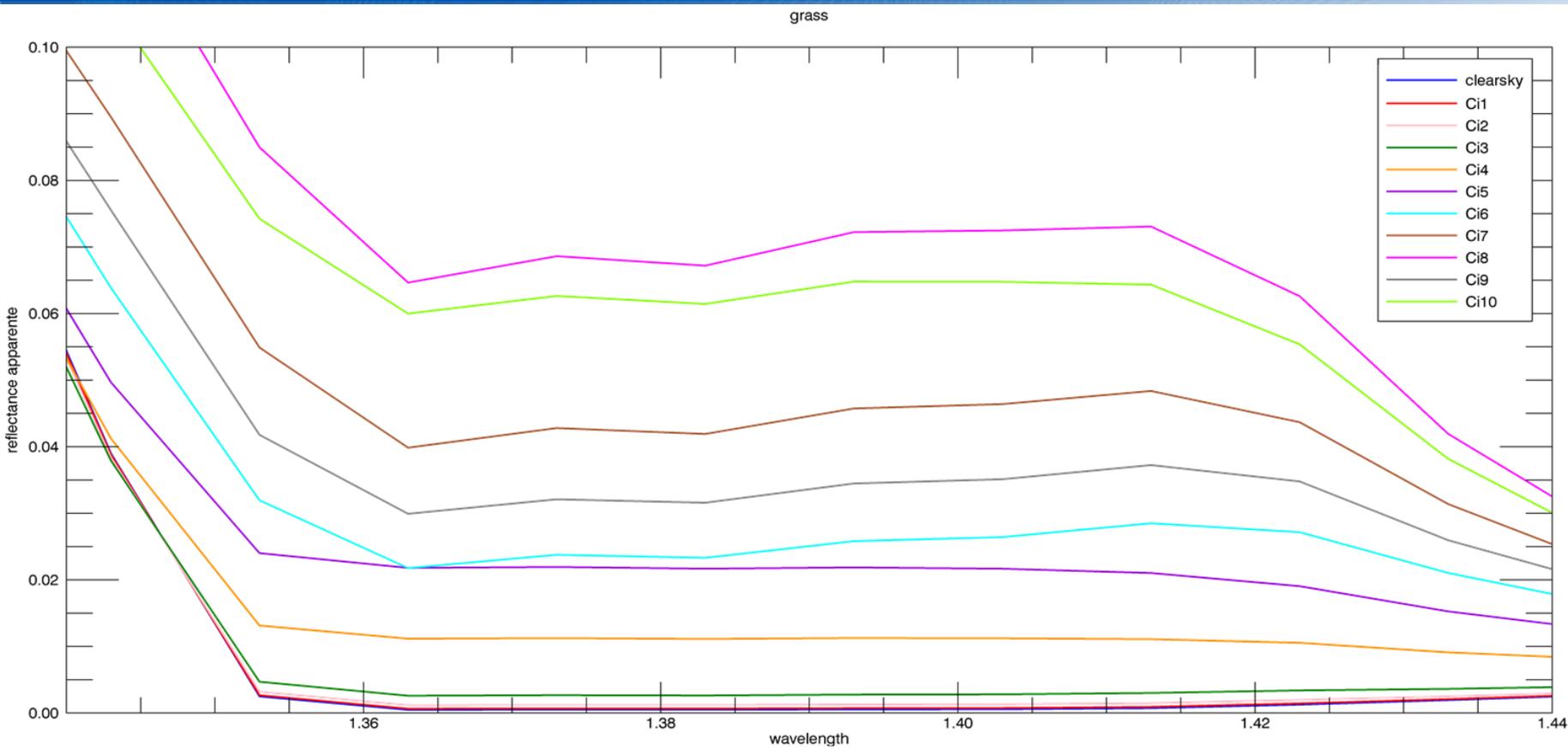


ρ^* = réflectance apparente

$$\rho^* = \frac{\pi \cdot L}{E_{TOA} \cdot \cos \theta_S}$$

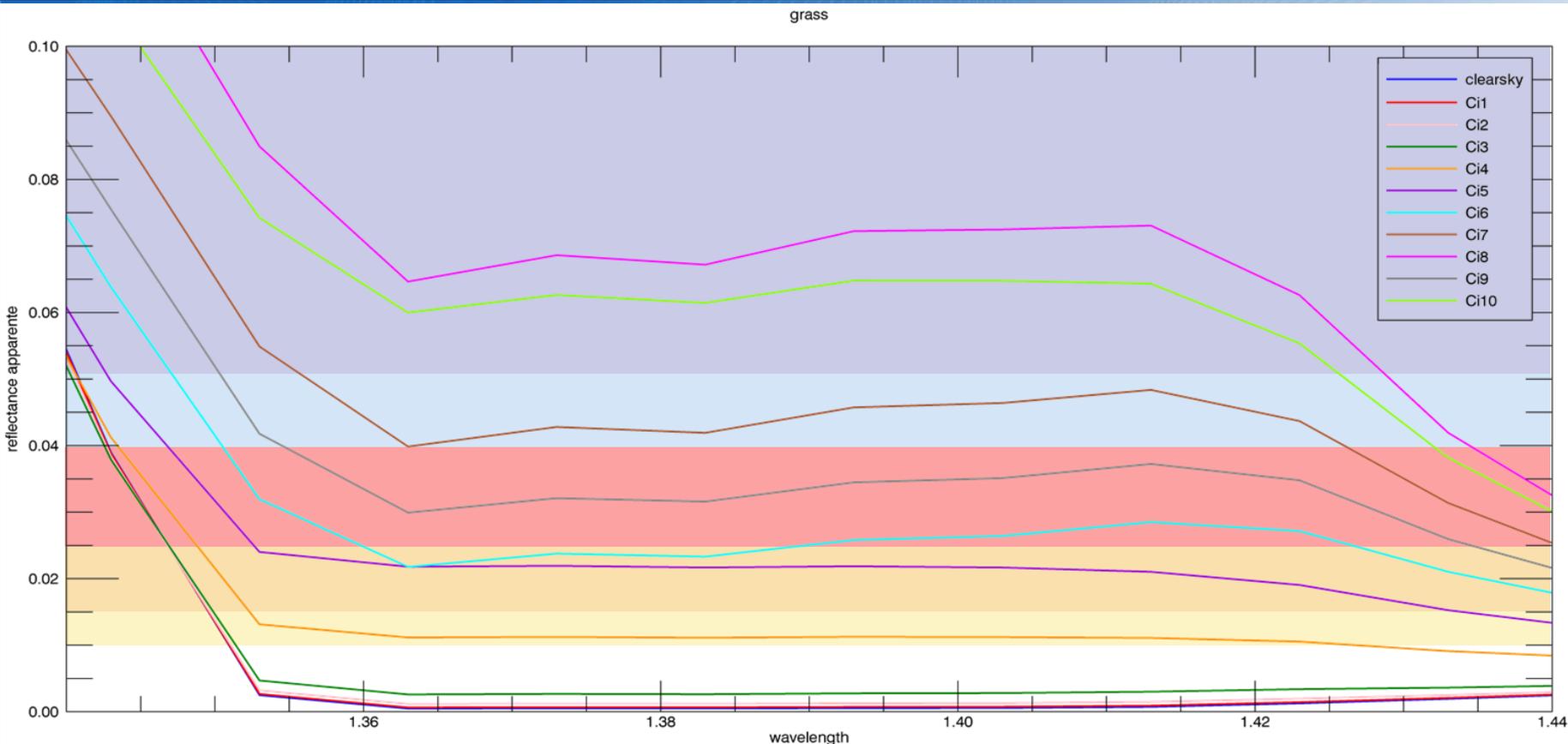
1 : R. Richter and D. Schlöpfer, « Atmospheric / Topographic Correction for Airborne Imagery », ATCOR-4 User guide, version 7.0.3, 2016

Principe de détection des cirrus - Simulations



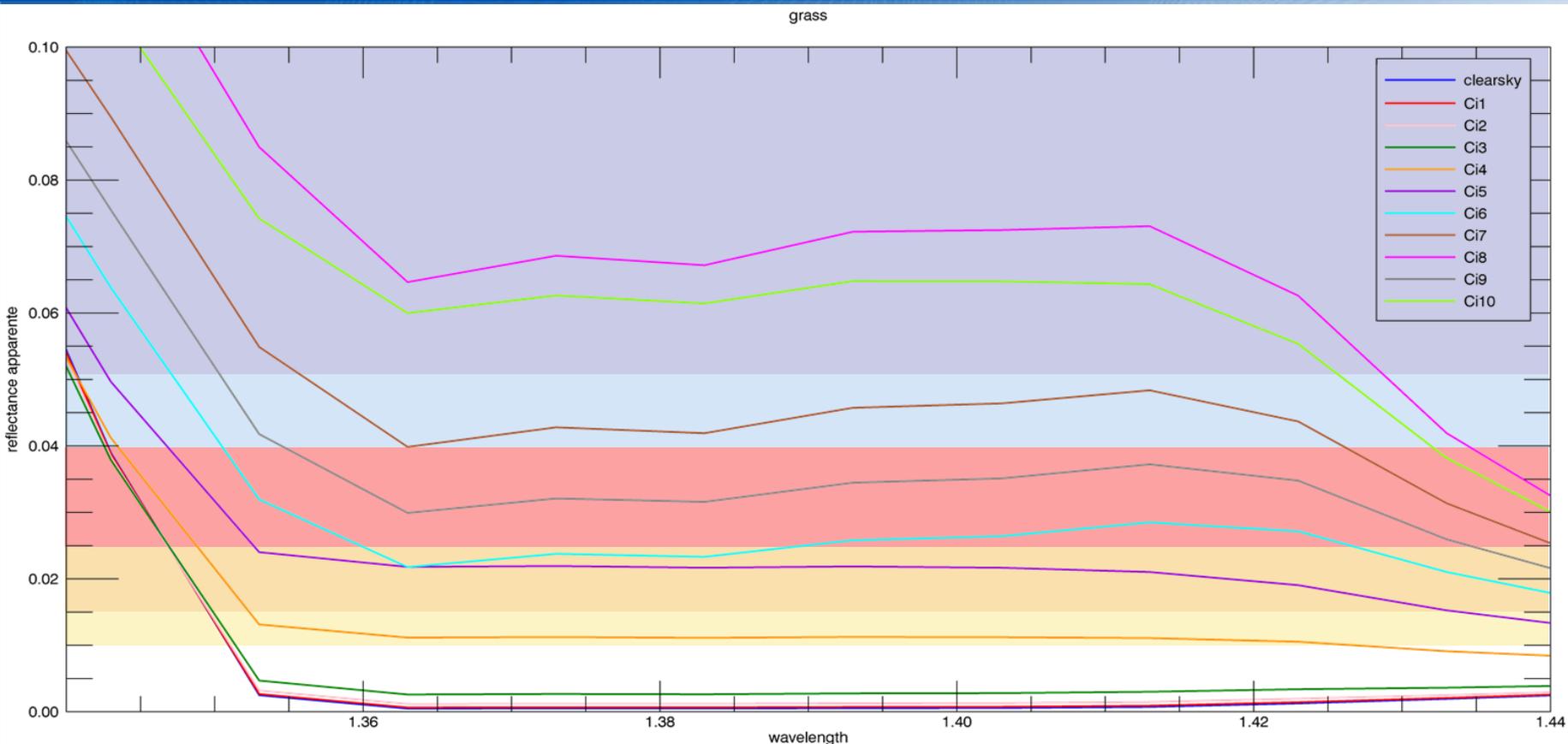
	Ci1	Ci2	Ci3	Ci4	Ci5	Ci6	Ci7	Ci8	Ci9	Ci10
Epaisseur Optique	0,018	0,07	0,2	0,7	1,2	2	3	4,2	2,5	3,5
Extinction (à 550nm) (km ⁻¹)	0,06	0,1	0,2	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,36	0,44
Epaisseur (km)	0,3	0,7	1	2	3	4	5	6	7	8
Base (km)	10	10	10	12	12	7	7	7	6	7

Principe de détection des cirrus - seuils



	Ci1	Ci2	Ci3	Ci4	Ci5	Ci6	Ci7	Ci8	Ci9	Ci10
Epaisseur Optique	0,018	0,07	0,2	0,7	1,2	2	3	4,2	2,5	3,5
Extinction (à 550nm) (km ⁻¹)	0,06	0,1	0,2	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,36	0,44
Epaisseur (km)	0,3	0,7	1	2	3	4	5	6	7	8
Base (km)	10	10	10	12	12	7	7	7	6	7

Principe de détection des cirrus - seuils



	Ci1	Ci2	Ci3	Ci4	Ci5	Ci6	Ci7	Ci8	Ci9	Ci10
Epaisseur Optique	0,018	0,07	0,2	0,7	1,2	2	3	4,2	2,5	3,5
Extinction (à 550nm) (km ⁻¹)	0,06	0,1	0,2	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,36	0,44
Epaisseur (km)	0,3	0,7	1	2	3	4	5	6	7	8
Base (km)	10	10	10	12	12	7	7	7	6	7

Matériel et méthodes

3- Principe de la suppression des cirrus

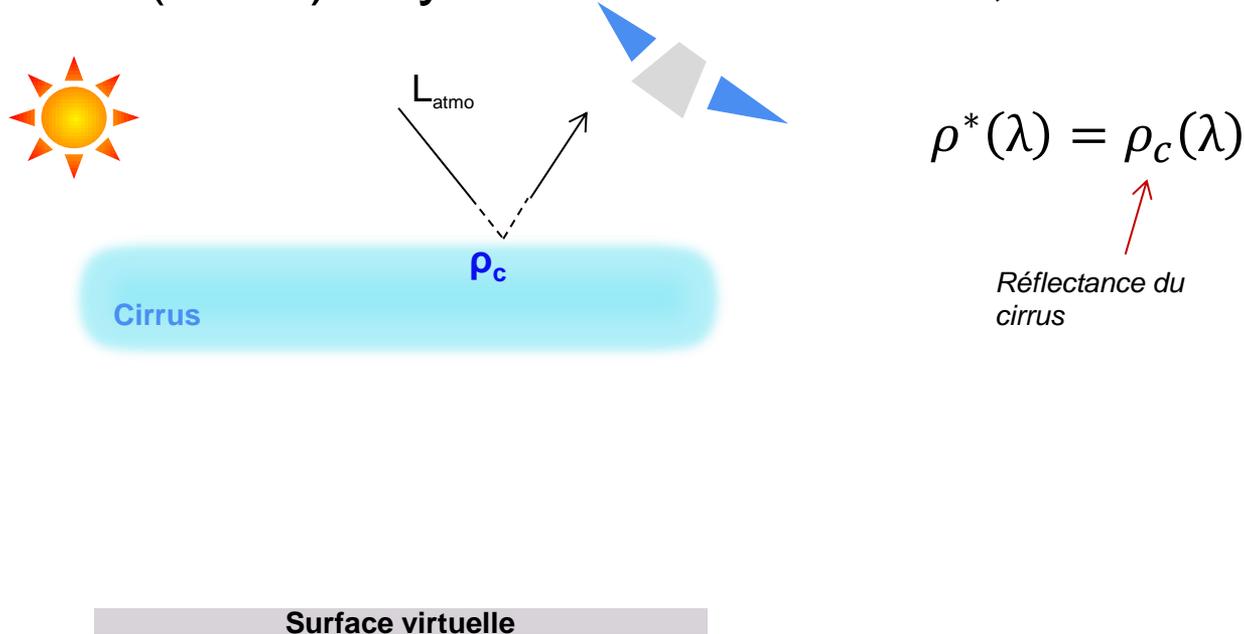
Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



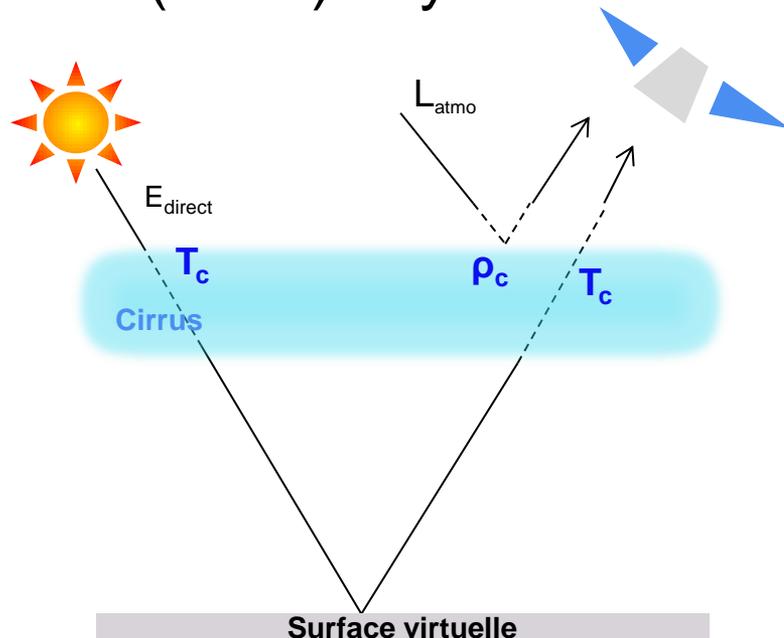
Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

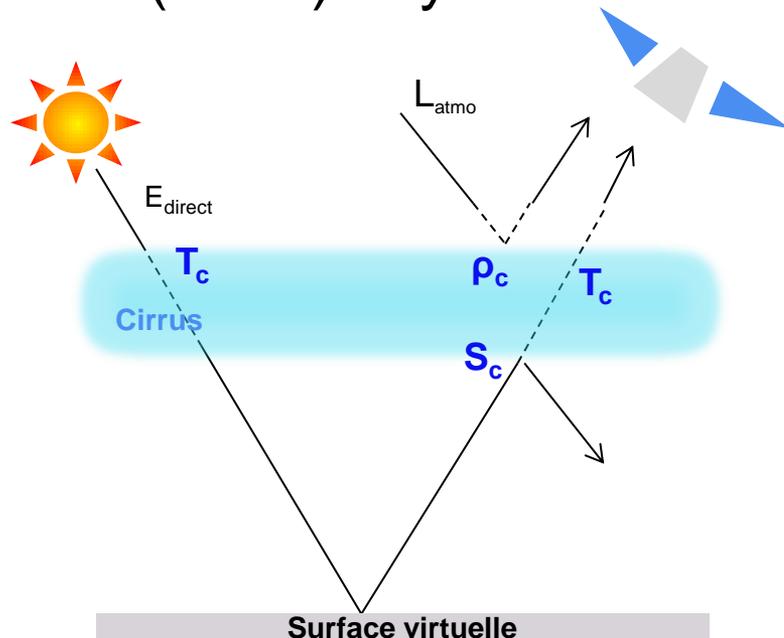
Réfectance de la surface (pointing to $\rho_s(\lambda)$)

Réfectance du cirrus (pointing to $\rho_c(\lambda)$)

Transmission du cirrus (pointing to T_c)

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



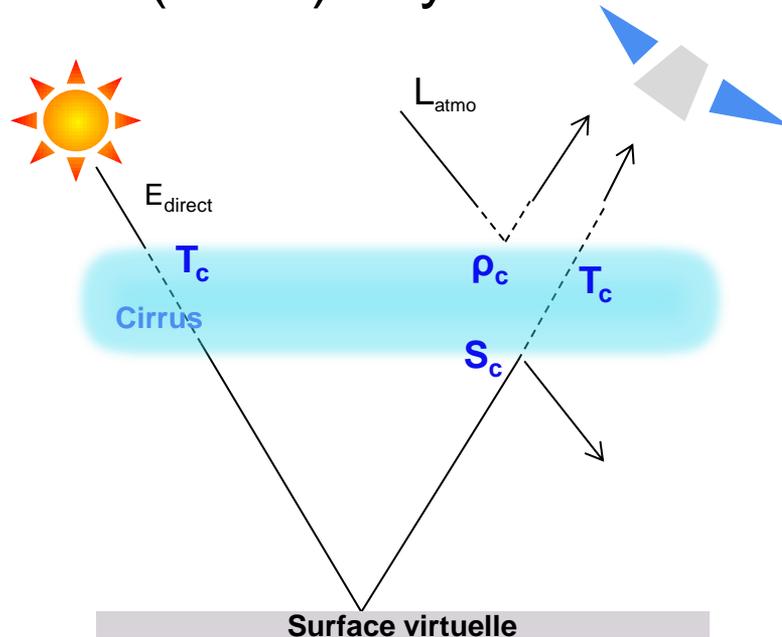
$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

Réflectance de la surface 1

Réflectance du cirrus *Transmission du cirrus* *Albédo du cirrus*

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

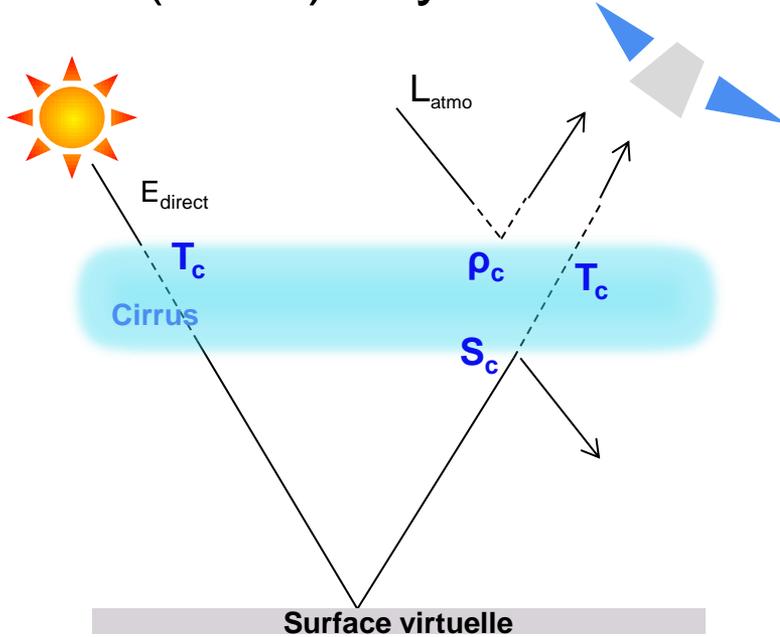
Réflectance de la surface 1

Réflectance du cirrus *Transmission du cirrus* *Albédo du cirrus*

- *Simplification 1 : albédo faible*

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

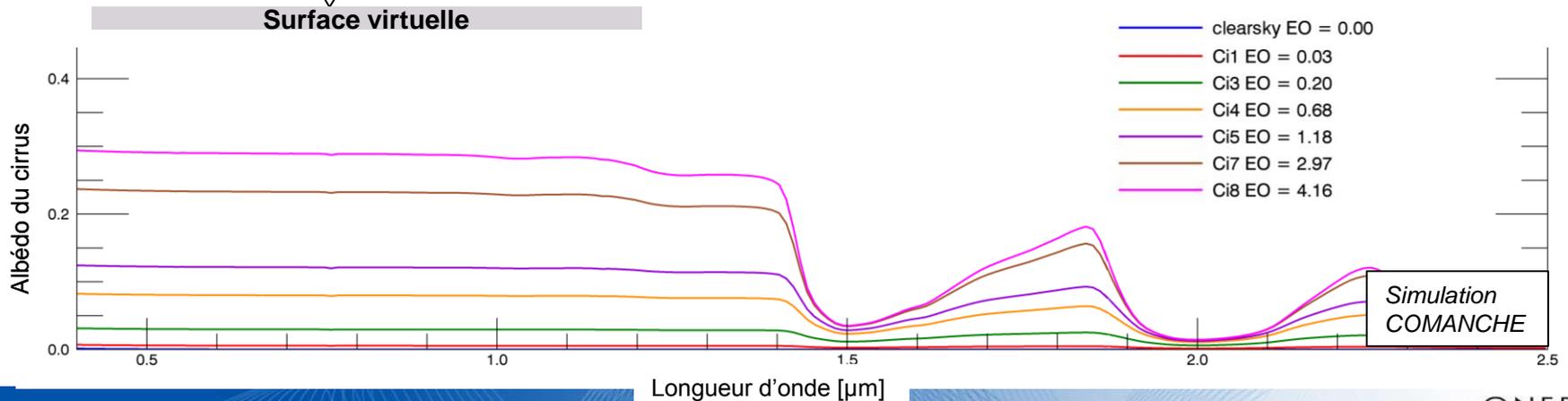
Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

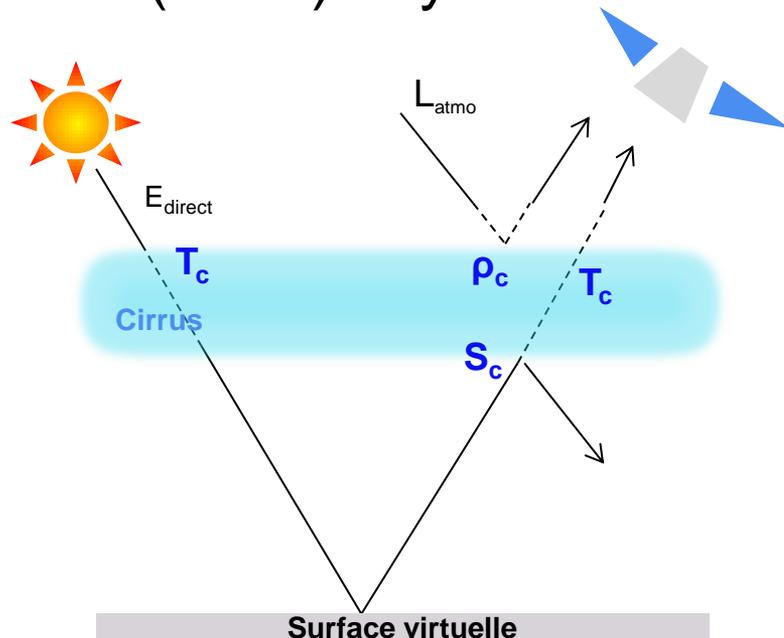
$\rho_c(\lambda)$: Réflectance du cirrus
 T_c : Transmission du cirrus
 $\rho_s(\lambda)$: Réflectance de la surface
 S_c : Albédo du cirrus

- Simplification 1 : albédo faible



Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

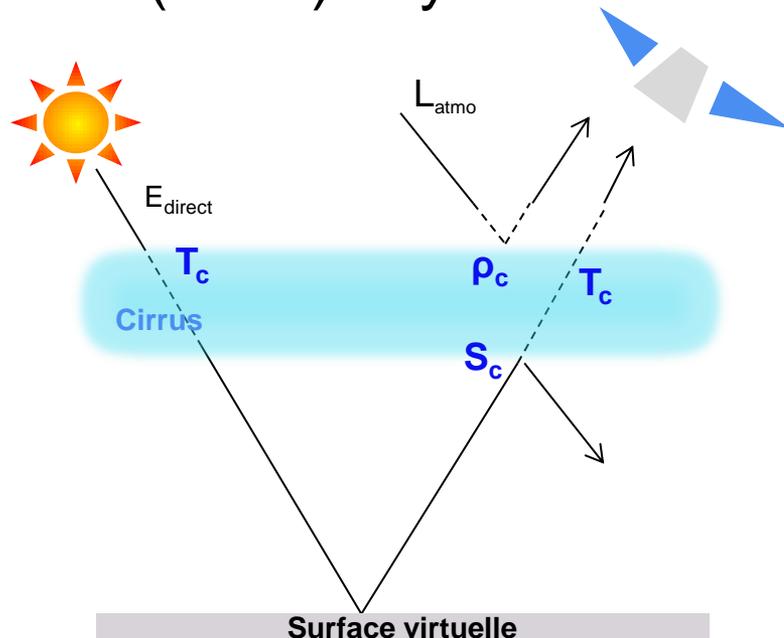
Réflectance de la surface 1

Réflectance du cirrus *Transmission du cirrus* *Albédo du cirrus*

→ $\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

$\rho_c(\lambda)$
Réflectance du cirrus
 T_c
Transmission du cirrus
 $\rho_s(\lambda)$
Albédo du cirrus

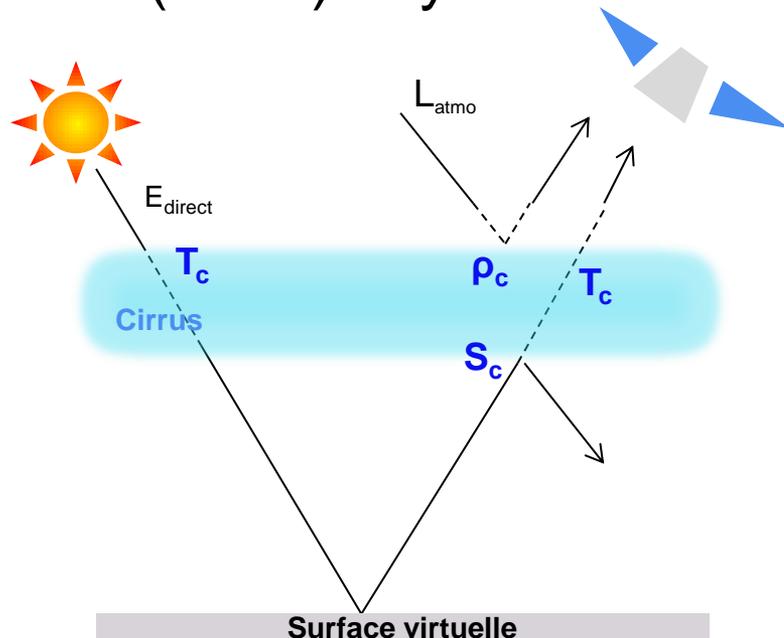
$\frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$
Réflectance de la surface

$$\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

→ $T_c \rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \rho_c(\lambda)$

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

Réflectance de la surface
1

Réflectance du cirrus
Transmission du cirrus
Albédo du cirrus

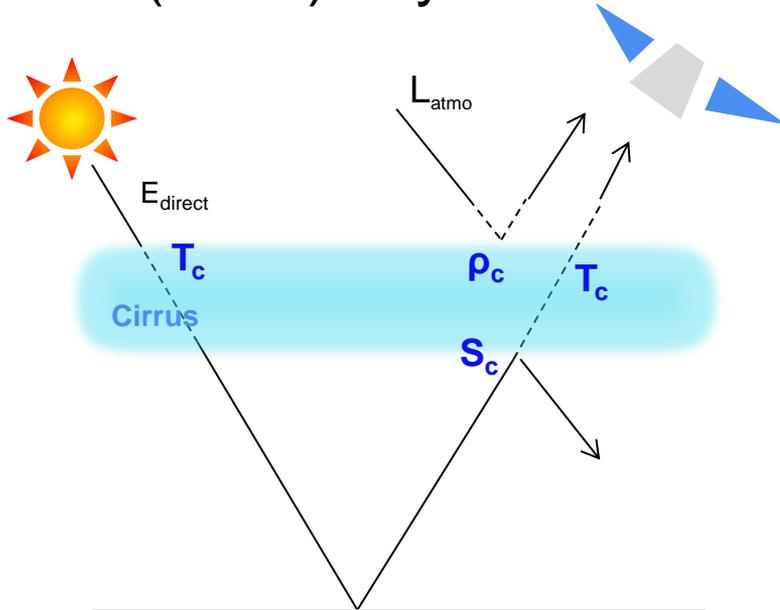
$$\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

→ $T_c \rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \rho_c(\lambda)$

- Simplification 2 : Transmission ≈ 1

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

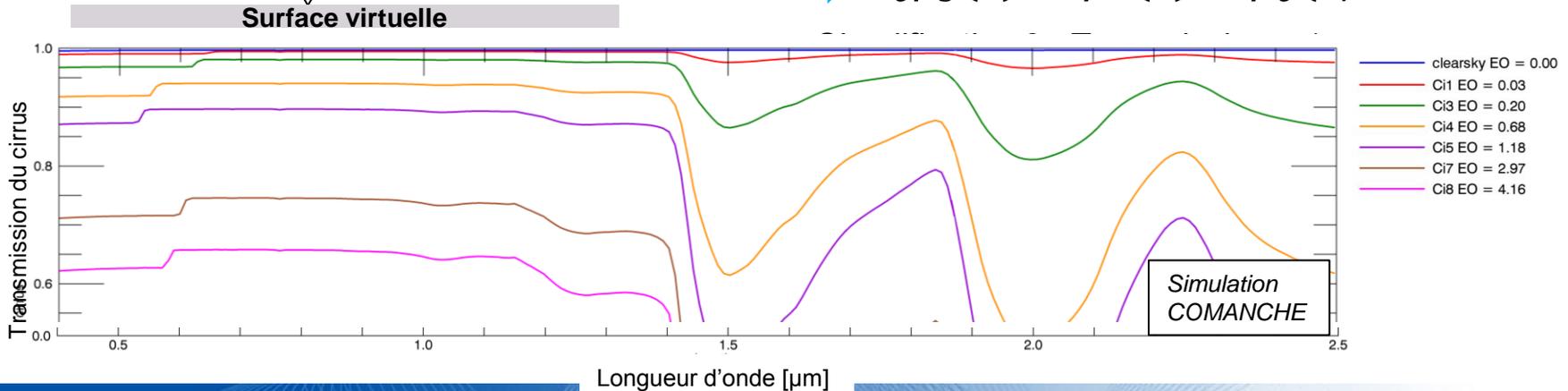
Réflectance de la surface 1
←

↑
↑
↑

Réflectance du cirrus
Transmission du cirrus
Albédo du cirrus

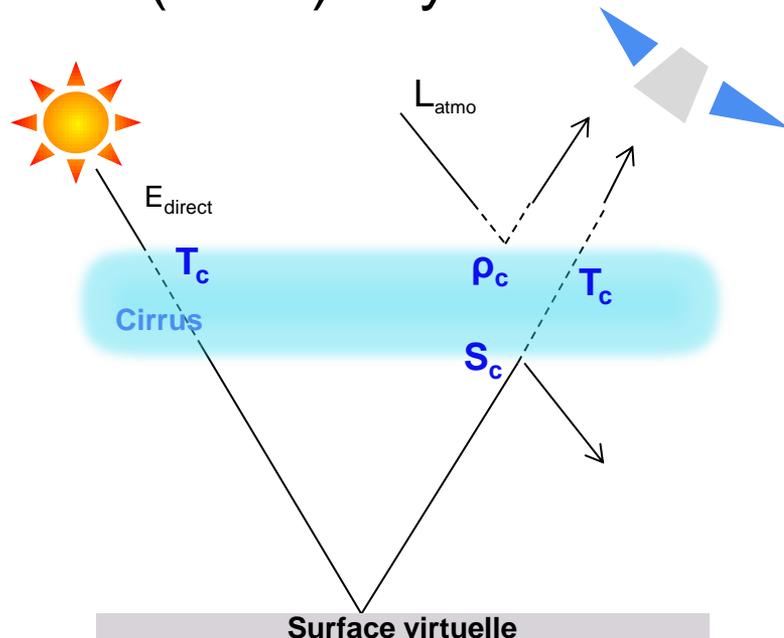
$$\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

$$\rightarrow T_c \rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \rho_c(\lambda)$$



Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

Réflectance de la surface 1

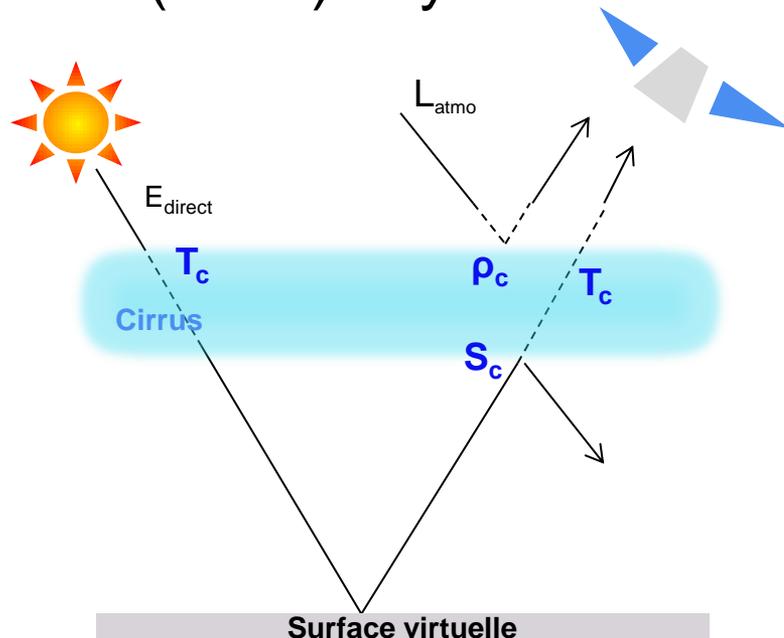
Réflectance du cirrus *Transmission du cirrus* *Albédo du cirrus*

$$\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

$$\rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \rho_c(\lambda)$$

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

Réflectance de la surface
1

Réflectance du cirrus
Transmission du cirrus
Albédo du cirrus

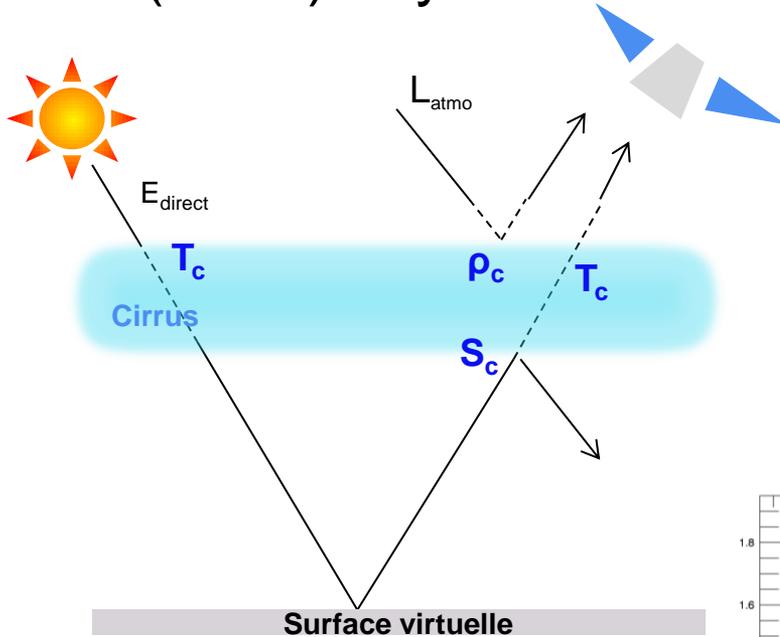
$$\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

$$\rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \rho_c(\lambda)$$

- Simplification 3 : linéarité $\rho_c(\lambda)$ et $\rho_c(1.38\mu m)$

Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :

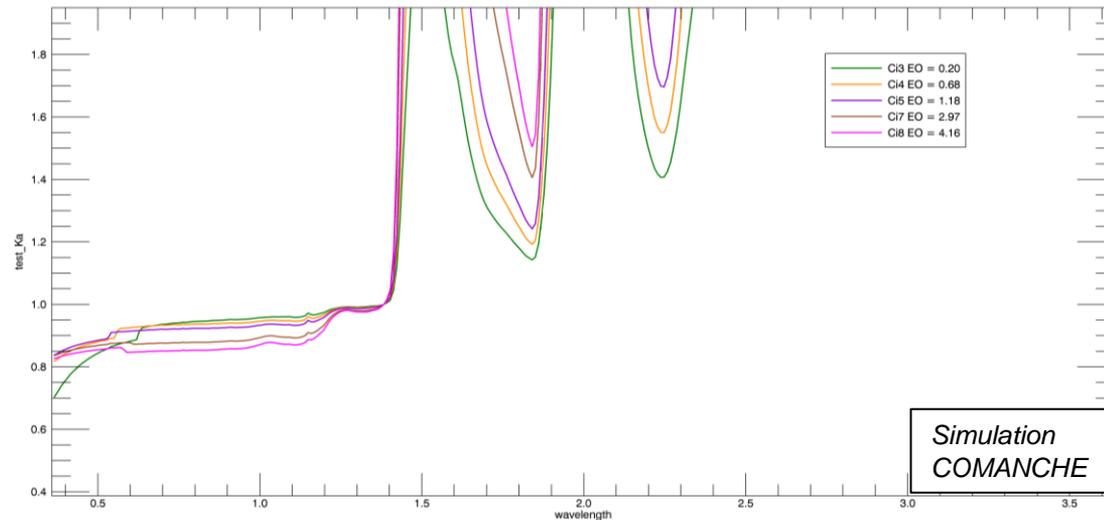


$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

Réflectance de la surface
1

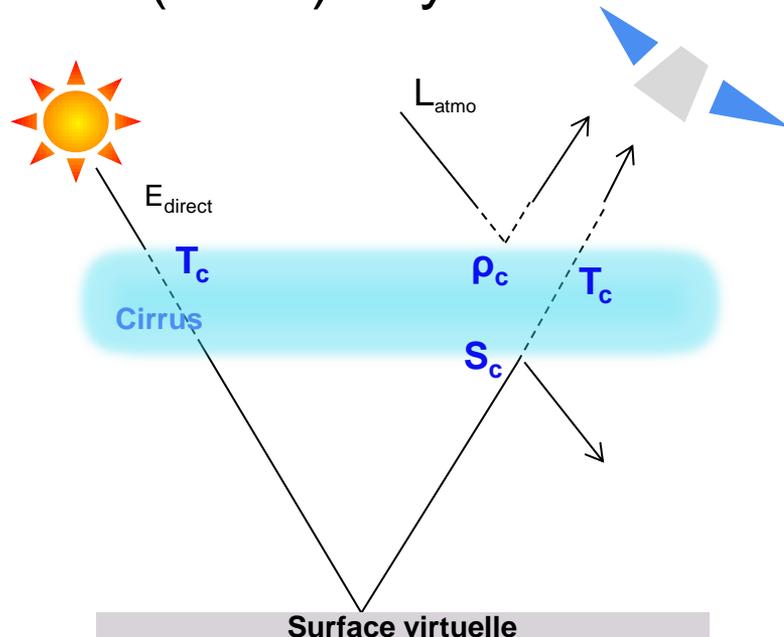
Réflectance du cirrus
Transmission du cirrus
Albédo du cirrus

$$\rho_c(\lambda) = \frac{\rho_c(1.38\mu m)}{K_a}$$



Principe de suppression des cirrus fins – domaine [0.4 – 1 μm]

Gao (1998) : système à 2 couches, relation empirique :



$$\rho^*(\lambda) = \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_c \rho_s(\lambda)}$$

Réflectance de la surface 1
Réflectance du cirrus
Transmission du cirrus
Albédo du cirrus

$$\rho^*(\lambda) \approx \rho_c(\lambda) + T_c \rho_s(\lambda)$$

$$\rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \rho_c(\lambda)$$

Et $\rho_c(\lambda) = \frac{\rho_c(1.38\mu m)}{K_a}$

$$\rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \frac{\rho_c(1.38\mu m)}{K_a}$$

Principe de suppression des cirrus – domaine [0.4 – 1 μm]

$$\rho_s(\lambda) \approx \rho^*(\lambda) - \frac{\rho_c(1.38\mu m)}{K_a}$$

$K_a = \text{pente}$

2 types de scènes

- **Eau** : $\rho^*(1.38 \mu m)$ VS $\rho^*(1.24 \mu m)$
 - (1.24 et 1.38 μm : absorption de la glace similaire / 1.38 μm effets absorption eau)
- **Terres émergées** : $\rho^*(1.38 \mu m)$ VS $\rho^*(0.65 \mu m)$
(pour pixels dont NDVI > 0.4)
 - (Réflectance végétation uniforme spatialement et faible vers 0.65 μm)

Données AVIRIS

AVIRIS : Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer.

Nombre de bandes	Domaine spectral (μm)	Largeur de bande à mi-hauteur	Hauteur de vol (km)	Taille des pixels
224	0.38 – 2.5	~10 nm	20	~ 17m

Images avec différents nuages / différentes surfaces



29 Juillet 2009, Michigan (US)



14 Juillet 2009, Virginie (US)



29 Juillet 2009, Wisconsin (US)



21 Octobre 2014, Santa Barbara, Californie (US)



1 Juin 2015, Yosemite Parc, Californie (US)

Résultats

1- Détection des cirrus

Résultats – Masques détection

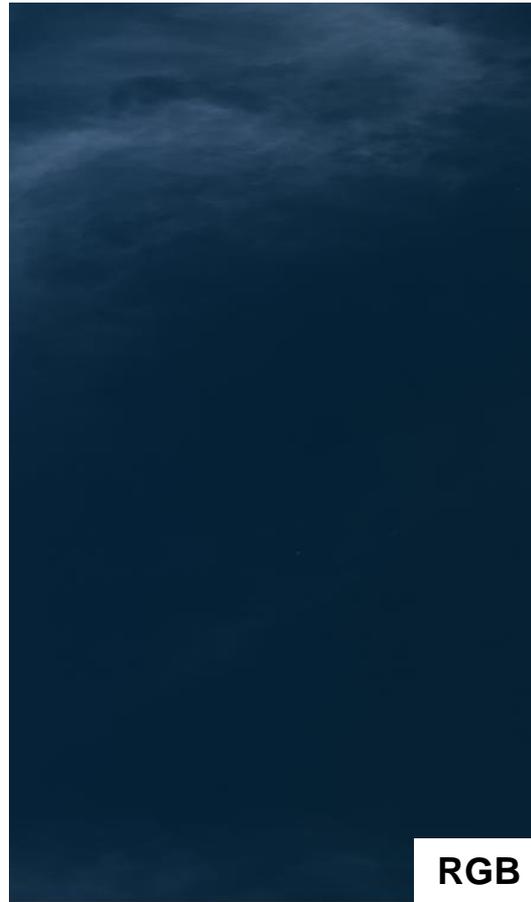
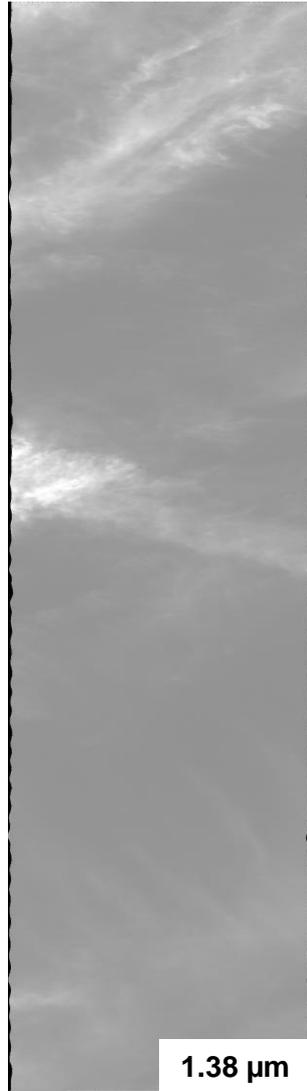
Image AVIRIS RGB. Surface = végétation



Image AVIRIS RGB. Surface = mer

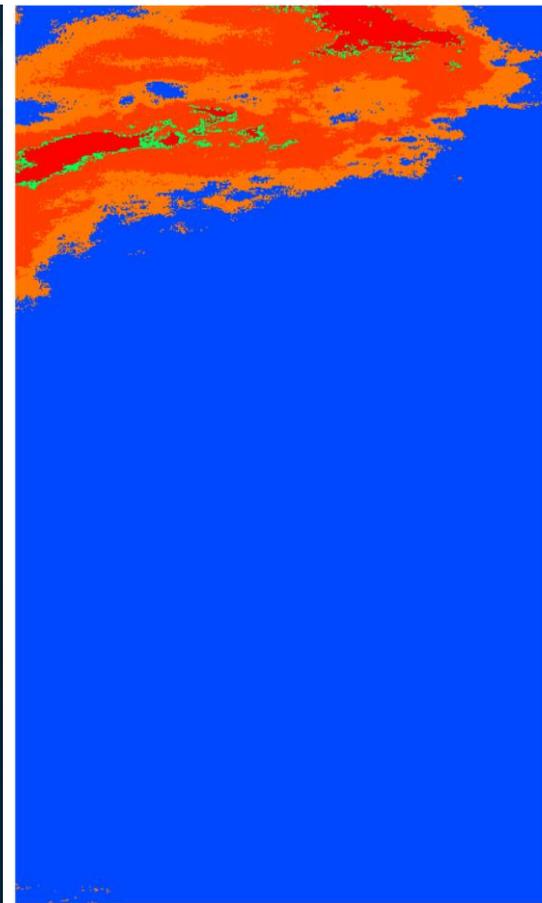
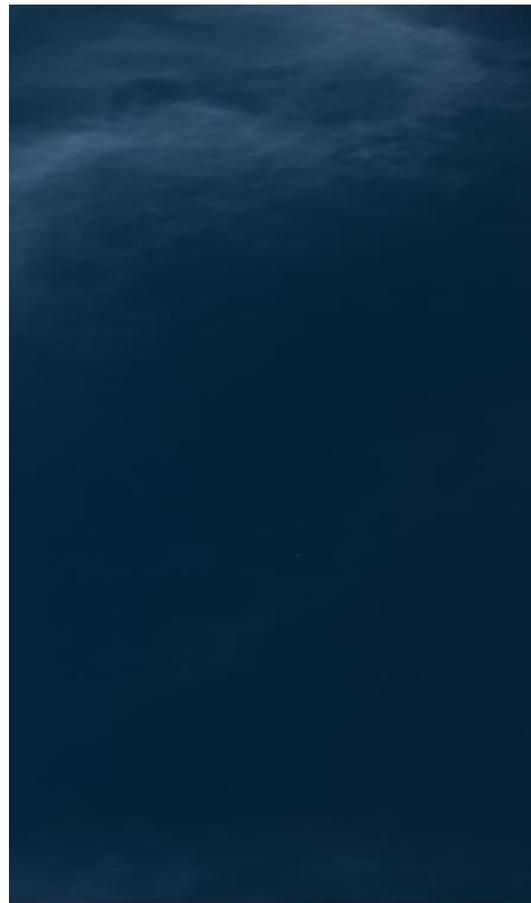
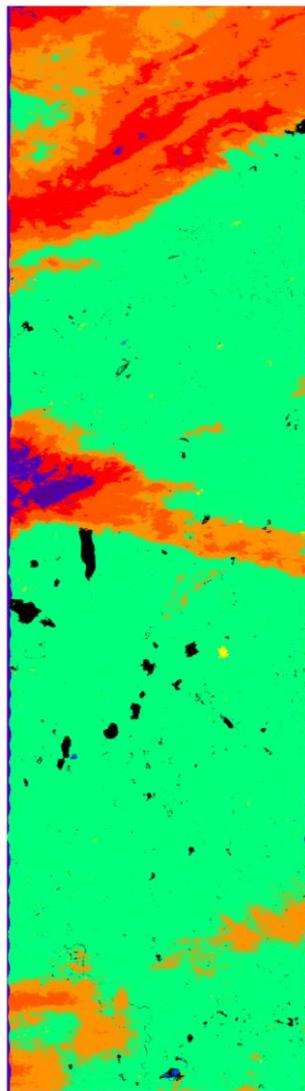


Résultats – Masques détection



Séparation cirrus / fond

Résultats – Masques détection



Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites



Image en couleur

Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites



*Image en couleur et dans
la bande à 1.38 μm*

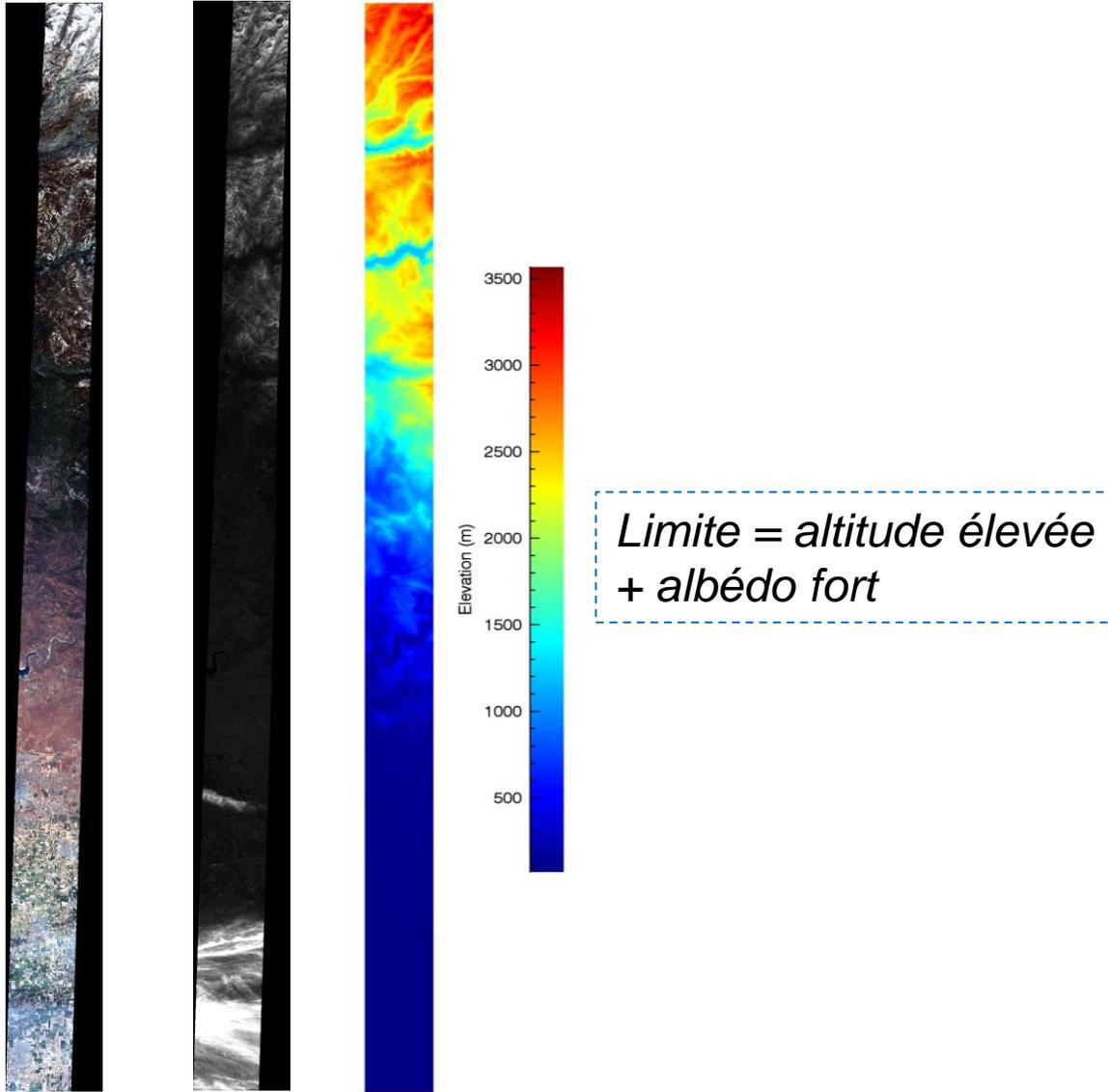
Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites



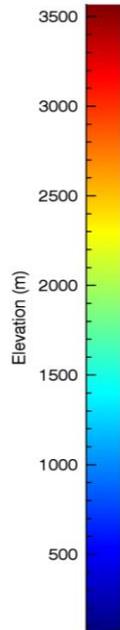
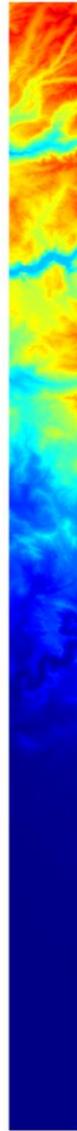
Cirrus ok

*Image en couleur et dans
la bande à 1.38 μm*

Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites



Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites

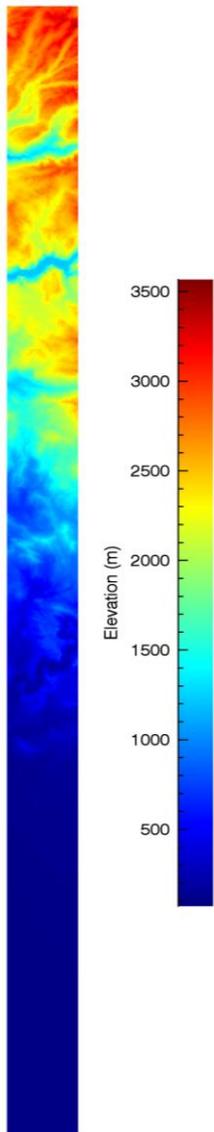


*Limite = altitude élevée
+ albédo fort*

*Image AVIRIS
f090714, RGB*



Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites

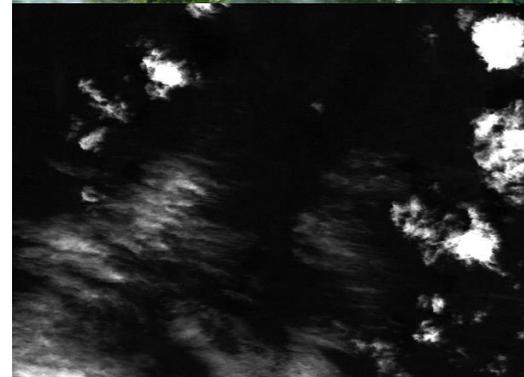


*Limite = altitude élevée
+ albédo fort*

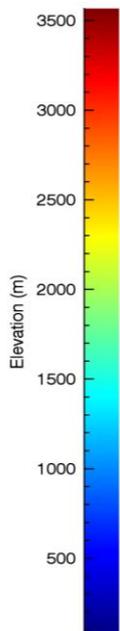
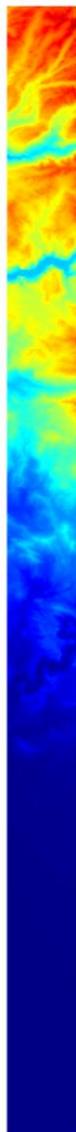
*Image AVIRIS
f090714, RGB*



*Image AVIRIS
f090714, 1.38 μm*



Résultats – Détection avec la bande à 1.38 μm - Limites

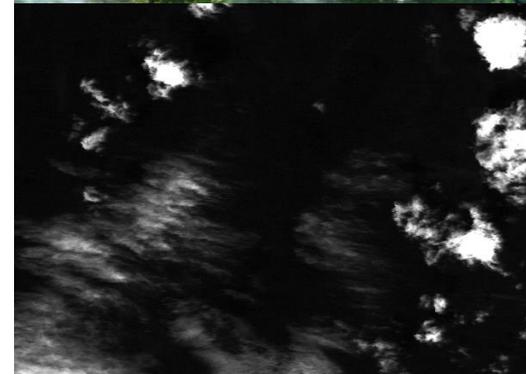


*Limite = altitude élevée
+ albédo fort
+ nuages hauts*

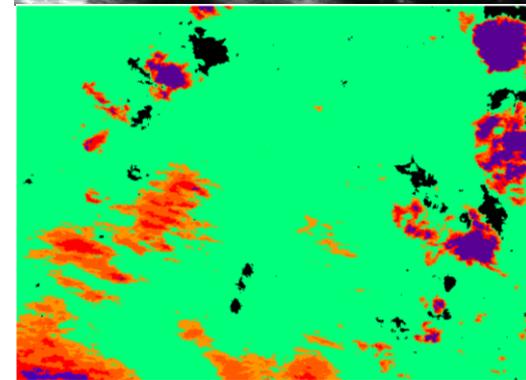
*Image AVIRIS
f090714, RGB*



*Image AVIRIS
f090714, 1.38 μm*



*Masque cirrus
sur l'image
AVIRIS
f090714*



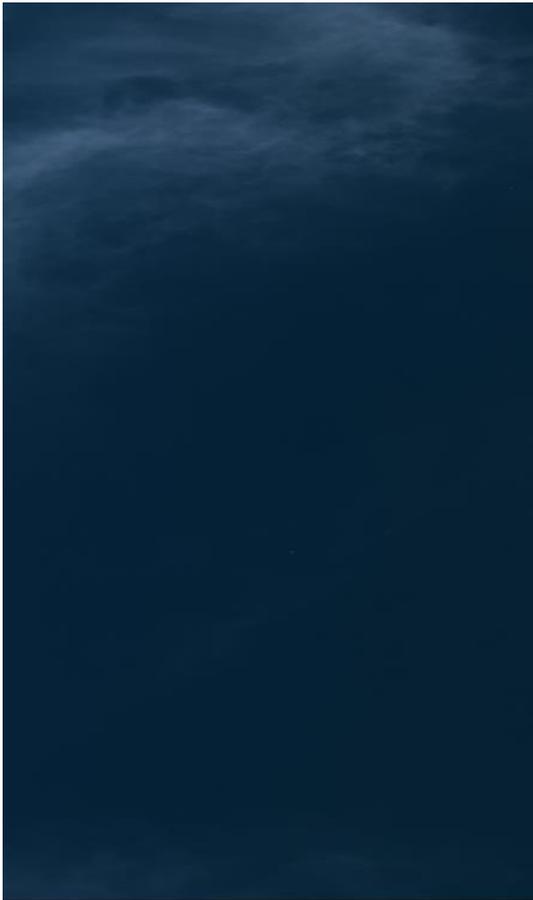
Résultats

2 – Suppression des cirrus

Suppression des cirrus - Mer

Au dessus de la mer :

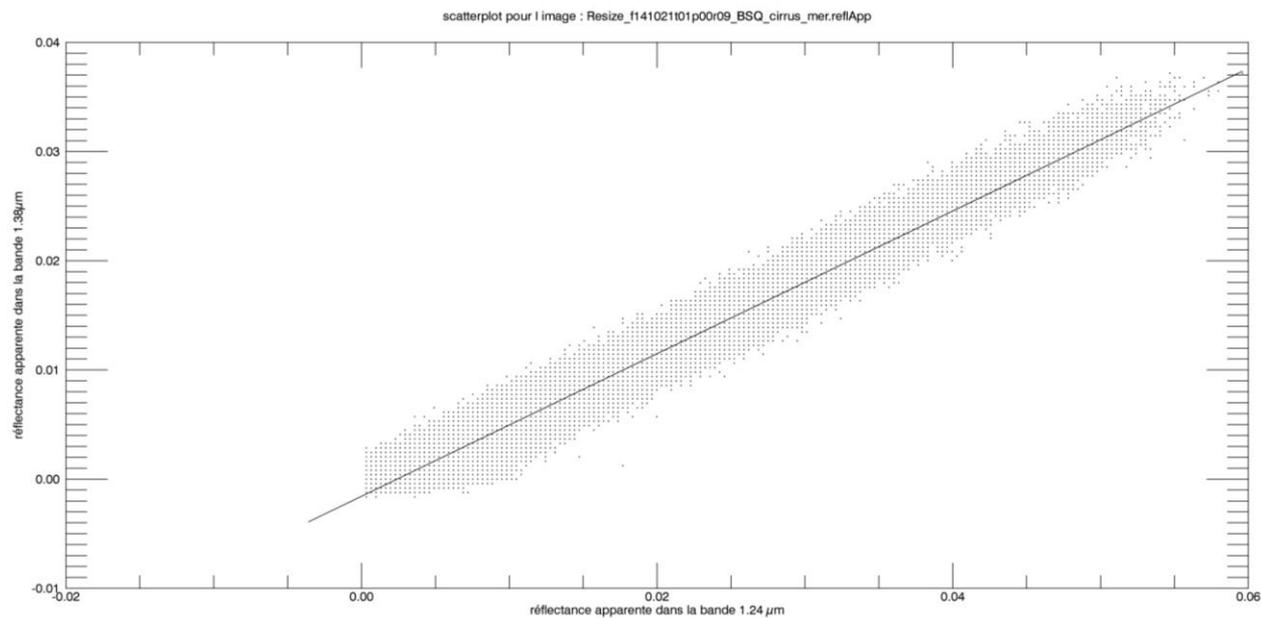
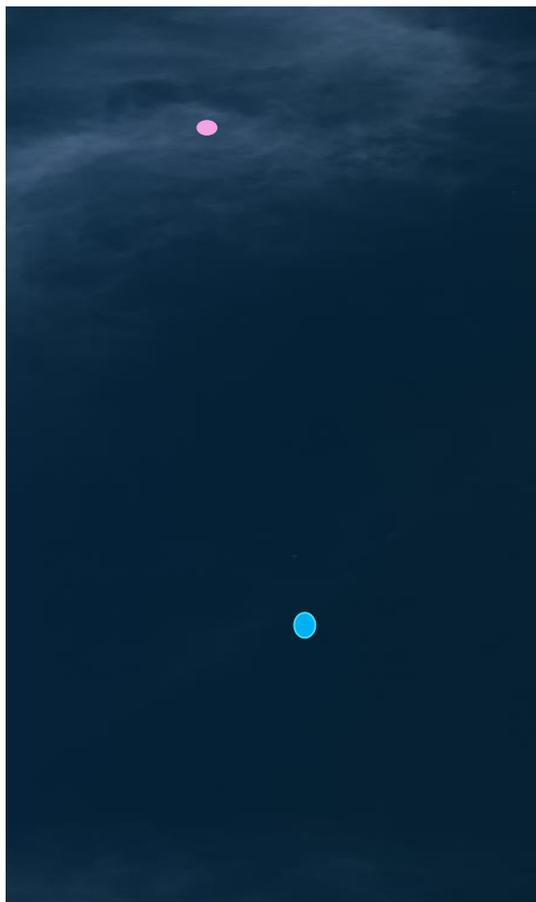
Image originale



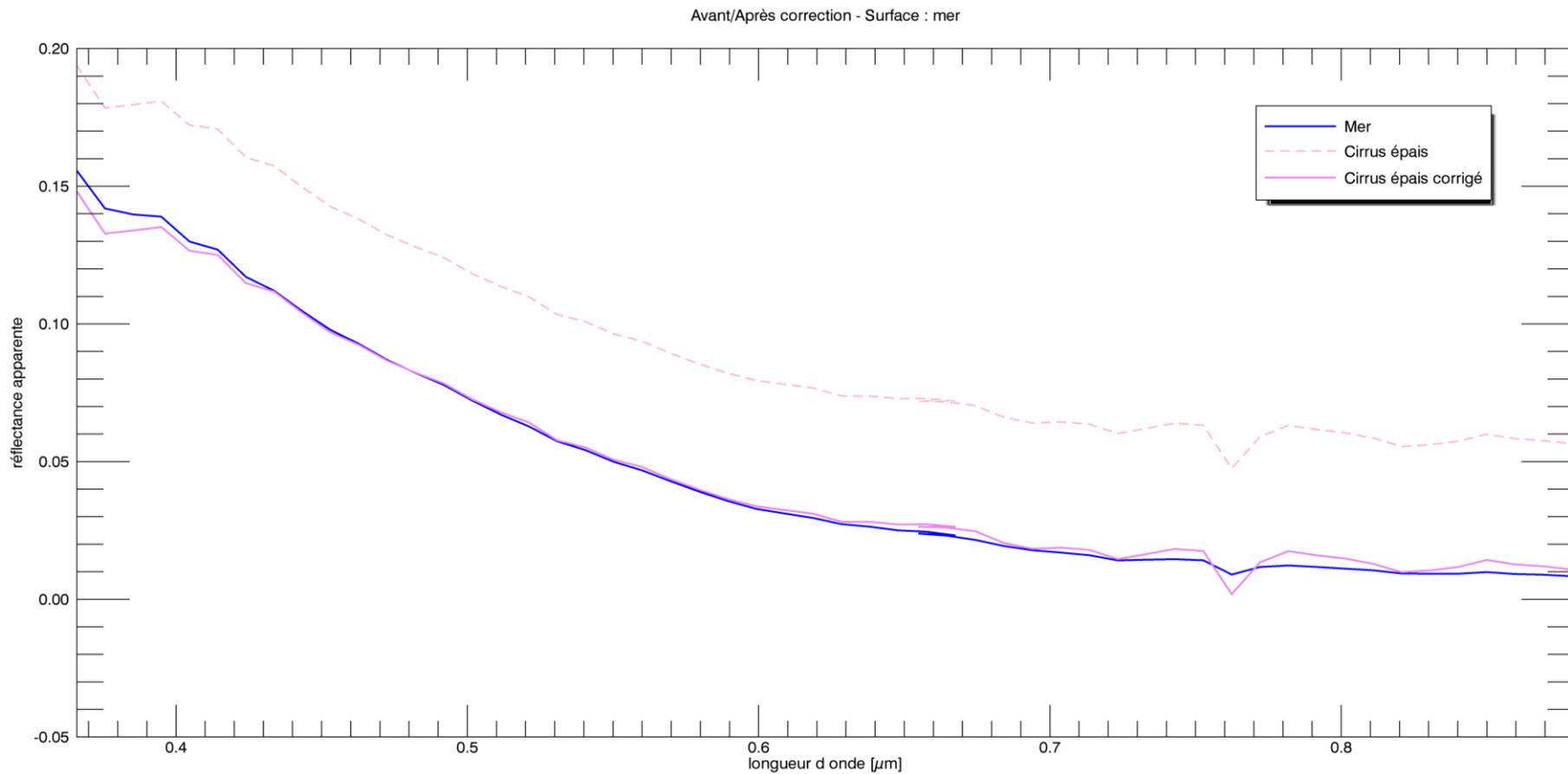
Suppression des cirrus - Mer

Au dessus de la mer :

Image originale



Suppression des cirrus - Mer

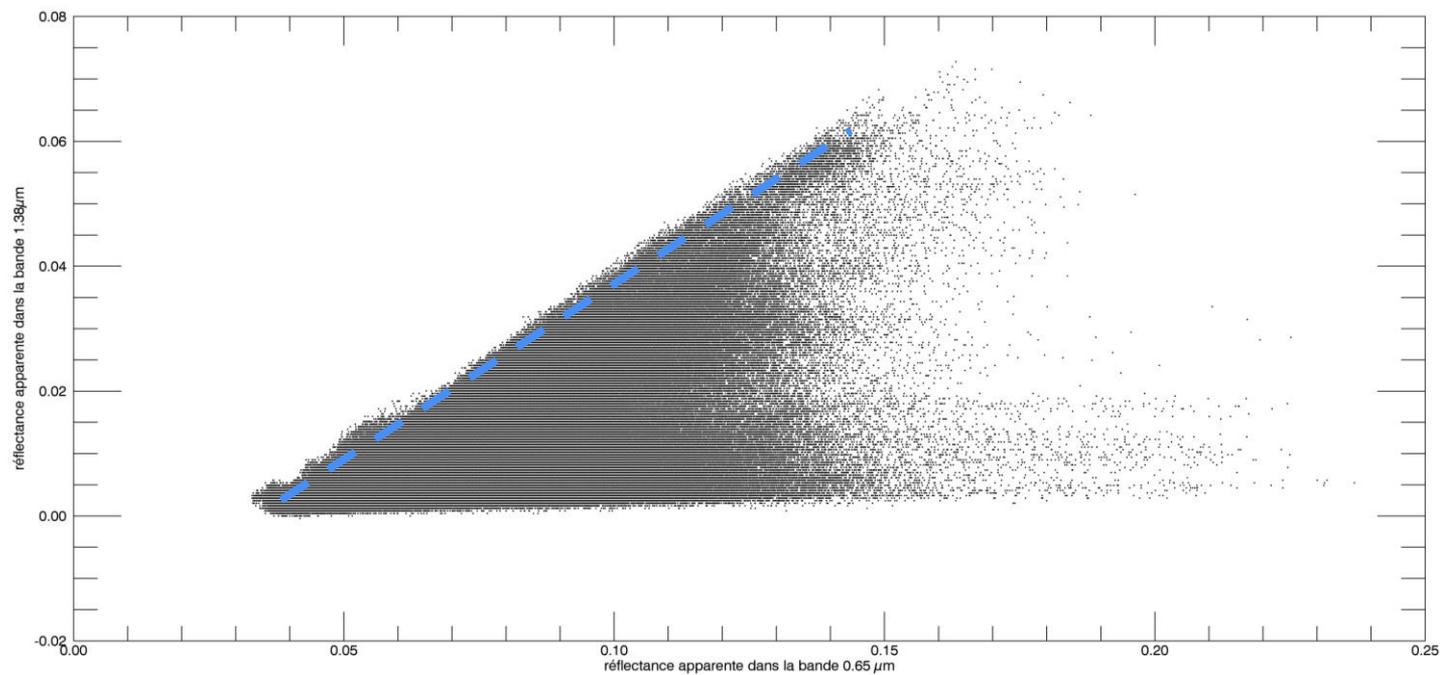


Suppression des cirrus - terre



SFPT-GH 17-18 Mai 2018

Suppression des cirrus - terre



Suppression des cirrus - terre



Après suppression
des cirrus

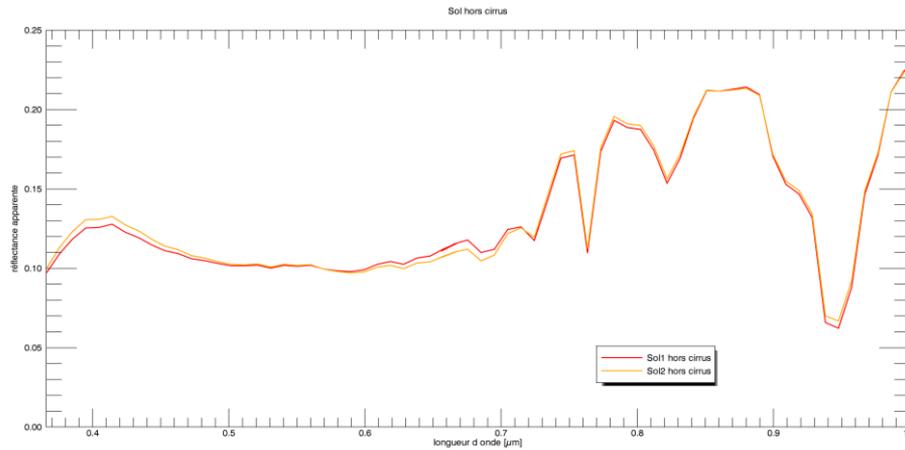
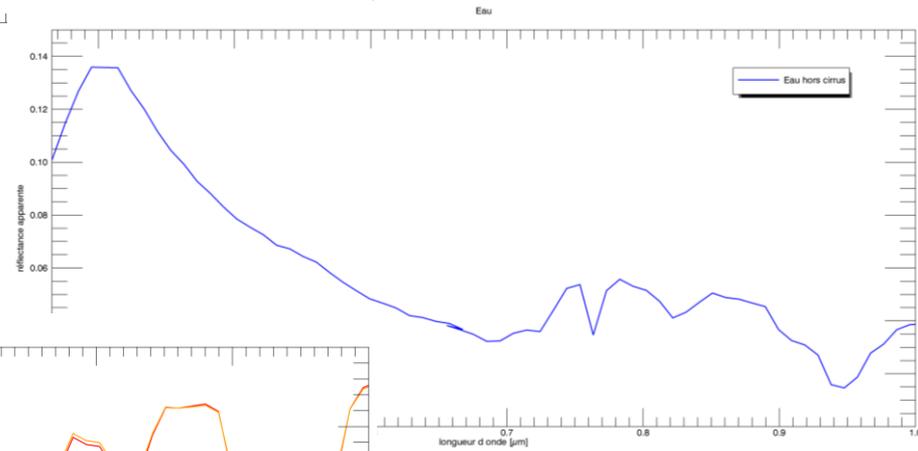
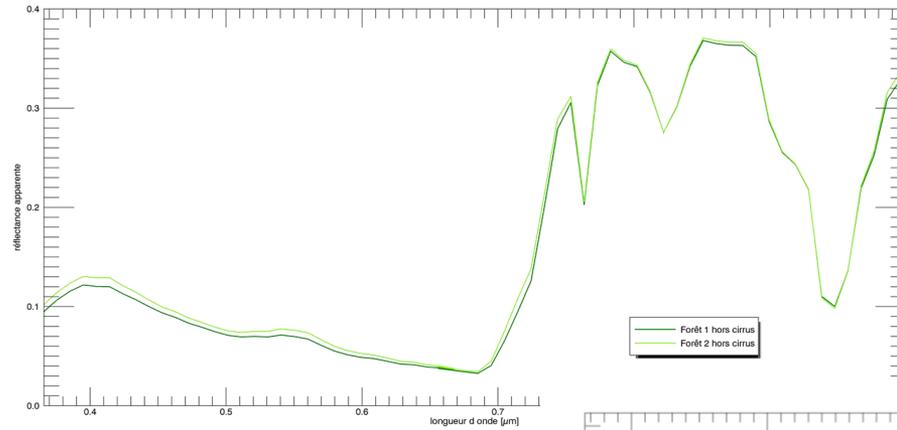
Suppression des cirrus - terre



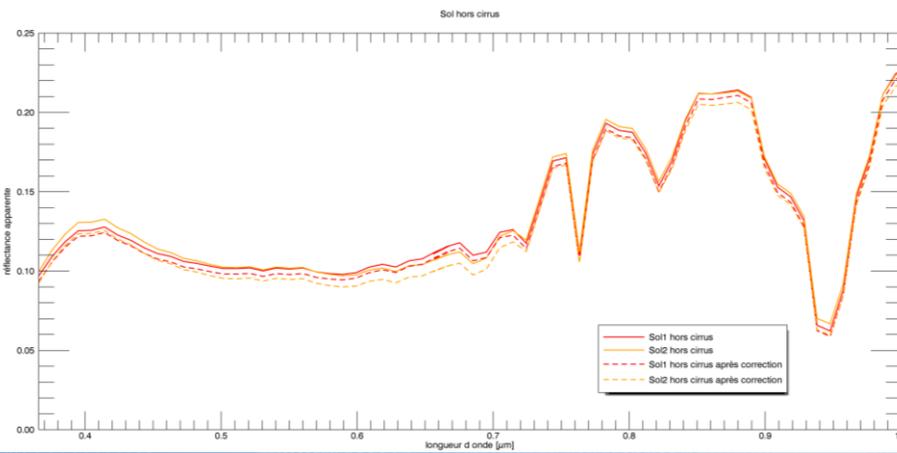
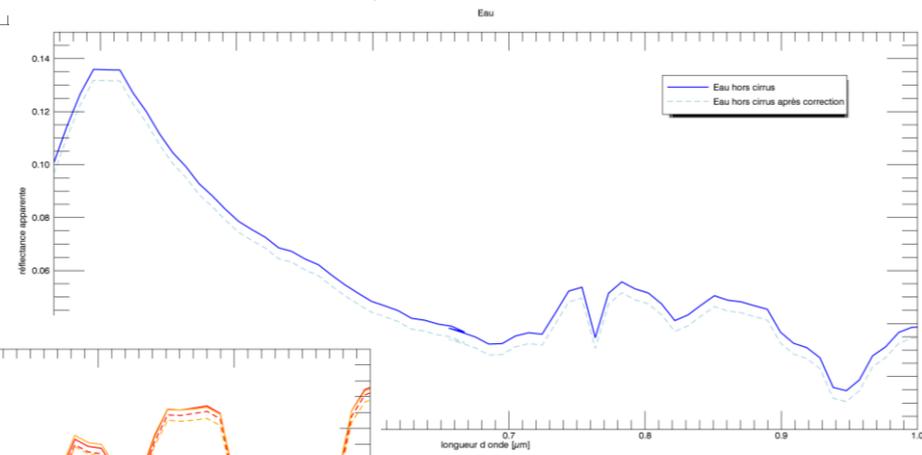
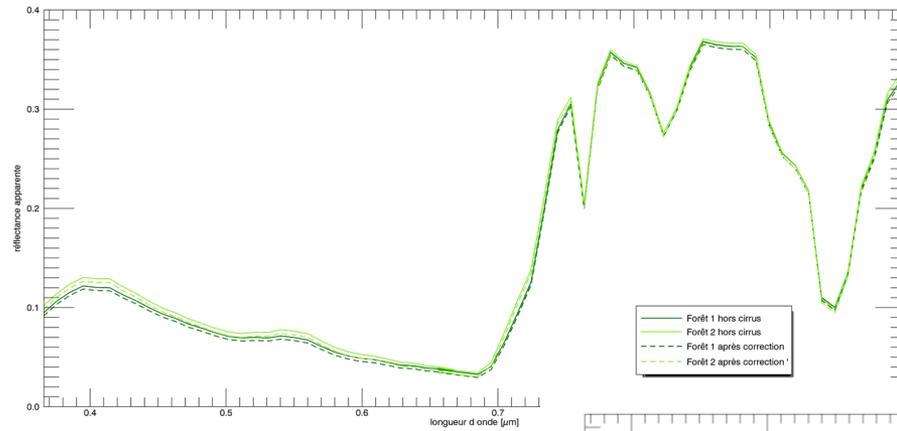
Après suppression
des cirrus

Correction d'un cirrus épais → tâche sombre

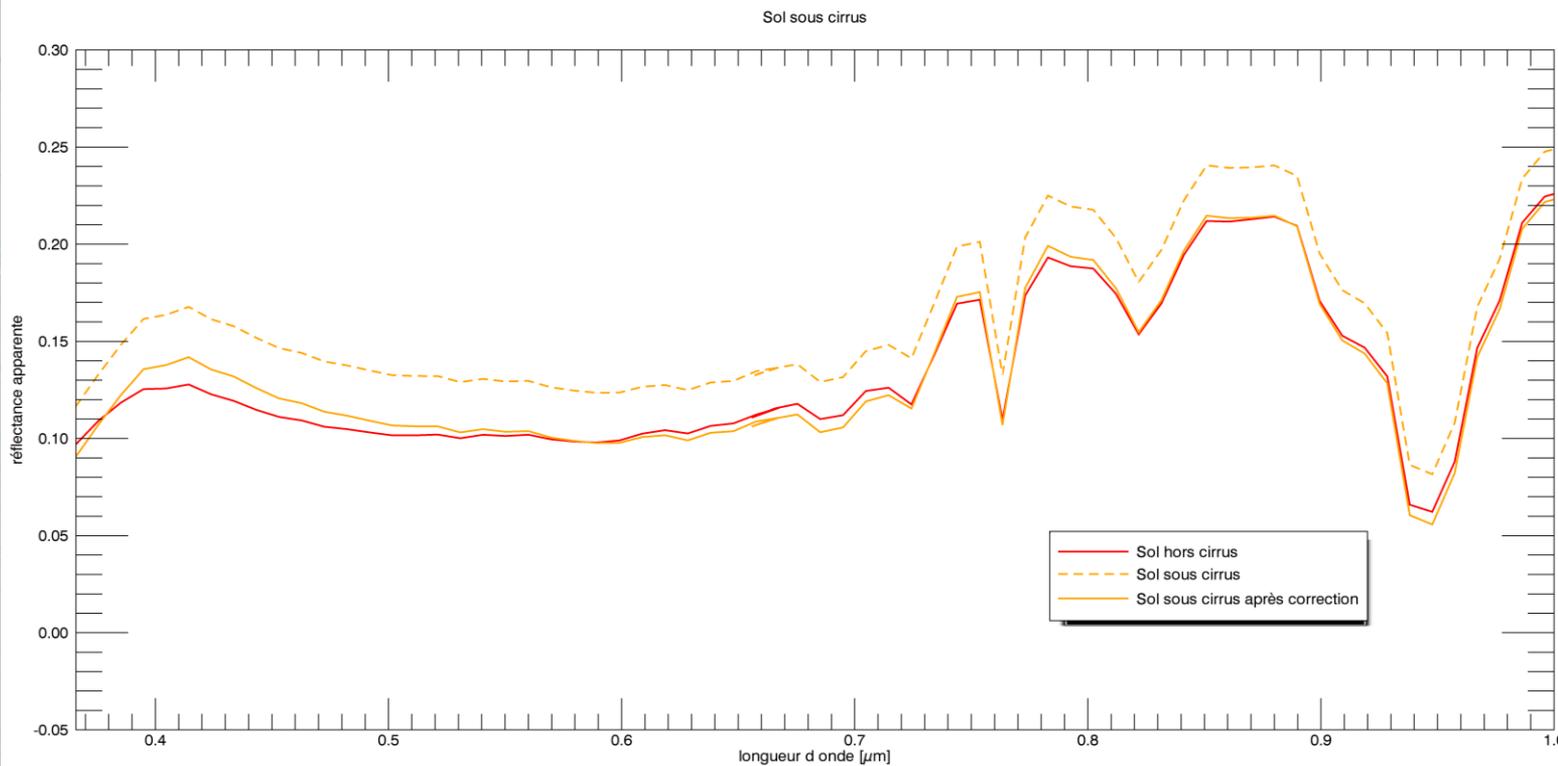
Suppression des cirrus - terre



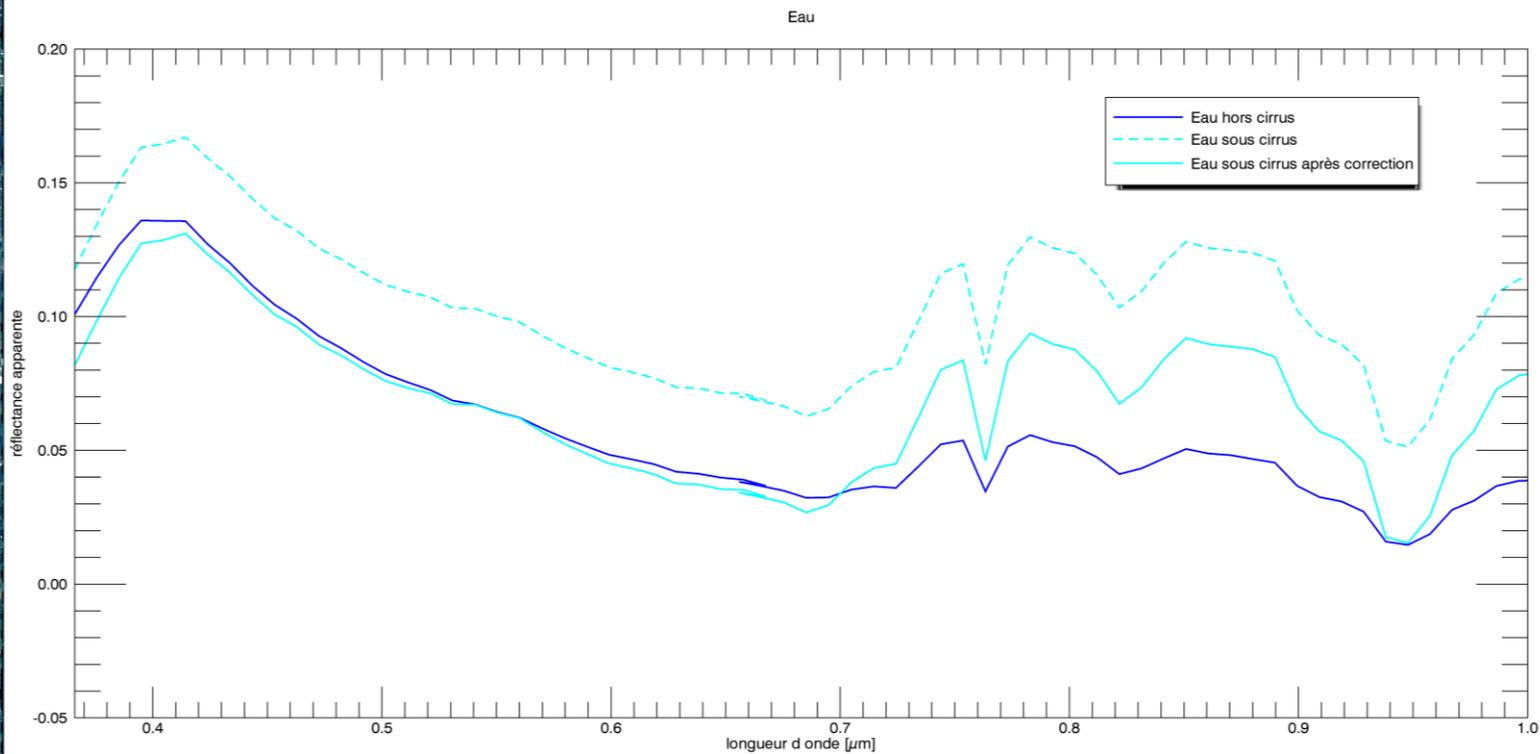
Suppression des cirrus - terre



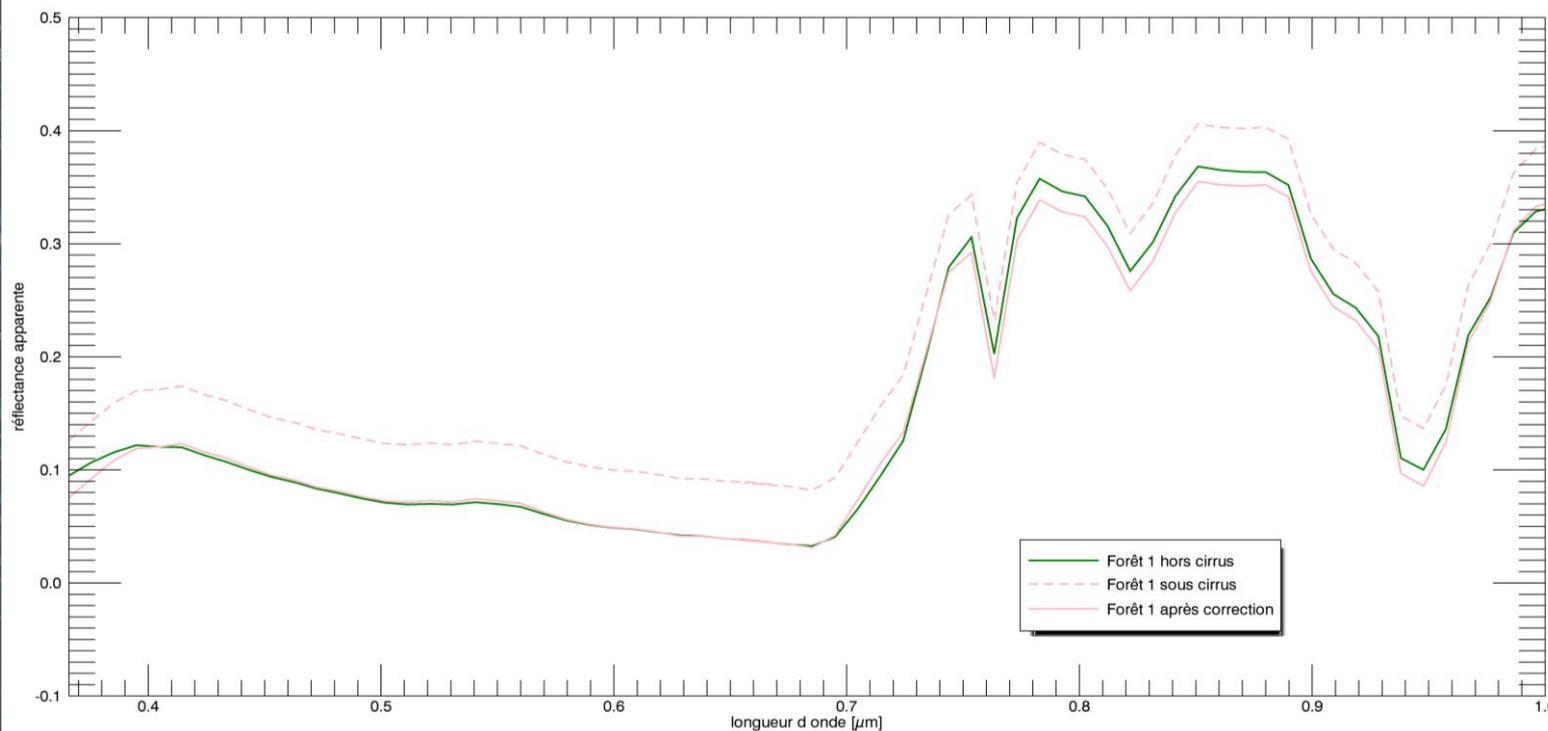
Suppression des cirrus - terre



Suppression des cirrus - terre



Suppression des cirrus - terre



**Evaluation et validation des méthodes de l'état de l'art
sur diverses images AVIRIS**

**Simplifications de l'état de l'art validées par des
simulations**

Perspectives

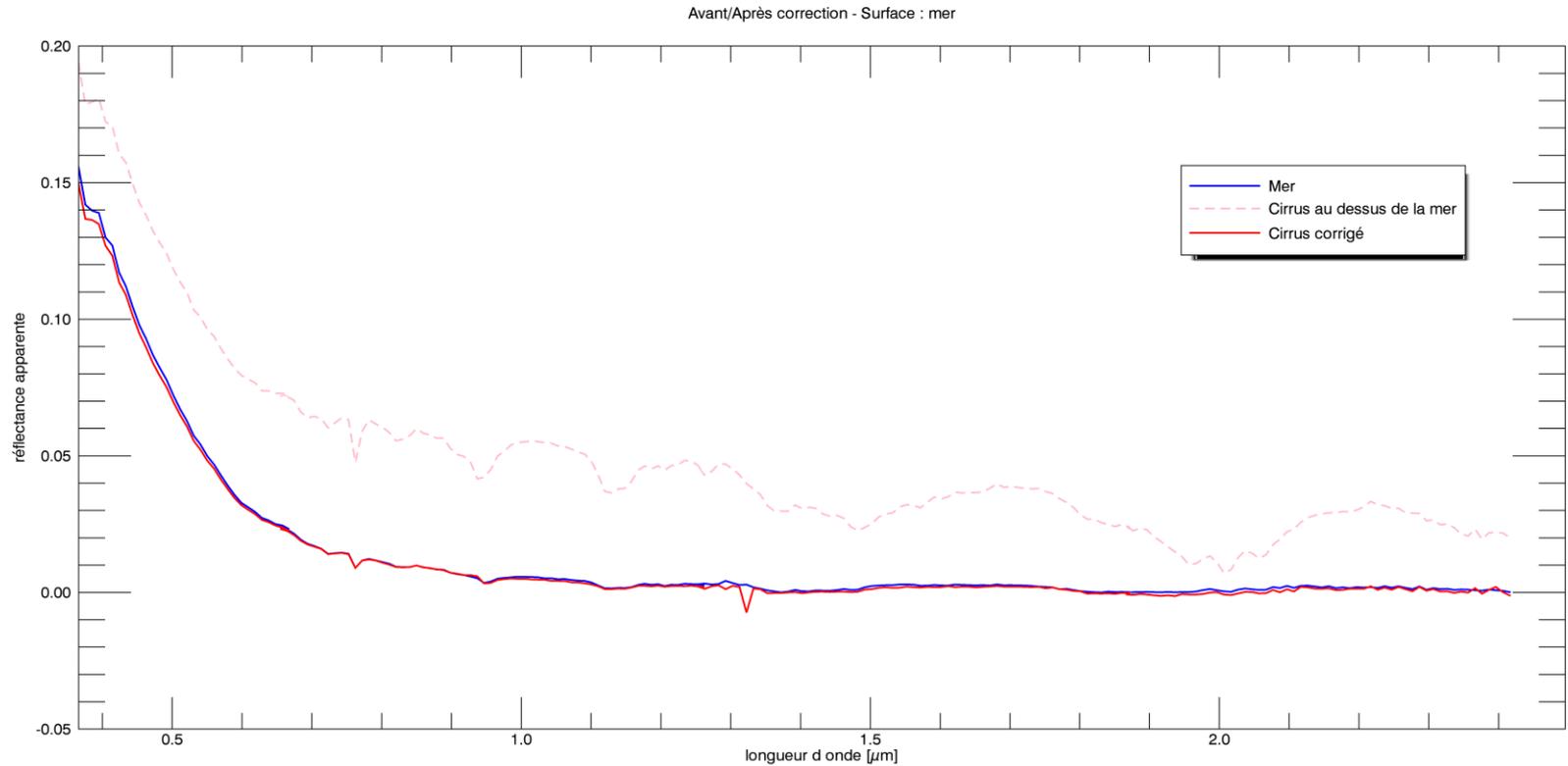
- **Approfondir les recherches pour une méthode de suppression des cirrus dans le domaine [1.0 – 2.5 μm]**
- **Détection des nuages d'eau (en cours)**
- **Détection et correction des ombres**
- **Compréhension des effets radiatifs des nuages**

Merci pour votre attention

Bibliographie

- Dor E.B., « *A precaution regarding cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer data using the 1.38 μm water vapor band* », Remote Sensing Environment, 50, pp. 346-350, 1994
- Gao B.C. and Goetz A. F. H., « *Cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer data using the 1.38 μm water vapor band* », Geophysical Research Letter, Vol. 20, No. 4, pp. 301-304, 1993
- Gao B.C, Kaufman Y.J., Han W. and Wiscombe W.J., « *Correction of thin cirrus path radiances in the 0.4-1.0 μm spectral region using the sensitive 1.375 μm cirrus detecting channel* », Journal of Geophysical Research, Vol. 103, No. D24, pp.32,169-32,176, 1998
- Poutier L., Miesch C., Lenot X., Achard V. and Boucher Y., « *COMANCHE and COCHISE : two reciprocal atmospheric codes for hyperspectral remote sensing* », 2002
- Richter R. and Schläpfer D., « *Atmospheric / Topographic Correction for Airborn Imagery* », ATCOR-4 User guide, version 7.0.3, 2016

Test avec plusieurs Ka



Gao B.C and Li R.R., « Removal of thin cirrus scattering effects in Landsat 8 OLI Images using the cirrus detecting channel », Remote Sensing, 9, 834, 2017