

## Contexte et objectif

La télédétection par spectro-imagerie permet, depuis l'espace, de remonter à la réflectance, propriété intrinsèque de la surface, après correction des effets de l'atmosphère sur le signal mesuré. Cette correction atmosphérique est aujourd'hui très bien maîtrisée pour des scènes sans relief et sous hypothèse lambertienne, mais limitée aux conditions de ciel clair. Or les nuages recouvrent statistiquement ~ 2/3 de la couverture terrestre globale, modifiant les effets radiatifs sur la scène et rendant ainsi la correction plus complexe. Les nuages les plus répandus sont les cirrus. Ils sont composés de cristaux de glace (de formes et tailles variables) et sont semi-transparents, ce qui permet d'entrevoir la surface sous-jacente. Situés au dessus d'environ 90% de la vapeur d'eau par leur haute altitude (> 8km), ils sont détectables grâce aux fortes bande d'absorption de la vapeur d'eau, à 1.38 μm et 1.88 μm.

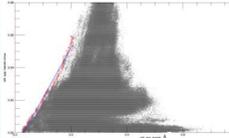
En 1998, Gao et al. proposent une méthode de correction empirique des cirrus. Cette méthode est valable pour des cirrus fins ( $\rho^*(1.38\mu m) < 0.04$ ), dans le domaine [0.4, 1.0 μm]. En 2017 ils étendent cette méthode au SWIR, pour le capteur Landsat.

Méthode validée qualitativement et aujourd'hui utilisée par plusieurs capteurs, il est proposé ici une validation quantitative et une discussion de cette dernière méthode à l'aide de couples d'images (avec et sans nuages) du capteur multispectral Sentinel-2.

## Modèle de Gao et al.

### Equation du transfert radiatif en réflectance apparente :

$$\rho_{avec\ cirrus}^*(\lambda) = \rho_{cirrus}^*(\lambda) + T_{cirrus}^{tot} \rho_{surf}(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - S_{cirrus} \rho_{surf}(\lambda)}$$



### Simplifications (pour cirrus fins) :

- Albédo  $S_{cirrus} < 1$
- Transmission  $T_{cirrus}^{tot} = 1$

$$\rho_{ciel\ clair}^*(\lambda) = \rho_{avec\ cirrus}^*(\lambda) - \frac{\rho_{cirrus}^*(1.38\mu m)}{K_a}$$

### Obtention de $K_a$ :

Pente des points les plus à gauche du nuage de points entre la bande à 1.38 μm et une bande λ.

1989 : [0.4 – 1.0 μm]

- Zones d'eau :  $\rho^*(1.38\ \mu m)$  VS  $\rho^*(1.24\ \mu m)$
- Zones mixte :  $\rho^*(1.38\ \mu m)$  VS  $\rho^*(0.65\ \mu m)$

2017 : [0.4 – 2.5 μm]

- 1 coefficient par bande

Correction d'un « offset »

## Données

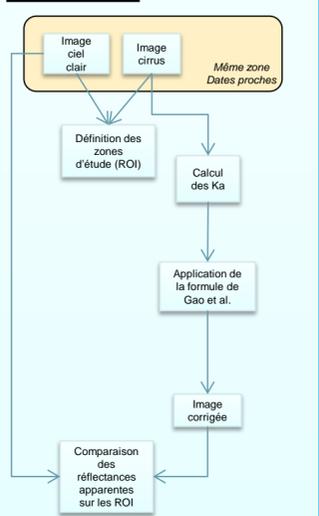
### Couples d'images Sentinel-2

Série de satellites multispectraux (S2A (2015) et S2B (2017)) du programme Copernicus (ESA). Instrument composé de 13 bandes.

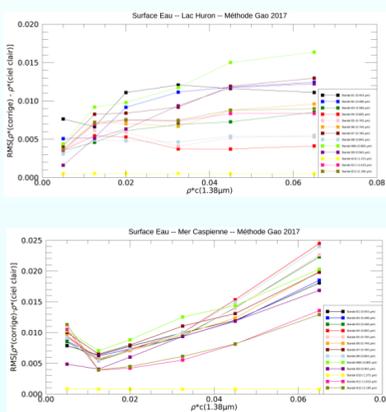
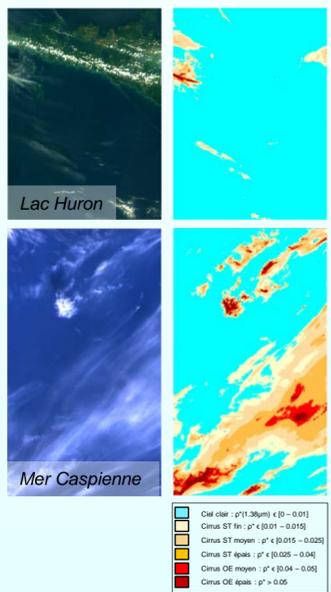
Région	Date et heure UTC image ciel clair	Date et heure UTC image cirrus	Zone
Lac Huron - T17TLL	23/08/2018 - 16h18	26/08/2018 - 16h28	E A U
Mer Caspienne - T39TWG	14/11/2018 - 7h21	17/11/2018 - 7h31	
Mer Noire - T37TOG	28/10/2018 - 8h20	31/10/2018 - 8h30	
Plaine de la Crau - T31TFJ	29/07/2018 - 10h30	03/08/2018 - 10h30	M I X T E
Landes - T30TXQ	11/09/2018 - 11h56	16/09/2018 - 11h56	
Portugal - T29TNF	25/10/2017 - 11h33	22/10/2017 - 11h21	

## Validation du modèle de Gao et al. 2017

### Méthode :

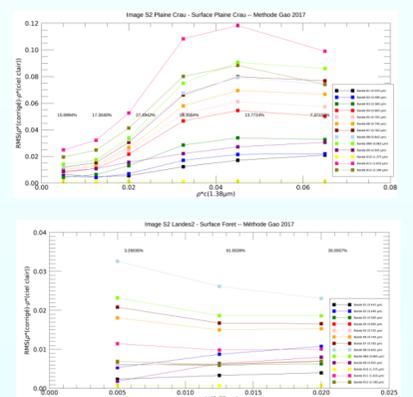
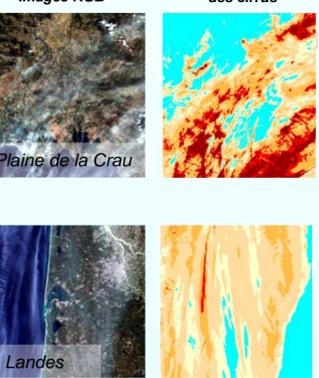


### Images RGB Classification ATCOR des cirrus



Sur l'eau : réflectance apparente corrigée à ± 0.015. Le modèle corrige également les cirrus plus épais, à ± 0.025. Difficultés si présence de contrails (traînées de condensation des avions).

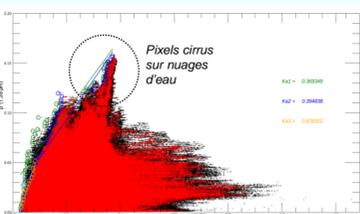
### Images RGB Classification ATCOR des cirrus



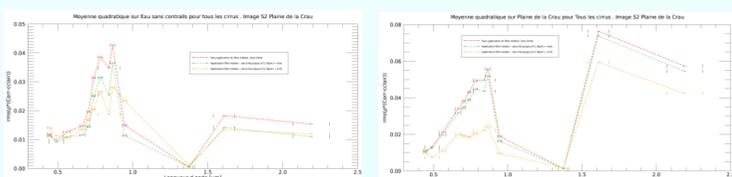
Sur les surfaces continentales, les performances dépendent du types de surface et de la longueur d'onde. Les bandes entre 0.7 et 0.9 μm étant les plus affectées.

## Améliorations / Discussions

- Estimation du coefficient  $K_a$  : influence sur la précision de la correction
- Les performances dépendent de la position des cirrus dans la scène. → Estimation des erreurs selon la surface par simulations.

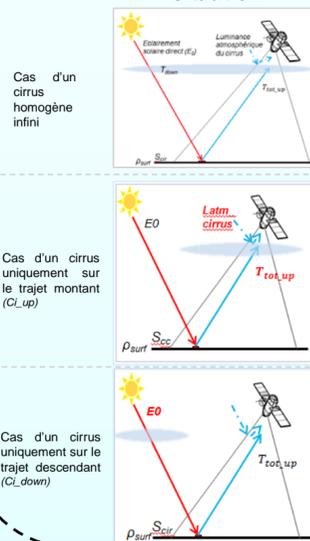


Certains pixels peuvent perturber l'estimation du coefficient. Selon la méthode utilisée, des coefficients différents sont trouvés rendant la correction différente.

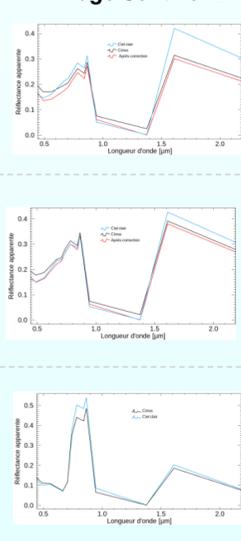


Un seuil sur la réflectance apparente dans la bande cirrus lors du calcul de la pente évite la prise en compte de pixels « gênants » et améliore la précision de la correction, en particulier sur les surfaces continentales où la précision est améliorée d'un facteur 2.

### Schéma de situation

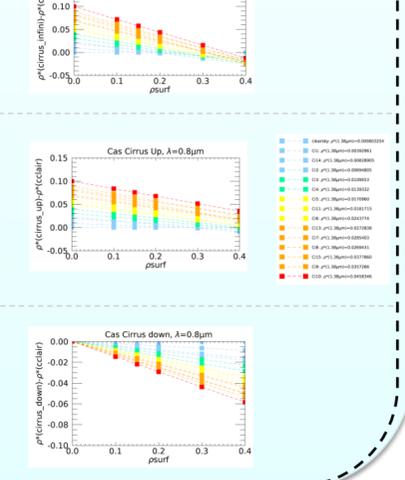


### Situation sur l'image Sentinel-2



### Simulations COMANCHE

Influence sur la réflectance apparente en présence de cirrus en fonction de sa position dans la scène.



## Conclusions/Perspectives

- Modèle de GAO validé sur l'eau mais pas sur les surfaces continentales
- Amélioration apportée en affinant le coefficient  $K_a$ .
- **Limites** du modèle de Gao : domaine SWIR, cirrus présent sur toute l'image
- **Perspectives** :
- La position des cirrus sur les trajets descendant ou montant induit des erreurs de correction => nécessité de faire évoluer le modèle de Gao.
- Tests de détection des « ombres » de cirrus afin d'appliquer une correction différente (dés-ombrage).

## Références

- 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
- Gao B.C., Kaufman Y.J., Han W. and Wiscombe W.J., « Correction of thin cirrus path radiance in the 0.4-1.0 μm spectral region using the sensitive 1.38 μm cirrus detecting channel », Journal of Geophysical Research, Vol.103, No. D24, pp.32,169-32,176, 1998
- 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