





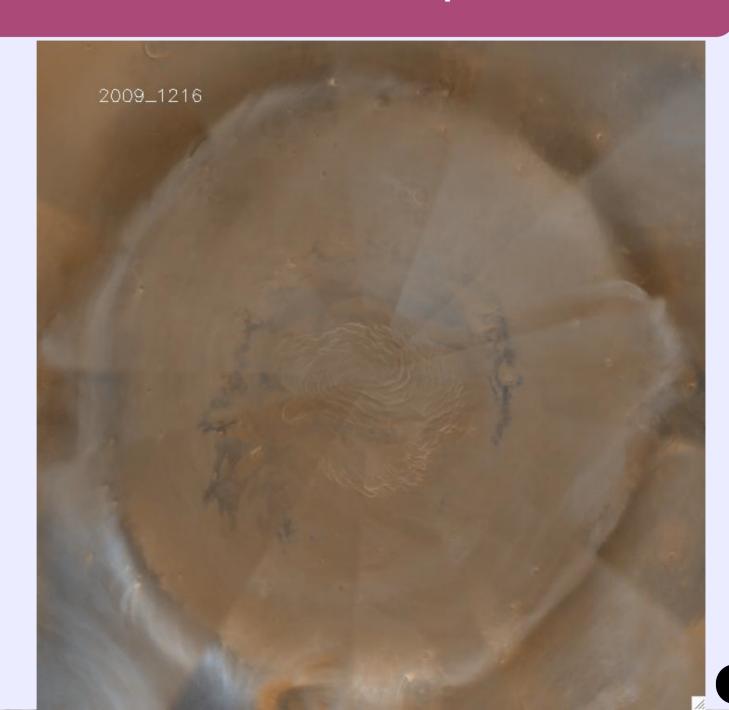
### **Imagerie hyperspectrale des** hautes latitudes de Mars

Sylvain Douté et Xavier Ceamanos
Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble
Frédéric Schmidt
Laboratoire IDES
Bin Luo
LIESMARS Wuhan Univ.
Stéphane Girard
INRIA Rhône-Alpes
Jocelyn Chanussot
Gipsa-Lab



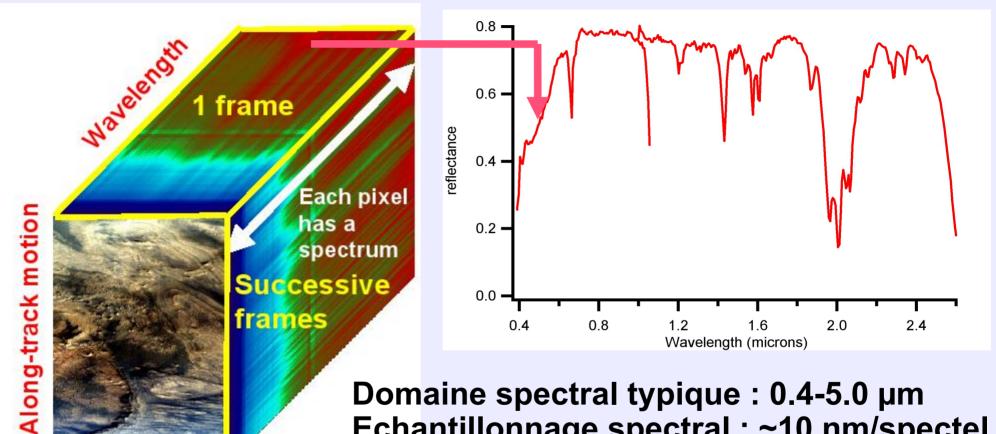
Colloque d'inauguration de la Société Française de Télédétection Hyperspectrale

### Les hautes latitudes polaires de Mars



Hémisphère nord MRO (NASA) Capteur MARCI

### Spectro-imagerie IR : technique clef pour l'étude et le suivi de Mars



Domaine spectral typique: 0.4-5.0 µm

Echantillonnage spectral: ~10 nm/spectel

Résolution spatiale : ~ 10m-100km/pixel

Nombre de pixels/image : ~104-106

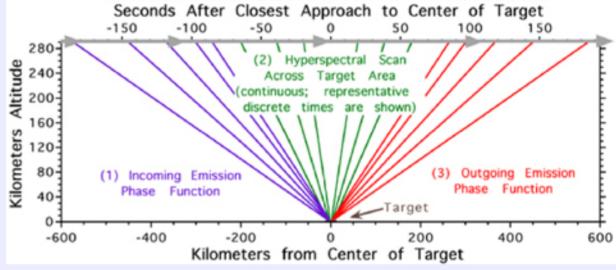
Nb de direction de visée : ~1 à 10

 $S/B : \sim 10-100+$ 

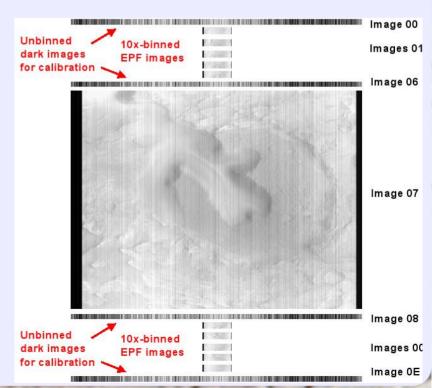
Along slit

# CRISM/MRO Targeted and EPF modes

Scanning a region of interest at full spatial and spectral resolution: central observation at 18 or 36 m/pixel

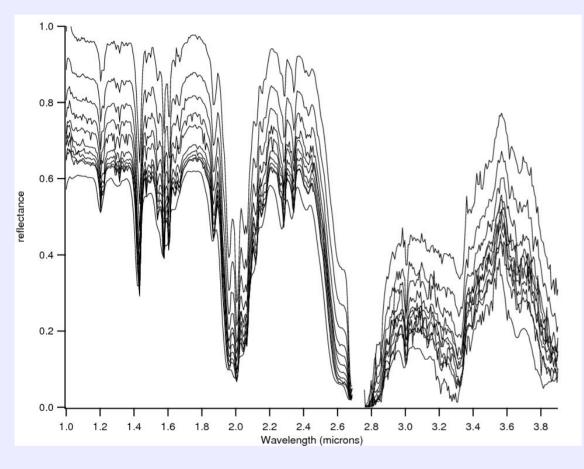


Ten additional spatially binned acquisitions at 10 emergence angles from -70° to 70°: emission phase function (EPF) for a series of area of the site

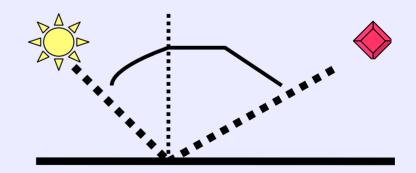


### Post-traitement - Fusion -obtention des observables (WP4 : LPG)

courbes spectro-photométriques



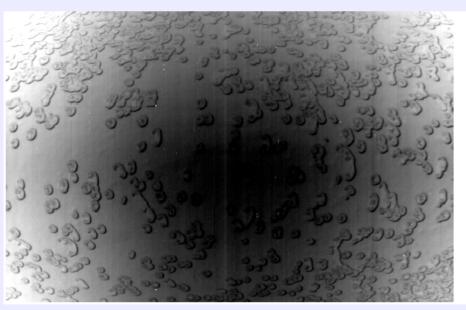
Points d'appui et couverture géométrique

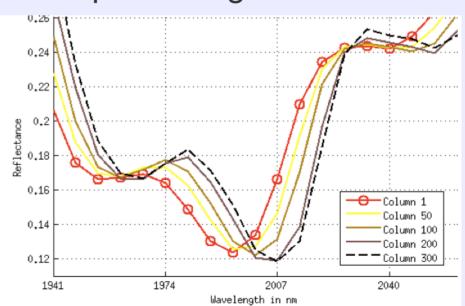


Variabilité spectrale en fonction de l'angle de phase

#### Obstacle: le « spectral smile »

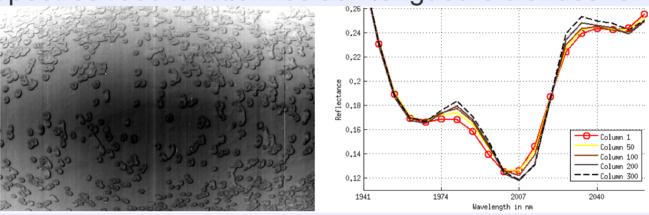
- Artéfact causé par des aberrations optiques
- La réponse spectrale CRISM (longueur d'onde centrale et largeur) d'une bande donnée change avec le numéro de colonne
- Conséquences :
  - décalage et lissage spectraux
  - gradients horizontaux dans l'espace image



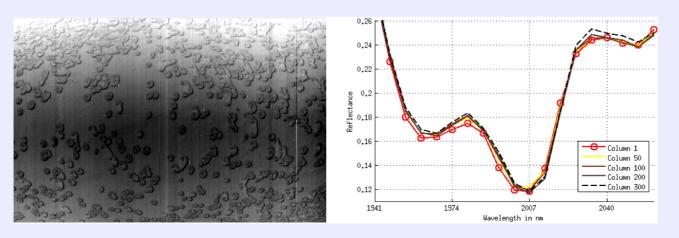


# « Spectral smile »: correction (WP4 : LPG)

- Première étape: égalisation de la longueur d'onde centrale
  - Spectres rééchantillonnés aux longueurs d'ondes "sweet-spot"

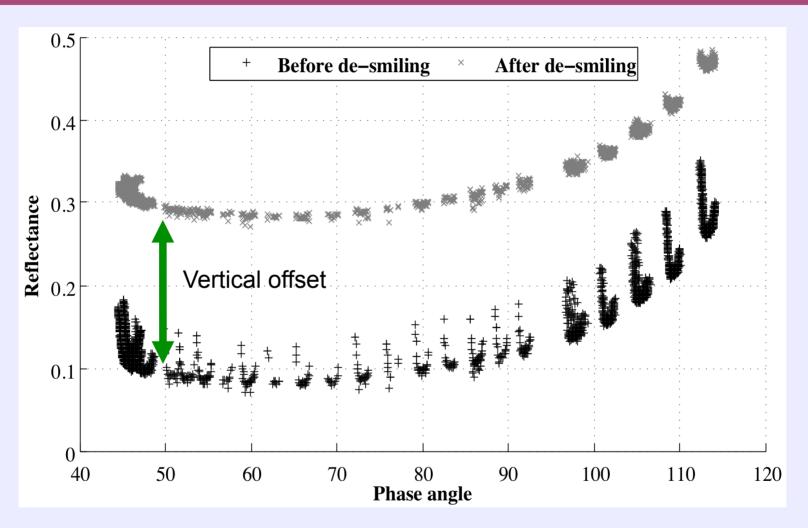


- Seconde étape: égalisation de la résolution spectrale
  - Spectral sharpening des bandes affectées par le "smile"



Ceamanos et Douté, IEEE TGRS 2010

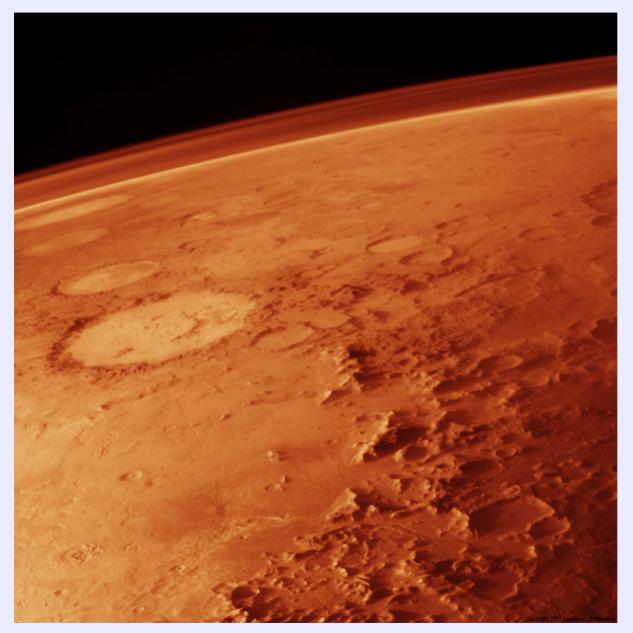
### **Spectral smile: the correction**



Spectral channel IR 155 (2 microns) of observation 5AE3 The 11 scans are plotted before and after de-smiling

Ceamanos et Douté, IEEE TGRS 2010

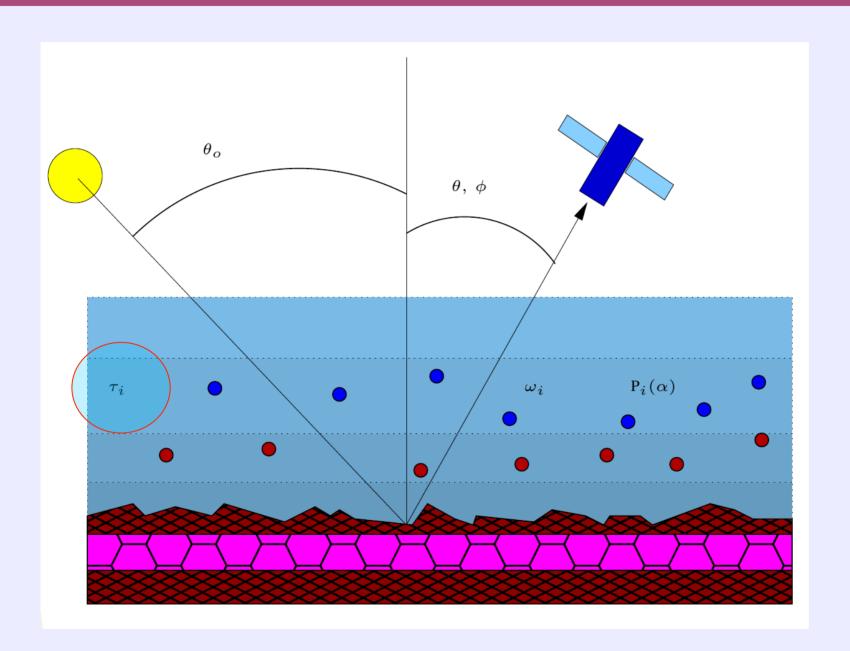
### L'atmosphère de Mars



ténue (6mbar au sol) dominée par le CO2 gaz (95%)

marquée par les effets radiatifs liés aux **aérosols** de poussière et de glace d'eau

### Transfert radiatif surface+atmosphère 1D



### Parametrizing aerosol effects on gaseous absorption

#### **TOA radiance**:

$$I^{k}(\theta_{0}, \theta, \phi) \approx T^{k}_{gaz}(h, lat, long)^{\epsilon(\theta_{0}, \theta, \phi, \tau_{aer}^{k_{0}}, H_{scale}, A_{surf}^{k})}$$

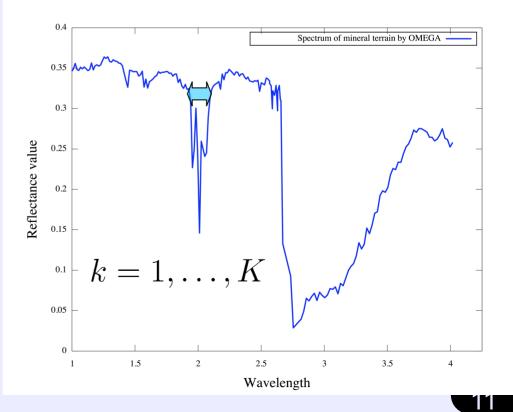
$$I^{k}_{surf+aer}(\theta_{0}, \theta, \phi)$$

$$\epsilon(\theta_{0}, \theta, \phi, \tau_{aer}^{k_{0}}, H_{scale}, A_{surf}^{k}) = \psi(airmass).$$

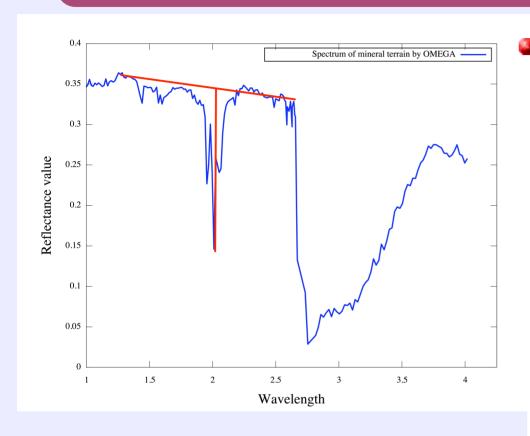
$$\beta(\theta_{0}, \theta, \phi, \tau_{aer}^{k_{0}}, H_{scale}, A_{surf}^{k})$$

$$\beta(\theta_0, \theta, \phi, \tau_{aer}^{k0}, H_{scale}, A_{surf}^{k1}) = \frac{I^k}{\sum_{k=0}^{K} f_k \ln(\frac{I^k}{I_{surf+aer}^k}) / \ln(T_{gaz}^{\prime k})}$$

$$f_k = 1/K$$



### Estimating factor β from the observations

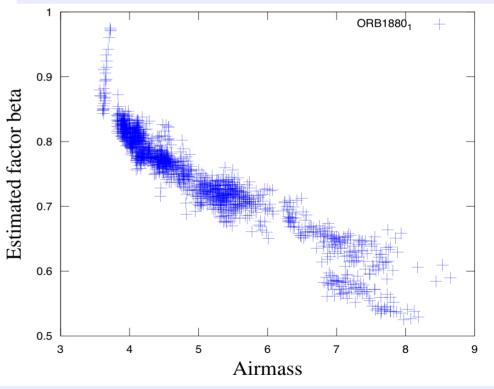


$$p = I_{obs}(1.36\mu m)/I_{obs}(2.56\mu m)$$

$$q = ln(I_{obs}(2.07\mu m)/I_{obs}(1.94\mu m))$$

$$+ln(\alpha)0.0909$$

Ex: Observation 1880\_1 airmass varying between 3 and 8

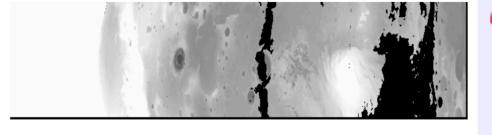


$$\beta = q/ln((T_{gas}^{\lambda}(2.07)/T_{gas}^{\lambda}(1.94))^{\psi(airmass)})$$

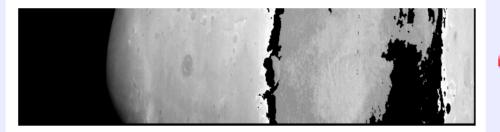
Mineral surfaces only

### Mapping dust total optical depth from an OMEGA image

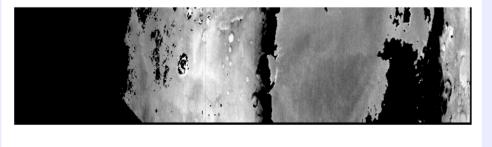
topo

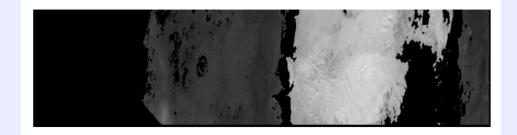


β



таего

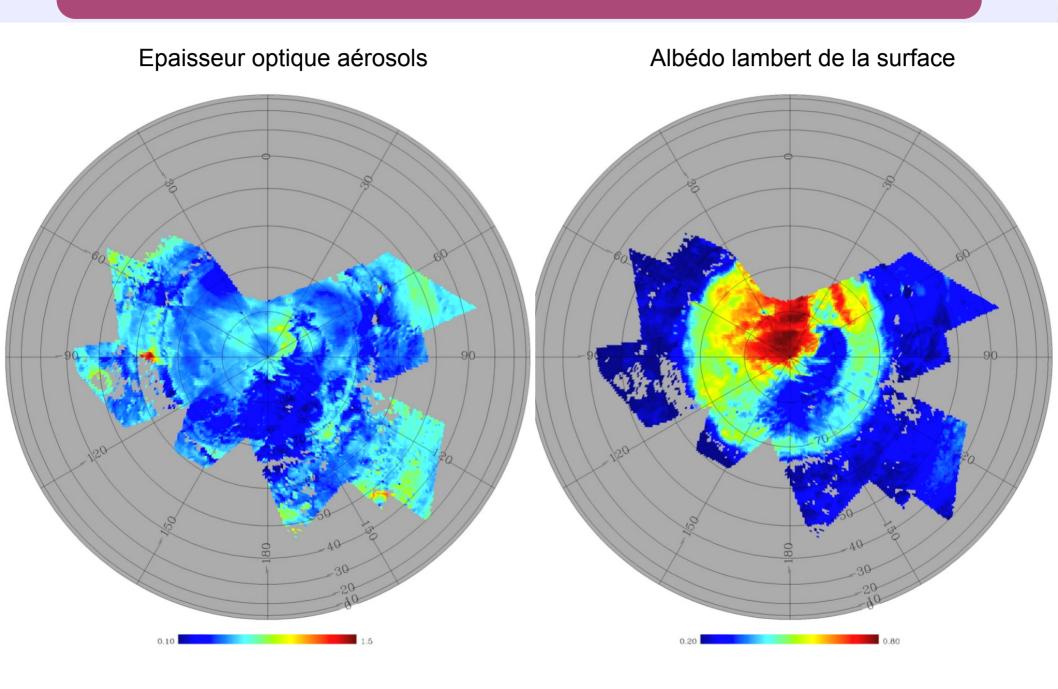




- Calculating the ATM cube by lblrtm calculations (one way gaseous transmission spectrum for each pixel)
- Estimating the β image (degree to which aerosols modify gaseous absorption)
- Inverting the parametric relationship to evaluate the τ<sup>aero</sup> image

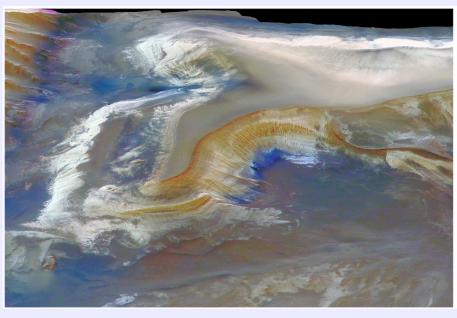
As

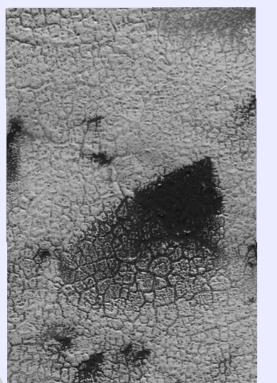
### Suivi spatio-temporel de l'opacité des aérosols



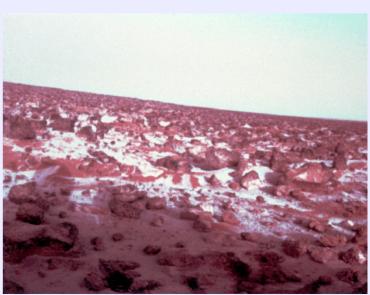
#### La surface de Mars



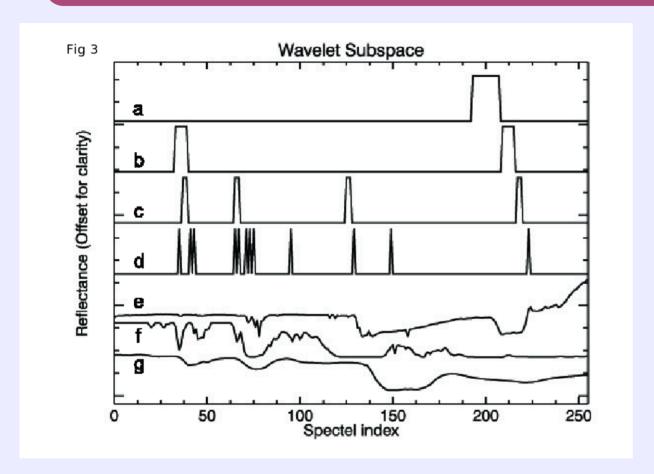




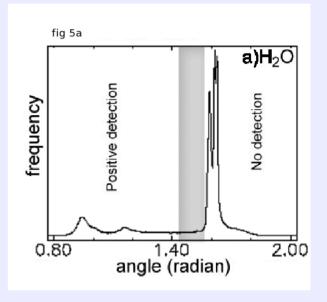
- Poussières
- Sables
- Affleurements rocheux
- Givres
- Glace compacte
- 3 ...

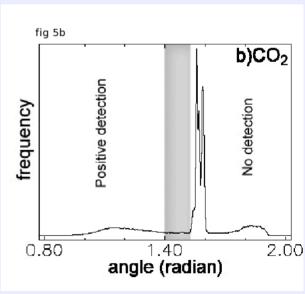


# WAVANGLET : détection supervisée dans un espace d'ondelettes



Schmitt, Douté & Schmidt TGRS 2007





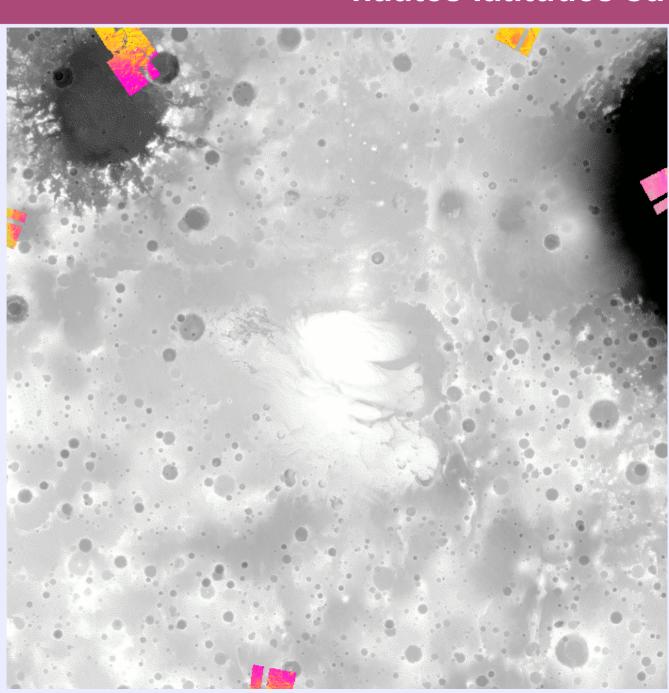
# Régression printanière des dépôts saisonniers aux hautes latitudes sud

Jaune : surfaces

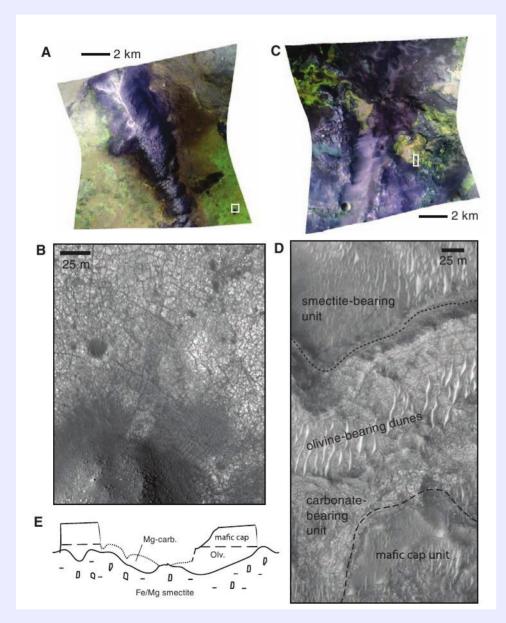
minérales

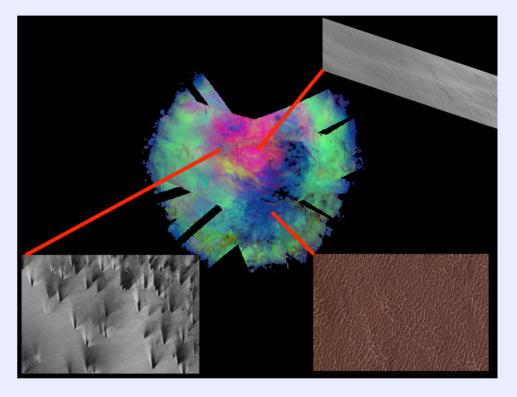
Bleu : glace d'eau Rose : glace de

dioxyde de carbone



## Classification d'unités de terrains (WP1-b : MISTIS-LPG)



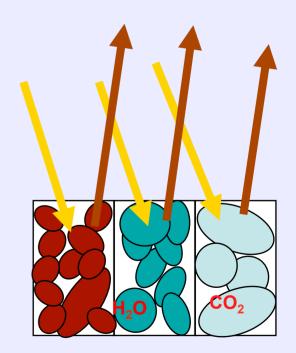


- "linear unmixing" ou reconnaissance spectrale supervisés
- ACP, ICA généralisée
- Analyse discriminante de haute dimension (HDDA)

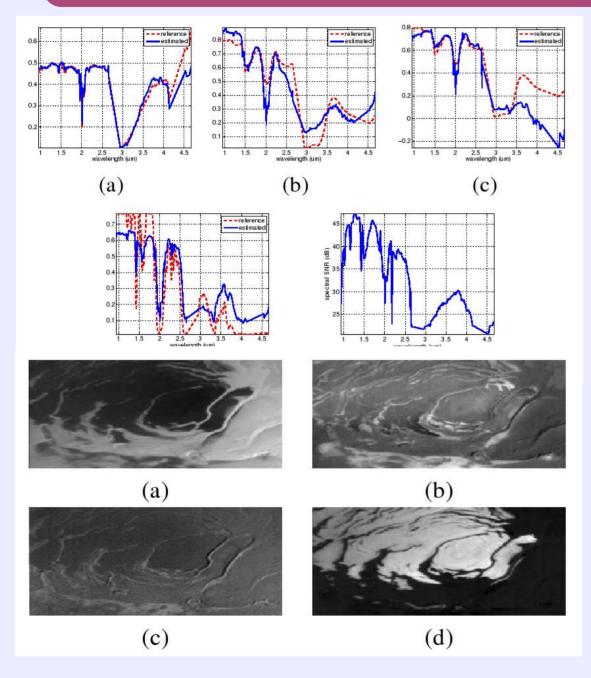
### Séparation de sources non supervisée

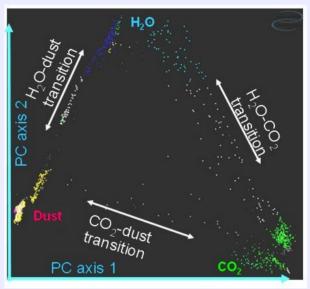
- Pixel contenant K types de terrains observés suivant la même géométrie
- $a^i(\sum a^i = 1)$

- terrain de type i: réflectance  $\rho^i$ , proportion de surface
- Le Problème :
  - Estimation du nombre de sources
  - Extraction des spectres de sources



#### **Extraction des sources**





$$a^i \ge 0$$
$$a^i (\sum a^i = 1)$$

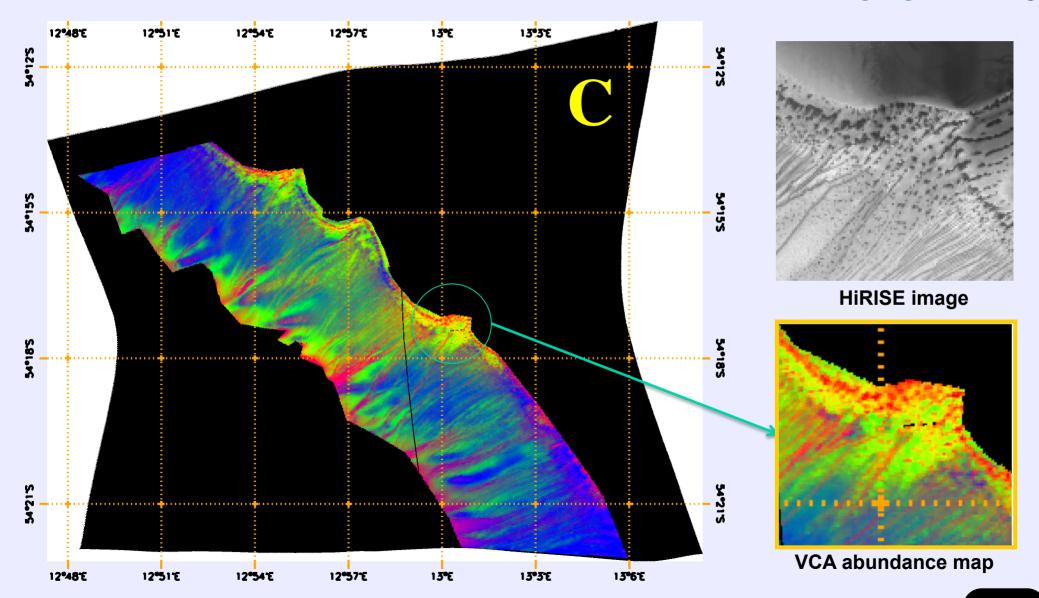
- Vertex Component Analysis
- Minimum Simplex Analysis
   Luo et al. IEEE Whispers 2009
- Bayesian Positive Source Separation

Moussaoui Neurocomputing 2008

### Unmixing experiments

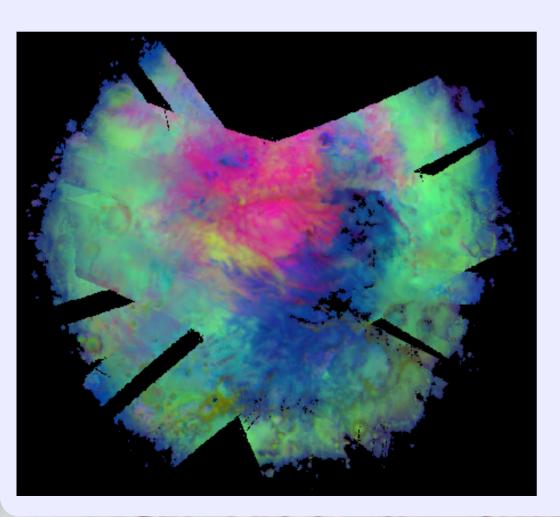
MVC-NMF: composite map

Sources: Dark, strong bright, weak bright

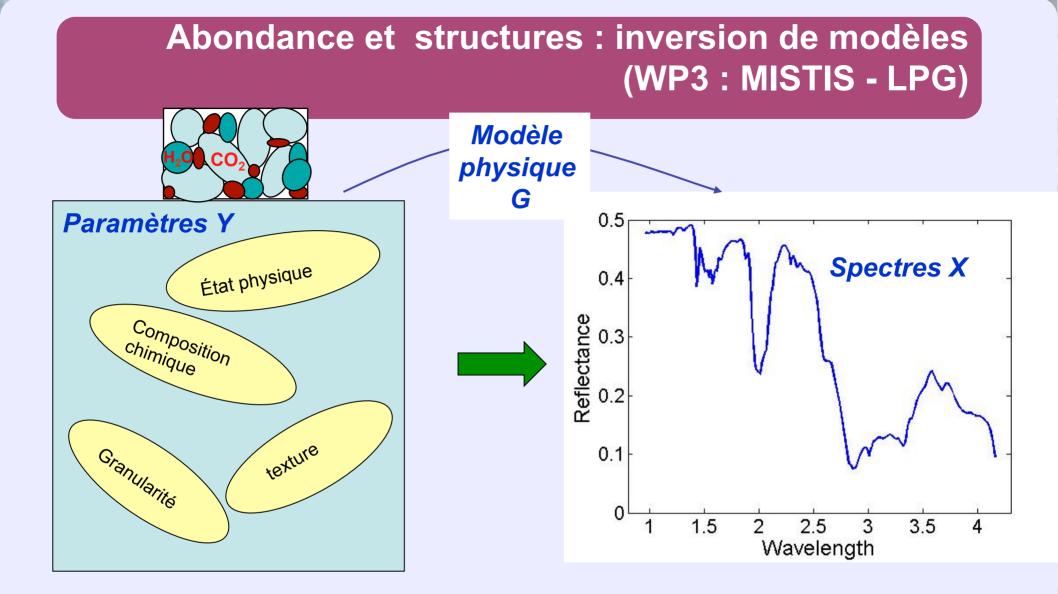


# Analyse physique d'images : inversion de modèles (WP3 : MISTIS – LPG, WP4 : LPG)

- Contraintes :
  - collections massives d'images
  - modèles physiques très variés



- données de grande dimensionnalité (problème de l'espace vide)
- Les spectres observés sont toujours bruités



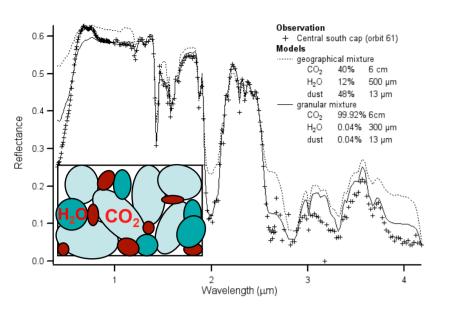
#### Problème direct:

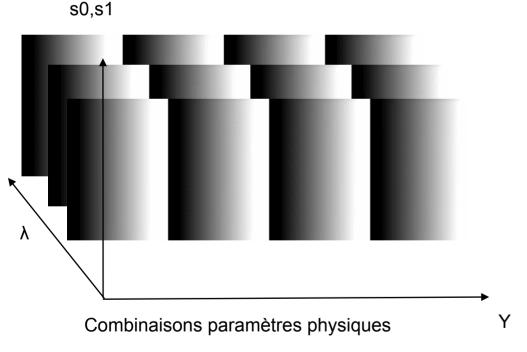
déduire les spectres X à partir des paramètres Y connaissant G lci, par modèles de transfert radiatif.

#### Problème inverse Modèle physique G Paramètres Y Spectres X État physique 0.4 Reflectance 0.0 0.0 Composition chimique texture Granularité 0.1 1.5 3.5 2.5 Wavelength

#### Problème inverse:

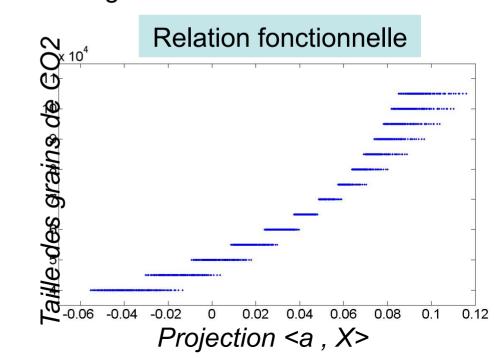
déduire les paramètres Y à partir des spectres X connaissant G



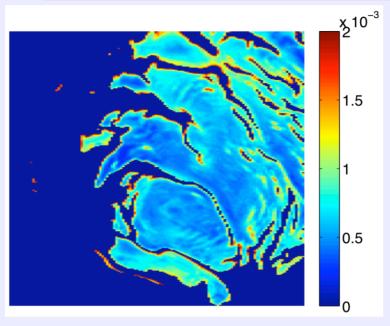


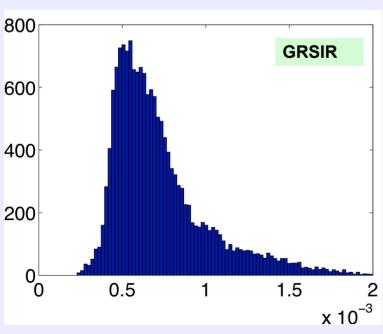
Bernard Michel et al. JGR 2009 Fauvel et al. IEEE Whispers 2009

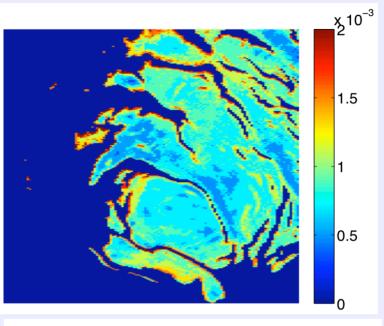
- Techniques d'apprentissage statistique pour l'inversion des modèles physiques du signal spectral
  - génération de bases de spectres synthétiques
  - apprentissage régularisé des fonctionnelles
    - avec réduction de dim. : GRSIR
    - sans réduction de dim : régression SVM

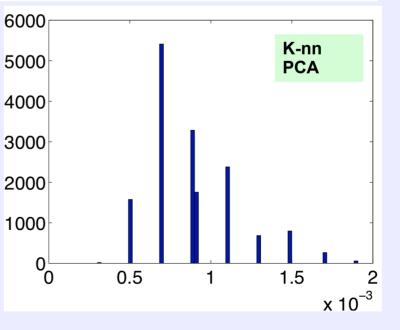


# Etude comparative et Evaluation sur des données réelles (1)

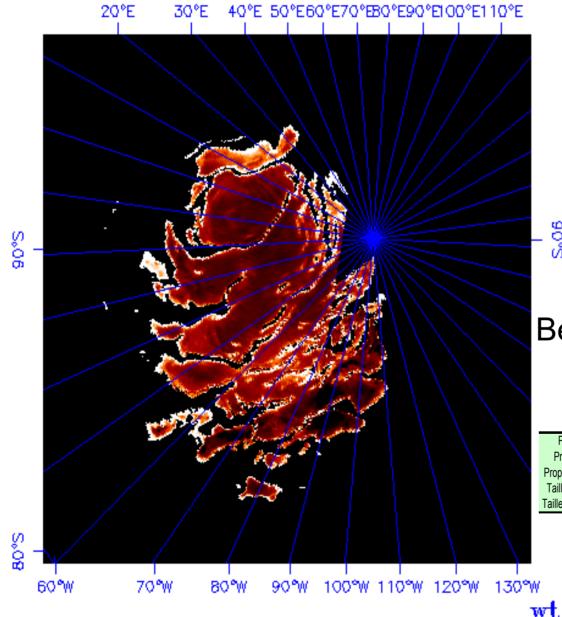








### Contamination de la glace de CO2 calotte permanente sud



### Poussière

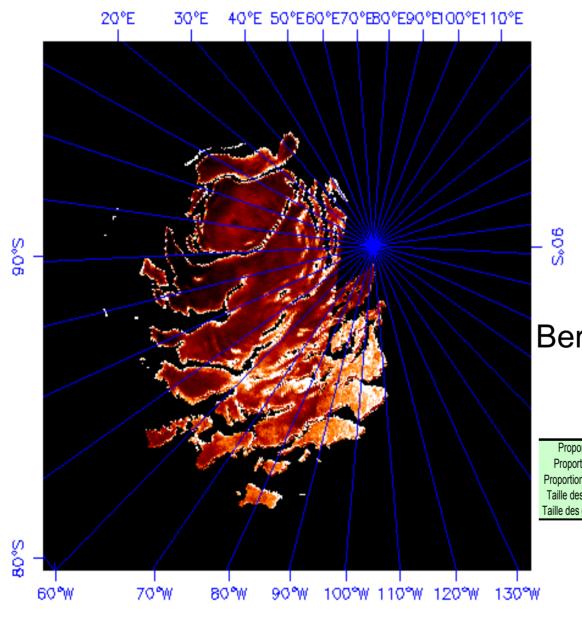
Bernard Michel et al. JGR 2009

	Base adaptée				Grande base				
	RSIR		K-nn	WK-nn	RSIR		K-nn	WK-nn	
	NRMSE	SIRC	NRMSE	NRMSE	NRMSE	SIRC	NRMSE	NRMSE	
Proportion d'eau	0.29	0.92	0.5	0.38	0.63	0.88	0.86	0.6	
Proportion de CO2	0.22	0.99	0.54	0.46	0.4	0.97	0.88	0.68	
Proportion de poussière	0.13	0.99	0.34	0.35	0.31	0.99	0.44	0.41	
Taille des grains d'eau	0.37	0.92	0.39	0.45	0.41	0.8	0.43	0.48	
Taille des grains de CO2	0.19	0.98	0.35	0.46	0.27	0.93	0.53	0.67	

wt ppm

200 900 1600 2300 3000

### Granulométrie de la glace CO2 calotte permanente sud



Bernard Michel et al. JGR 2009

	Base adaptée				Grande base			
	RSIR		K-nn	WK-nn	RSIR		K-nn	WK-nn
	NRMSE	SIRC	NRMSE	NRMSE	NRMSE	SIRC	NRMSE	NRMSE
Proportion d'eau	0.29	0.92	0.5	0.38	0.63	0.88	0.86	0.6
Proportion de CO2	0.22	0.99	0.54	0.46	0.4	0.97	0.88	0.68
Proportion de poussière	0.13	0.99	0.34	0.35	0.31	0.99	0.44	0.41
Taille des grains d'eau	0.37	0.92	0.39	0.45	0.41	8.0	0.43	0.48
Taille des grains de CO2	0.19	0.98	0.35	0.46	0.27	0.93	0.53	0.67

30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 mm

#### **Perspectives**

- Correction affinée des effets atmosphériques sur les données CRISM
- Cartes de propriétés photométriques pour des surfaces à faible relief
- Un système pour la simulation
  - d'images hyperspectrales planétaire VIS et IR
  - de champ d'éclairement et de luminance en scène 3D
- Un algorithme pour l'inversion du modèle direct sur les images hyperspectrales en luminance pour cartographier le facteur de réflectance bidirectionnel (BRF)
- Une nouvelle génération de méthodes de démélange, de classification et d'analyse physique
- Co-registration et analyse d'images multimodales
- Fusion de Model Numérique de Terrain (MNT)