





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



Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble

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



Along slit

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 : ~ 10-100+

CRISM/MRO Targeted and EPF modes



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

- 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 :

$$I^{k}(\theta_{0},\theta,\phi) \approx T^{k}_{gaz}(h,lat,long)^{\epsilon(\theta_{0},\theta,\phi,\tau_{aer}^{k0},H_{scale},A_{surf}^{k})} = I^{k}_{surf+aer}(\theta_{0},\theta,\phi)$$

$$\epsilon(\theta_{0},\theta,\phi,\tau_{aer}^{k0},H_{scale},A_{surf}^{k}) = \psi(airmass).$$

$$\beta(\theta_{0},\theta,\phi,\tau_{aer}^{k0},H_{scale},A_{surf}^{k})$$

$$\beta(\theta_{0},\theta,\phi,\tau_{aer}^{k0},H_{scale},A_{surf}^{k1}) = \sum_{k}^{K} f_{k}\ln(\frac{I^{k}}{I^{k}_{surf+aer}})/\ln(T'^{k}_{gaz})$$

0.05

0

1

1.5

 $k = 1, \dots, K$

2

2.5

Wavelength

3

3.5

 $f_k = 1/K$

4

Estimating factor β from the observations



Mapping dust total optical depth from an OMEGA image

topo

β









- 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^{aero} image

таего

Suivi spatio-temporel de l'opacité des aérosols



La surface de Mars







Poussières

- Sables
- Affleurements rocheux
- Givres
- Glace compacte



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

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



Extraction des sources

















(b)





 $\begin{array}{l} a^i \ge \mathbf{0} \\ a^i (\sum a^i = 1) \end{array}$

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

Moussaoui Neurocomputing 2008



Unmixing exper nents **MVC-NMF:** composite map Sources: Dark strong bright weak bright 13 3E 12°48'E 1251E 12*48E 12*54'E 12*57'E 1.3°E 12"51"E 12"54"E 12 54"12'S 54.125 54°155 54.155 age 24,182 54-185 512.65 54215 VCA abundance map 1248E 12* 12*54 E 13°3'E 13°6'E 12º48E 12*51E 12*57E 13°E

21

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

Abondance et structures : inversion de modèles (WP3 : MISTIS - LPG)



Problème direct:

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

Problème inverse



Problème inverse:

déduire les paramètres Y à partir des spectres X connaissant G



s0,s1



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)





x 10⁻³

1.5

1

0.5

0

2 x 10⁻³

K-nn PCA

1.5

1

Contamination de la glace de CO2 calotte permanente sud



200

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

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	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

45 60 75 90 105 120 135 150 165 mm

30

- 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)