

Imagerie Hyperspectrale en Astrophysique

du cosmos au laboratoire

> une description complète et non biaisée d'objets aux propriétés complexes <

> en interaction avec leur environnement <

> des données multi-époques multi-longueurs d'onde <

• **objectifs et moyens** •

(un bref aperçu ...)

E. Slezak / Observatoire de la Côte d'Azur

S. Douté / Observatoire de Grenoble

Des objets divers et un milieu complexe



- une IMF distribuant les étoiles en masse, et donc en températures, couleurs (corps noir), métallicités et âges.
- des populations aux signatures spectrales différentes.
- des caractéristiques spectrales fines traduisant leurs propriétés chimiques, dynamiques et magnétiques.

• des corrélations diverses (radio, X) à établir et étayer pour comprendre la physique stellaire : structure interne, chauffage et accélération de la couronne, variabilités ...

- un MIS structuré par l'évolution stellaire avec des nuages de gaz (HI : 21cm) et de poussières absorbant l'UV et le domaine visible pour émettre en IR moyen.
- un MIS parcouru de champs magnétiques le long desquels spiralent des électrons relativistes (cont. radio)

Les extrêmes de la vie stellaire



• du nuage à l'étoile et au système planétaire •

enfouissement / résolution

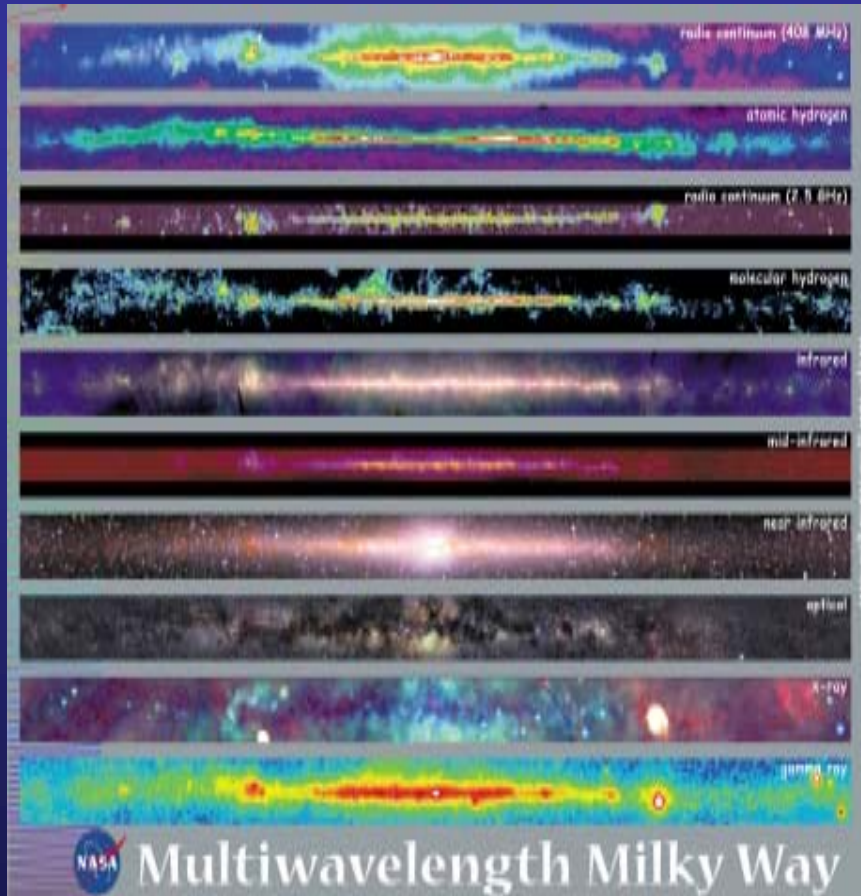
- initialisation du processus d'effondrement gravitationnel ?
- efficacité vs. dissipation du moment angulaire (turbulence, B)
- rétroactions sur le milieu interstellaire
- forme et dépendances de la fonction de masse initiale
- dynamique des systèmes multiples
- physique de formation des amas stellaires denses
- quels impacts sur la formation des SMBHs et du disque ?
- répercussions sur la formation et l'évolution des planètes

• évolution stellaire •

- hydrodynamique interne et effets de la rotation stellaire
- structure et dynamique des atmosphères : perte de masse
- champs magnétiques et activité stellaire (dynamo)

Structure et Assemblage de la Voie Lactée

1) Imagerie (avec des sensibilités et des résolutions variables)



Continu radio : particules chargées relativistes; SNs

HI : nuages diffus du disque galactique

Continu radio : gaz chaud ionisé et électrons c

H₂ (CO) : nuages moléculaires froids

IR lointain : émission thermique de la poussière

IR moyen : PAHs et étoiles enfouies dans les nuages

IR proche : étoiles K et bulbe galactique

Visible : les étoiles proches

Rayons X : gaz choqué

Émission gamma : collisions particules/H ; Al₂₆

> formation stellaire actuelle, future et passée <

2) Cinématique

courants rétrogrades, barre, courants magellaniques, etc.

Caractérisation des galaxies

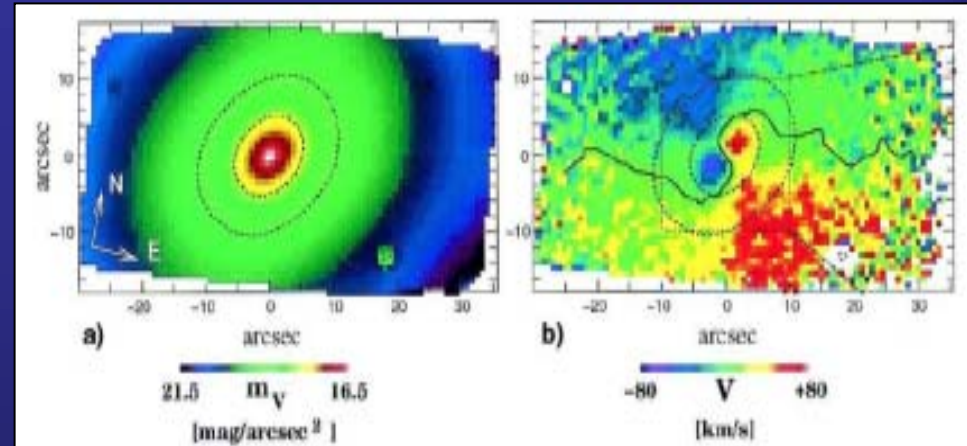
bulbe et BH central, disque (et barre), halo, matière sombre

• **influence de l'environnement** •



- taux de production stellaire augmenté
- structure spirale accentuée + dynamique

NGC4365 – sauron@WHT



- profil d'intensité régulier, piqué, pas de poussière
- découplage cinématique du cœur

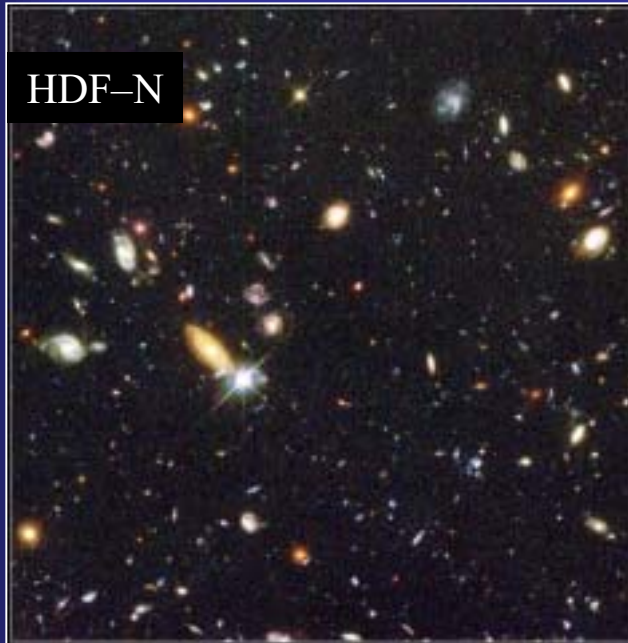
• *grande diversité* •

pop. stellaires ; physique et impacts de l'accrétion ; rôle des AGNs sur le SFR

> **évolution des galaxies** <

Origine et évolution des galaxies

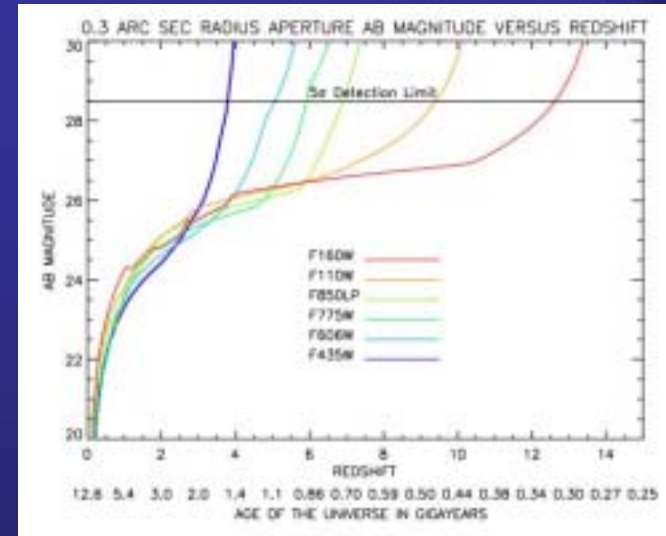
- un Univers en expansion âgé de 13,7 Gyrs •



$$m_0 = m_e (1 + z)$$

+

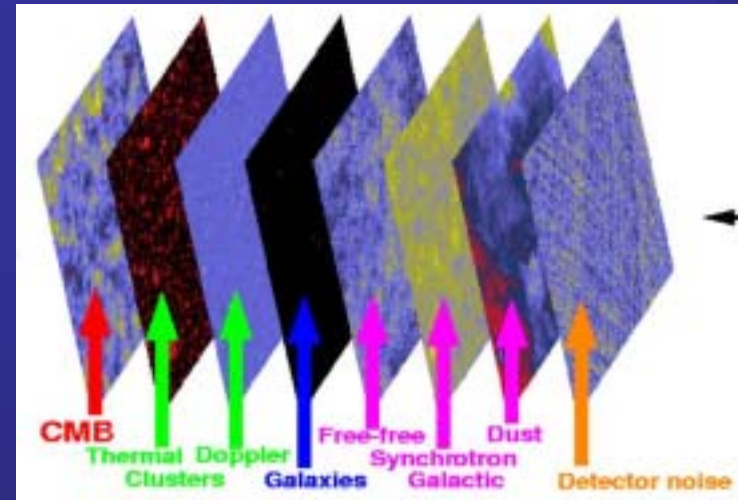
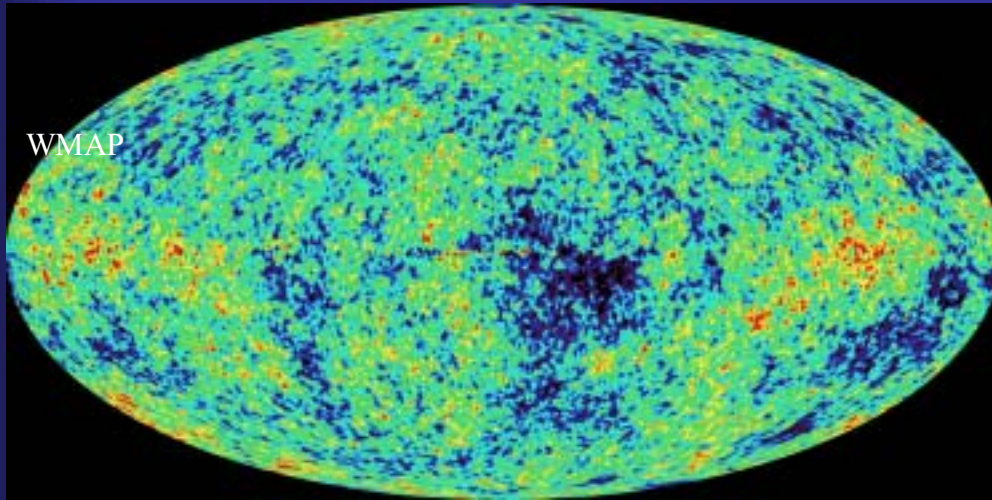
évolution
spectromorphologique



- identification des candidats par la technique dite des « drop-outs »
- recherche de galaxies Lyman-alpha à grand décalage spectral
- *redshifts* photométriques (type spectral)

contraintes sur le modèle hiérarchique de formation des structures
origine et évolution de la séquence morphologique de Hubble
histoire de la formation stellaire et des métaux

Les débuts de l'Univers



- un signal masqué par des avant-plans •

– normalisation, dépendances fréquentielle et en échelle, avec des variations spatiales –

estimation *simultanée*
des paramètres cosmologiques et des 500 paramètres du modèle

– émission IR liée à la poussière ; sources ponctuelles en radio –

- caractériser le modèle CDM dit de concordance •
(polarisation : réionisation, ondes gravitationnelles)

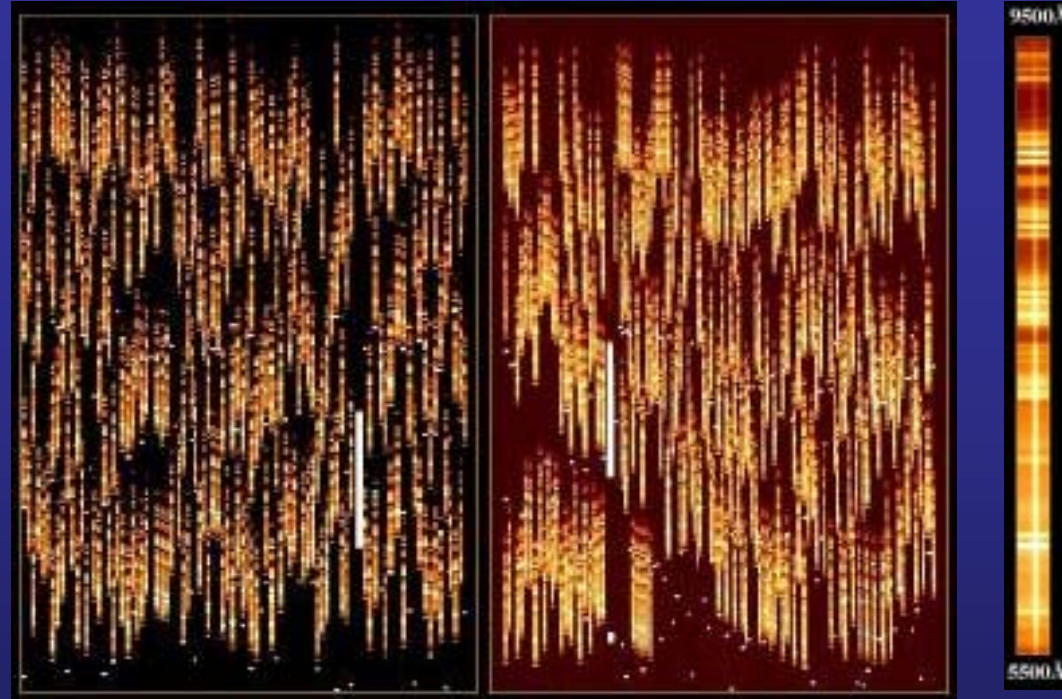
Les relevés multibande et leurs suivis

• imagerie •

• spectroscopie •



XMM-LSS; XMM SDS ; VVDS ; SWIRE ; NOAO



VLT VIRMOS

GOODS : Chandra/XMM, HST/NOAO/Subaru, SIRTf, VLA/Scuba + Keck / Gemini
W1 (10°): Chandra/XMM, Gaalex, CFHT-LS, Spitzer + *photo-z* & VIRMOS
VST ; Pan-STARRS / LSST (5 bandes 10 000 sq.deg) – DUNE / SNAP (3/5 ; 1000/10000)

• Observatoire Virtuel •

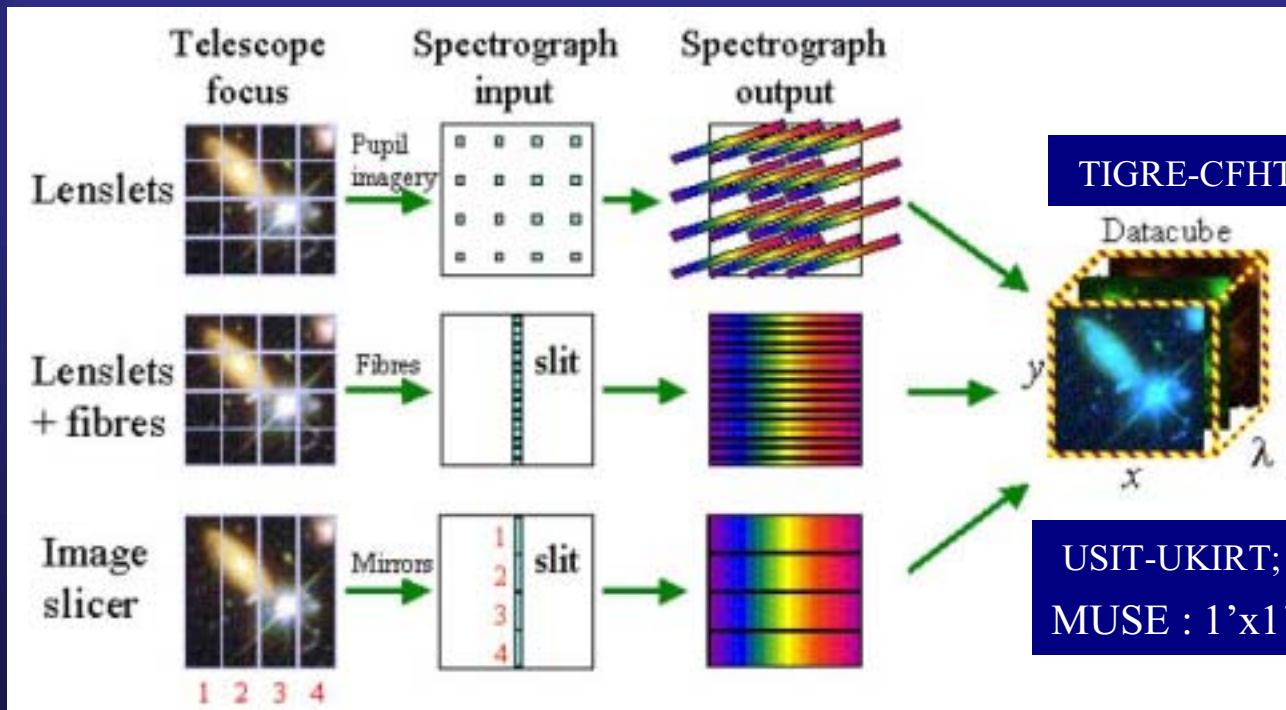
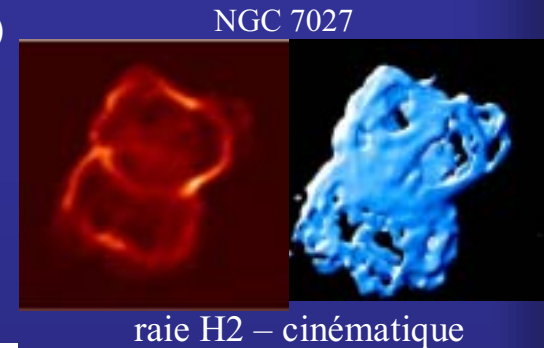
Spectroscopie tridimensionnelle

(couvertures et résolutions spectrale et spatiale, magnitude limite)

1) Spectromètres (fov. vs. domaine spectral ; acquisition séquentielle)

- Pérot-Fabry (balayage par un filtre interférentiel ajustable $R < 1000$)
- FTS : fov ($< 1'$) vs. $R \sim 30000$ • production d'un cube image •

2) Spectrographes intégral de champ (capacité multiplex)



TIGRE-CFHT; SAURON-WHT; OSIRIS-Keck

VIMOS-VLT ; FLAMES-VLT

USIT-UKIRT; GNIRS-Gemini; SPIFFI-VLT
MUSE : $1' \times 1' / 0.2''$; 4096 pixels : $R \sim 3000$

Spectro-imageur multi-angulaire CRISM/MRO

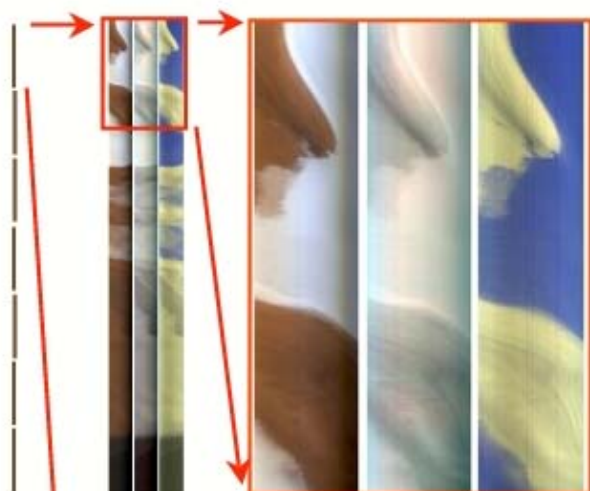
Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars
Mars Reconnaissance Orbiter

Principale campagne d'observation : 11/06-11/08

Objectifs

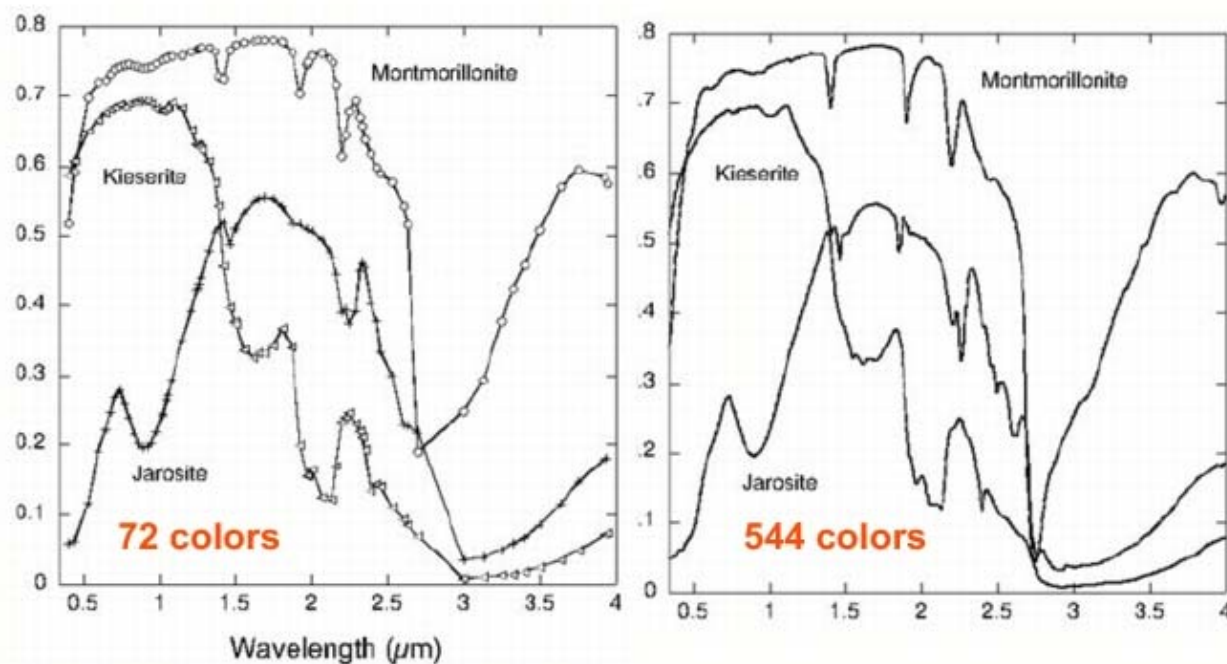
- Recherche de signes d'activité liée à l'eau liquide
- Cartographie et caractérisation de la composition, de la géologie et de la stratigraphie des dépôts de surface
- Caractérisation des variations saisonnières
 - (i) des poussières de glace et minérales
 - (ii) de l'hydratation des composés de surface.

Multispectral Survey Produces a Lower-Resolution Global Map

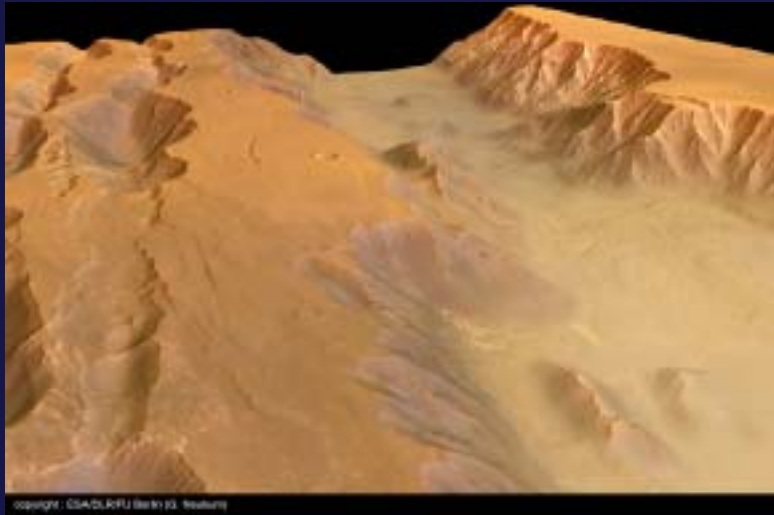


- Multispectral "noodles" mosaicked to create global map
- 72 colors, 200 m/pixel
- Purposes are to provide context and to find new targets

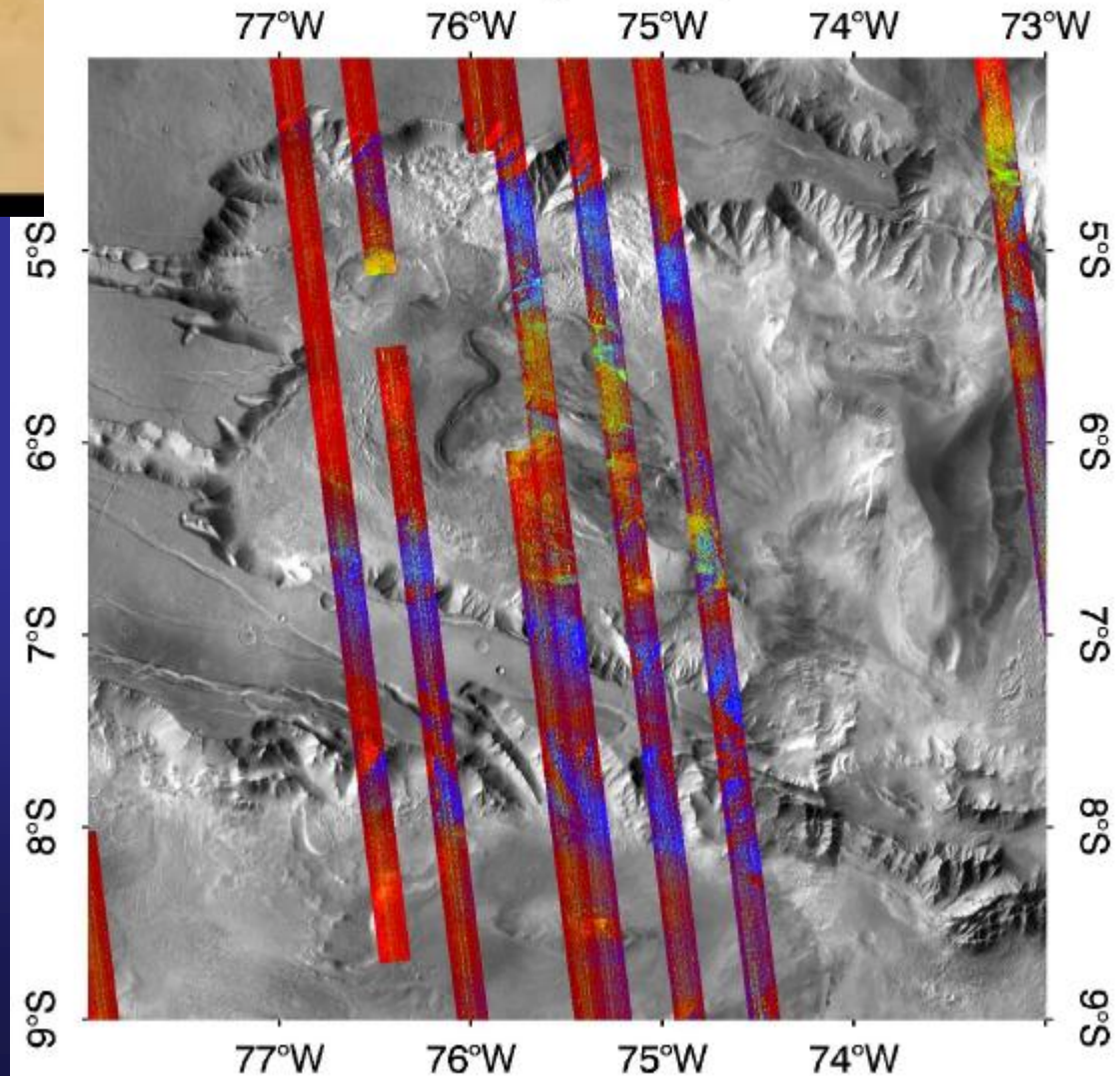
1 orbit
3-min
segment



Portion de Valles Marineris observée par HRSC/MEX (crédits DLR)



R = dust (IRA)
G = monohydrated sulfate (BD2100)
B = mafics (BD11000IR)



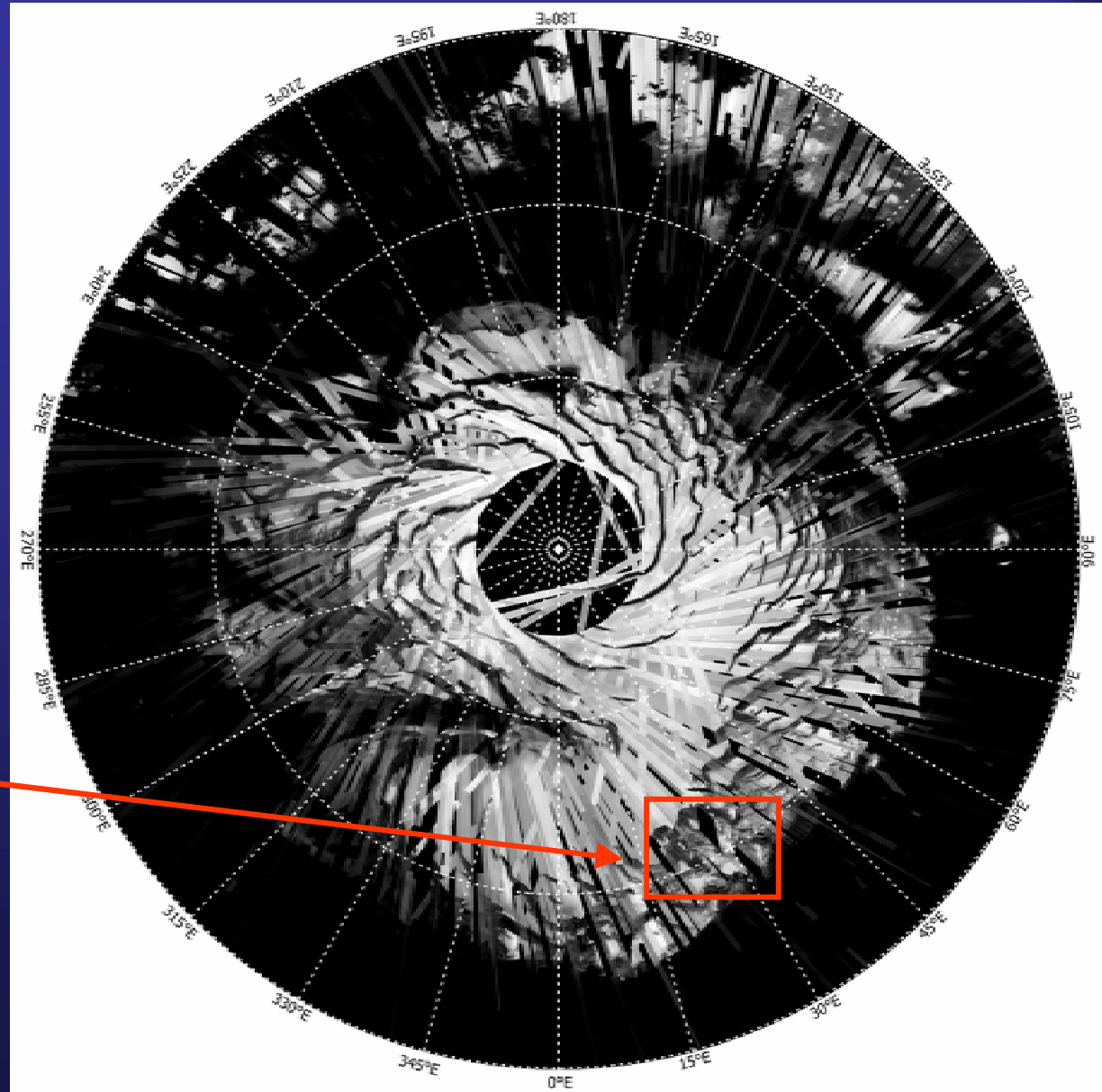
Couverture multispectrale
CRISM de la région Candor
Ouest de Valles Marineris
Produit : rapports de bandes
(crédits NASA/CRISM)

26 octobre 2007

Détection et cartographie de la glace d'eau au pôle N

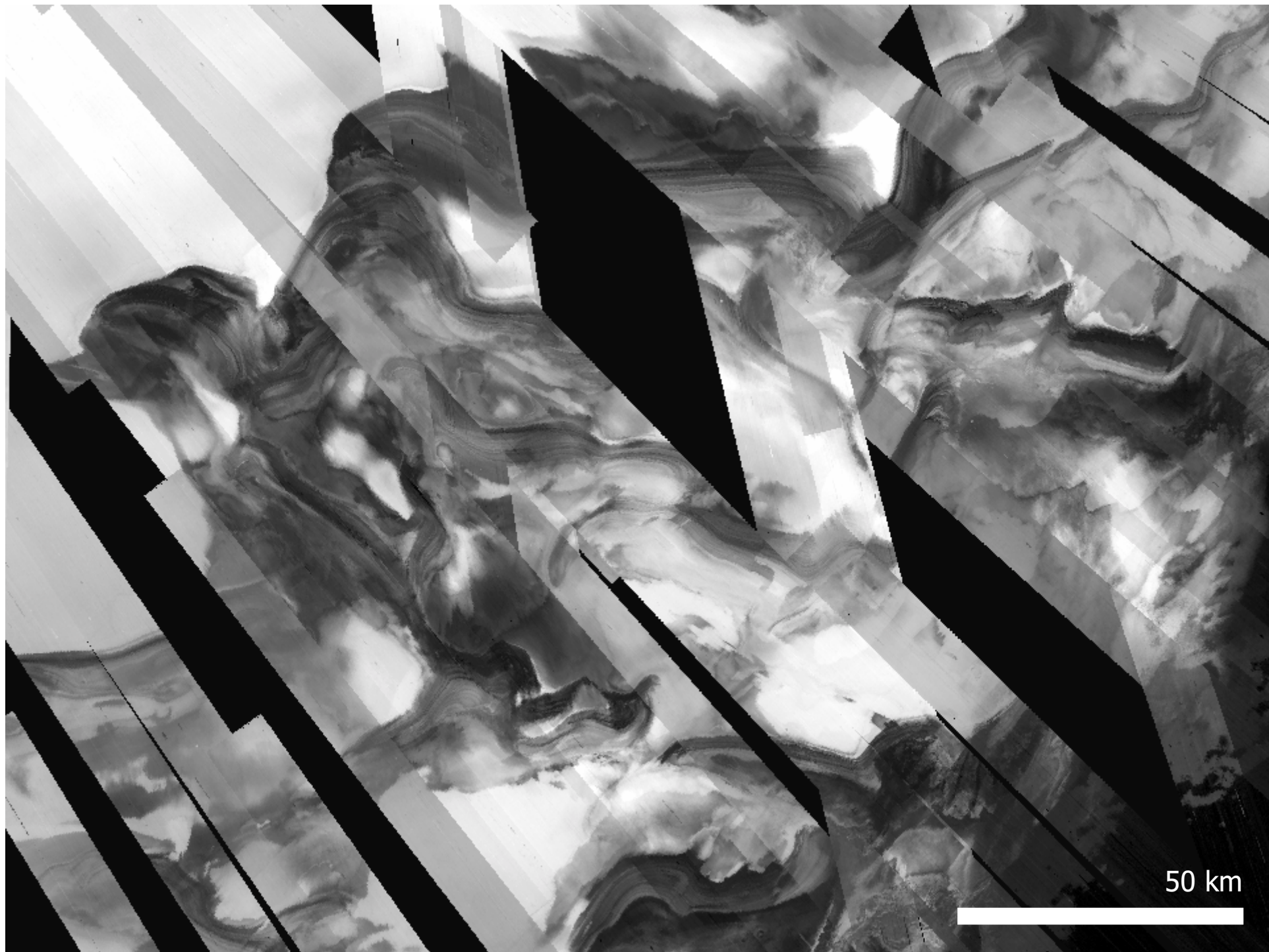
- Produit :
Profondeur de
bande à 1500 nm

Zoom de la
diapo
suivante

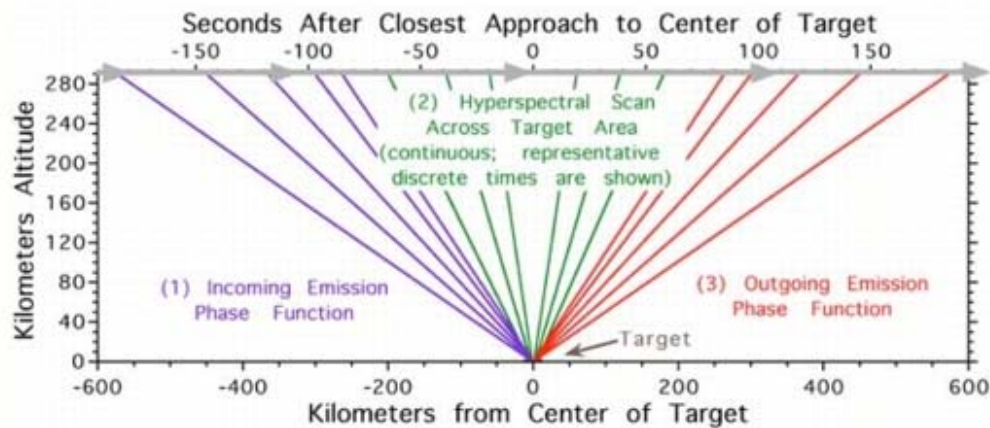


(crédits NASA/CRISM)

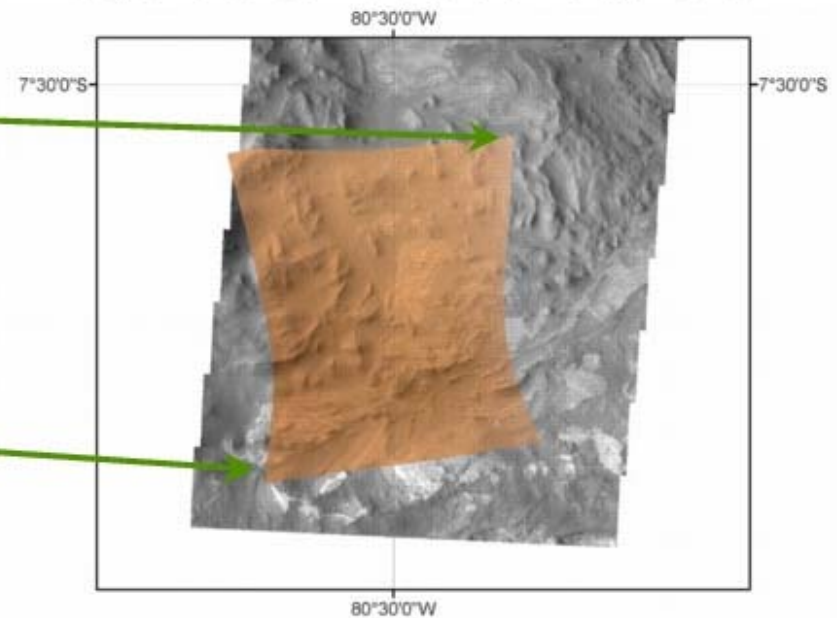
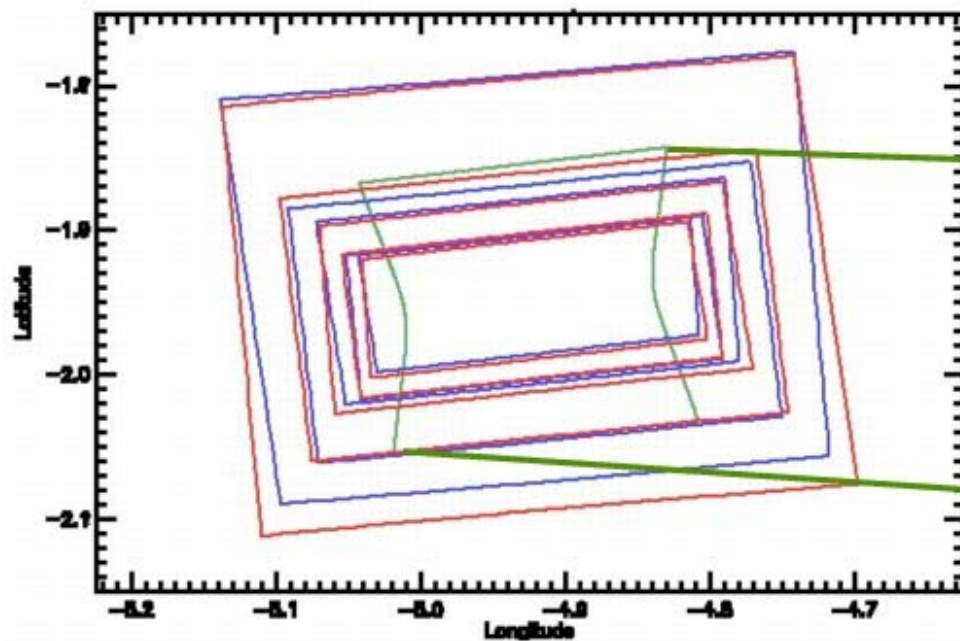
26 octobre 2007

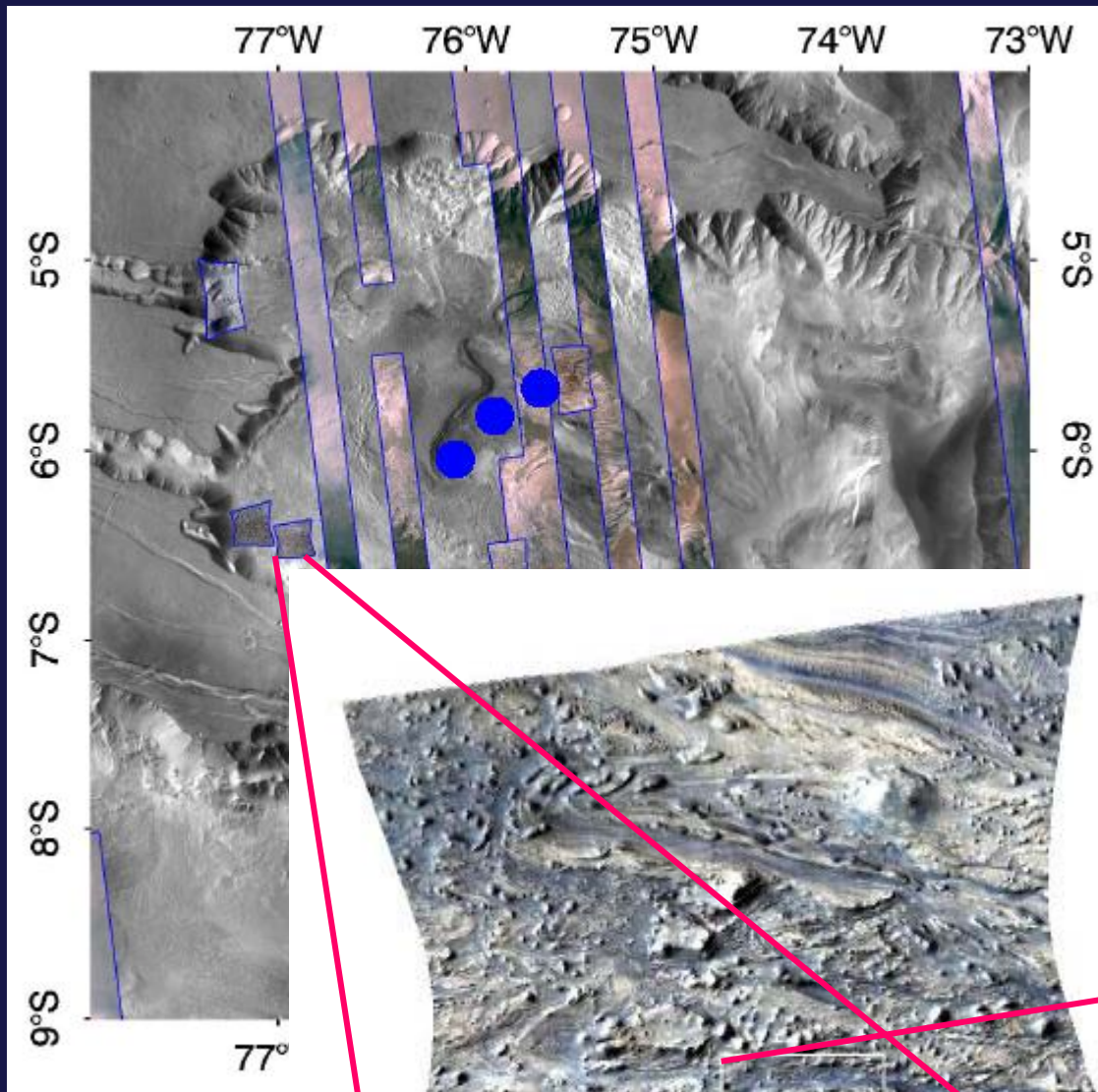


Targeted Observations Cover Selected Sites



- 11 images per observation, 360-3920 nm, 544 λ
- Central image is unbinned (18 m/pixel) or 2x binned (36 m/pixel); main geology product
- 1st 5 and last 5 are 10x binned spatially (~180 m/pixel); an "emission phase function" to characterize the atmosphere, separate surface/ atmosphere





a/ image à très haute résolution spatiale HIRISE

b/ cartographie minéralogique CRISM à partir de la partie IR de l'observation centrale

(crédits NASA/CRISM)

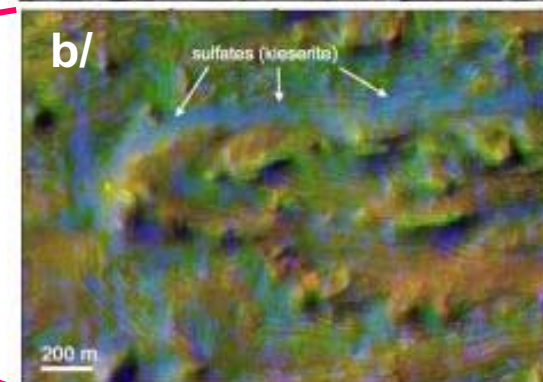
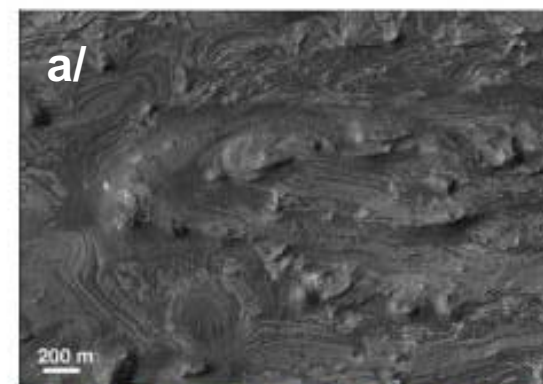
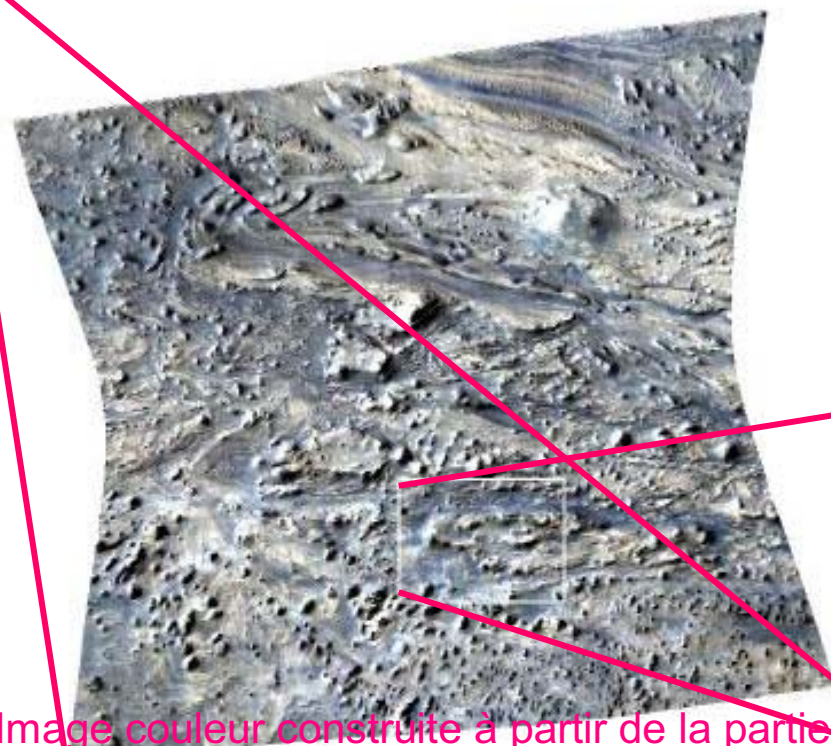
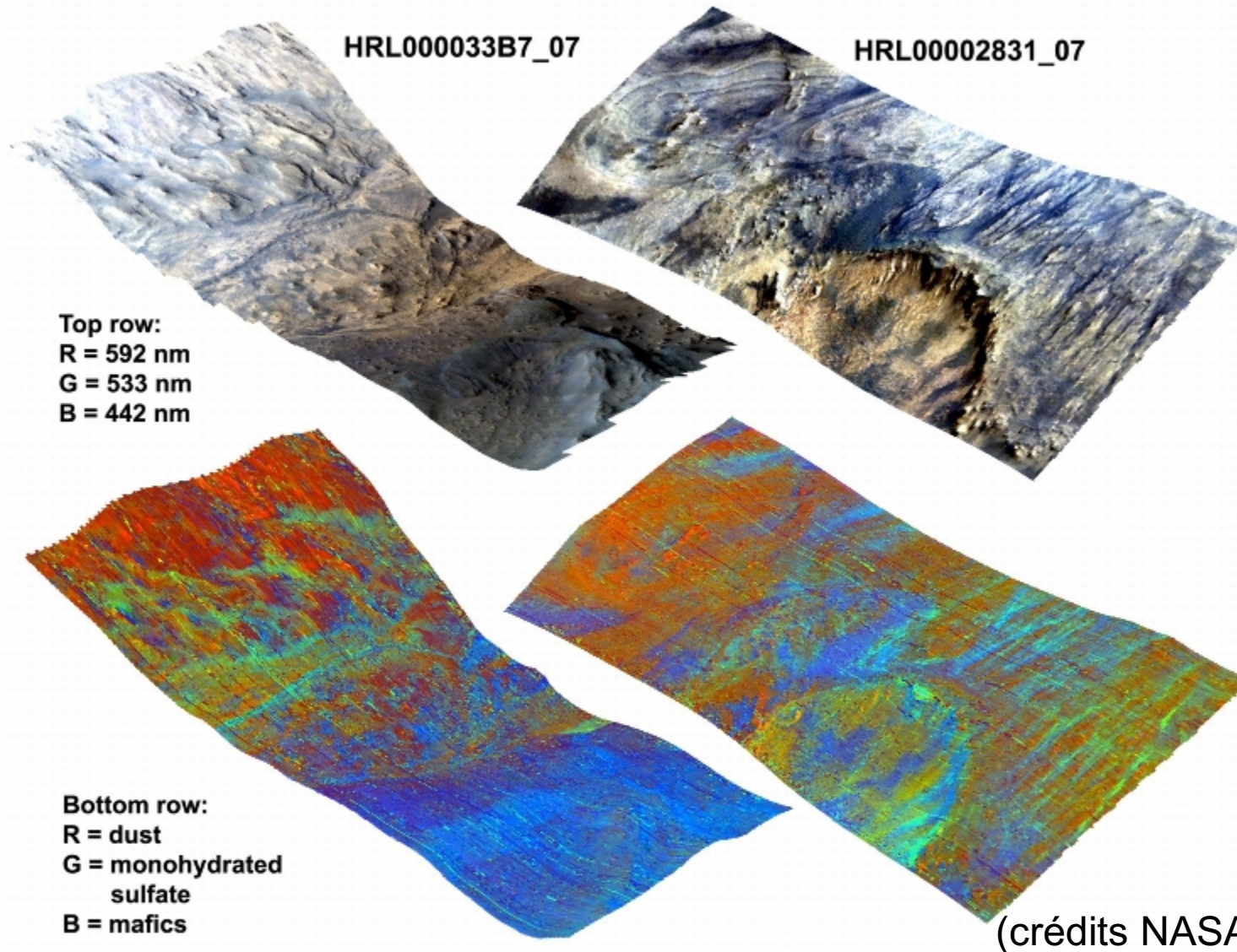
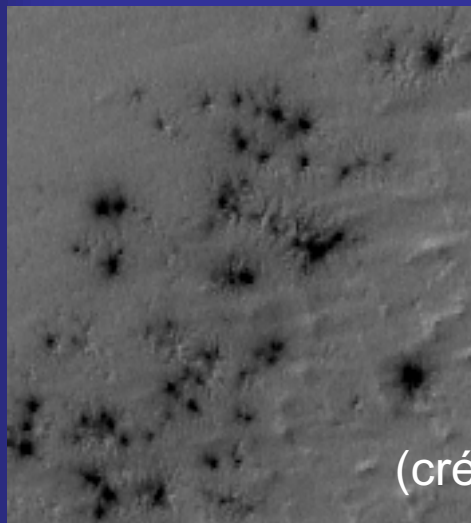


Image couleur construite à partir de la partie VIS de l'observation centrale

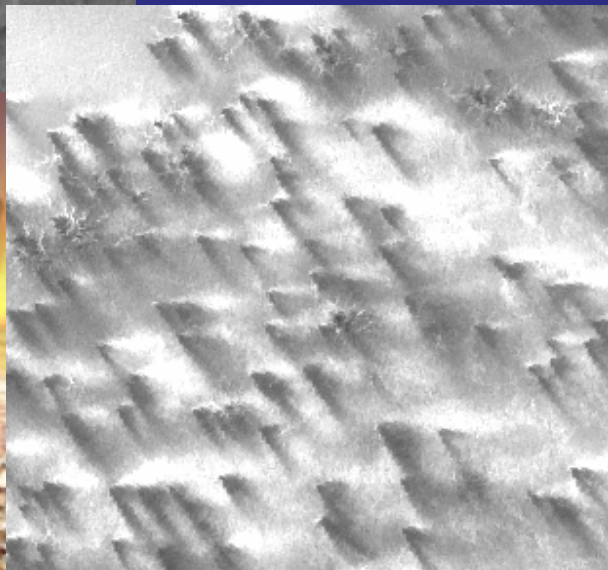
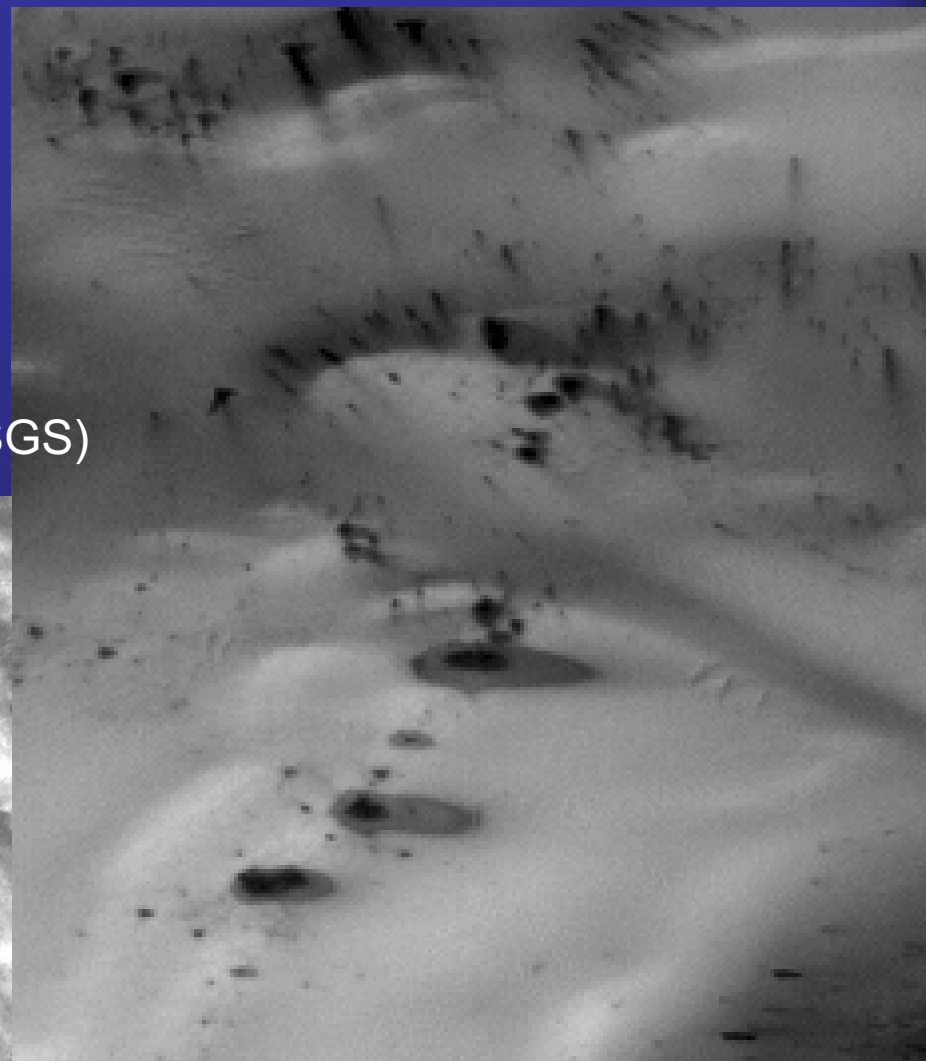


- VNIR 3-color composites constructed from 592, 533, and 442 nm wavelengths are stretched to accentuate variations in the 530-nm ferric mineral absorption.
 - The IR false color shows the same spectral parameters as the regional mosaic.
 - Both are draped over topography with 4x vertical exaggeration and viewed from perspective
-

Etude des phénomènes dynamiques lors de la sublimation des dépôts saisonniers de CO₂ glace au pôle S

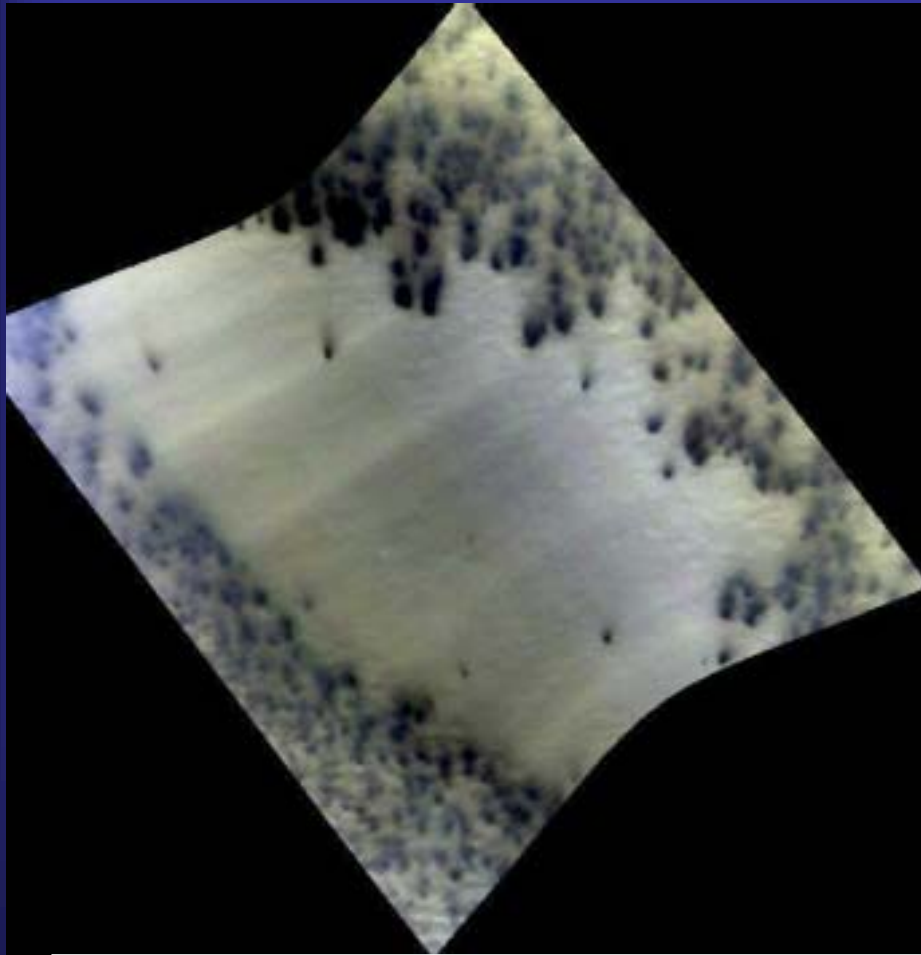


(crédits NASA/CRISM/USGS)



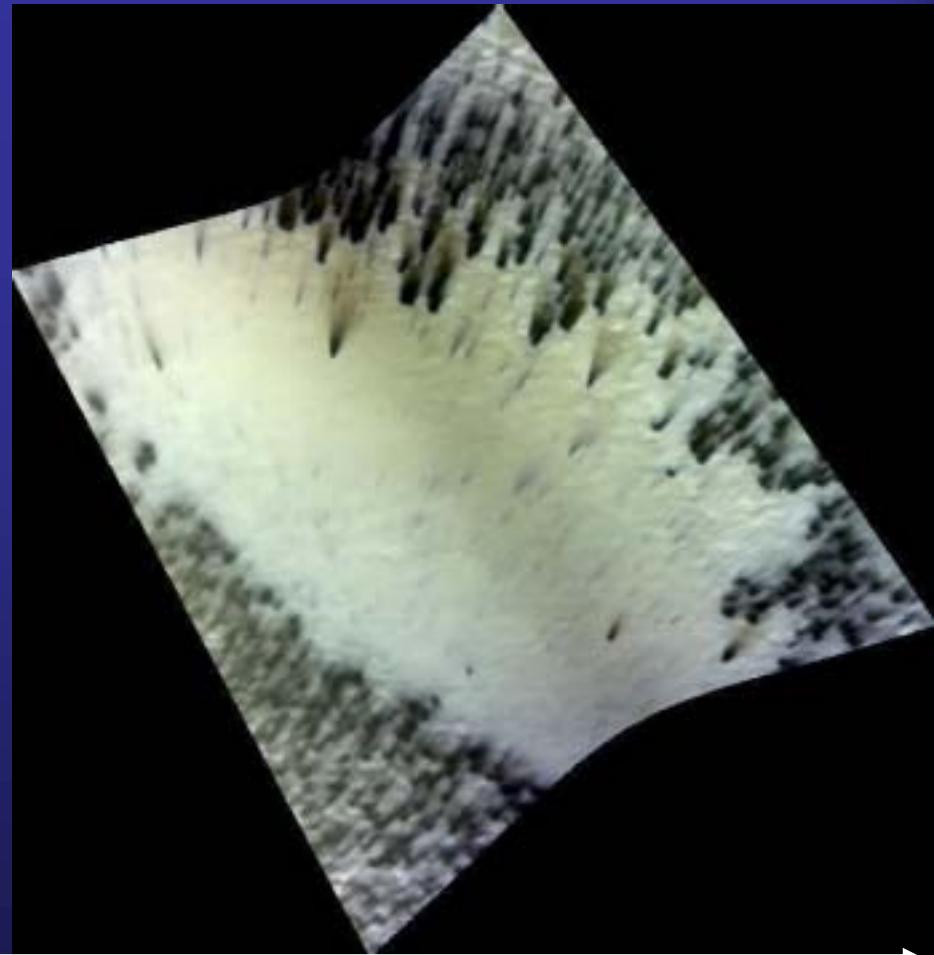
Images couleur construite à partir de la partie VIS de l'observation centrale

Manhattan



Ls 191

26 octobre 2007

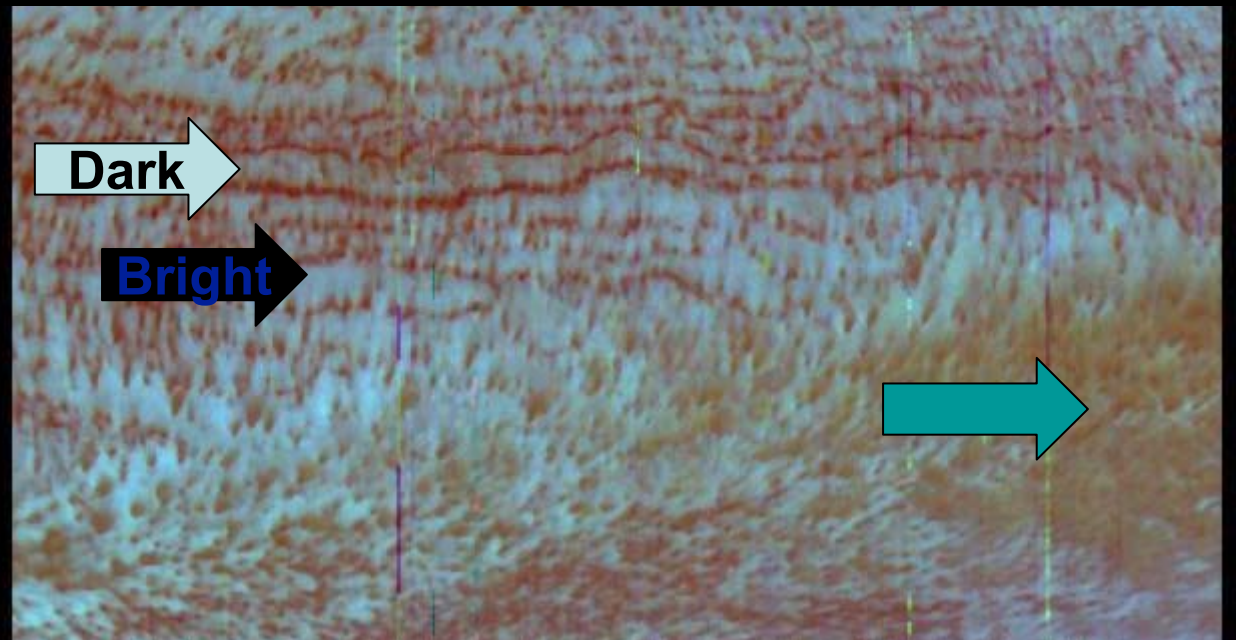
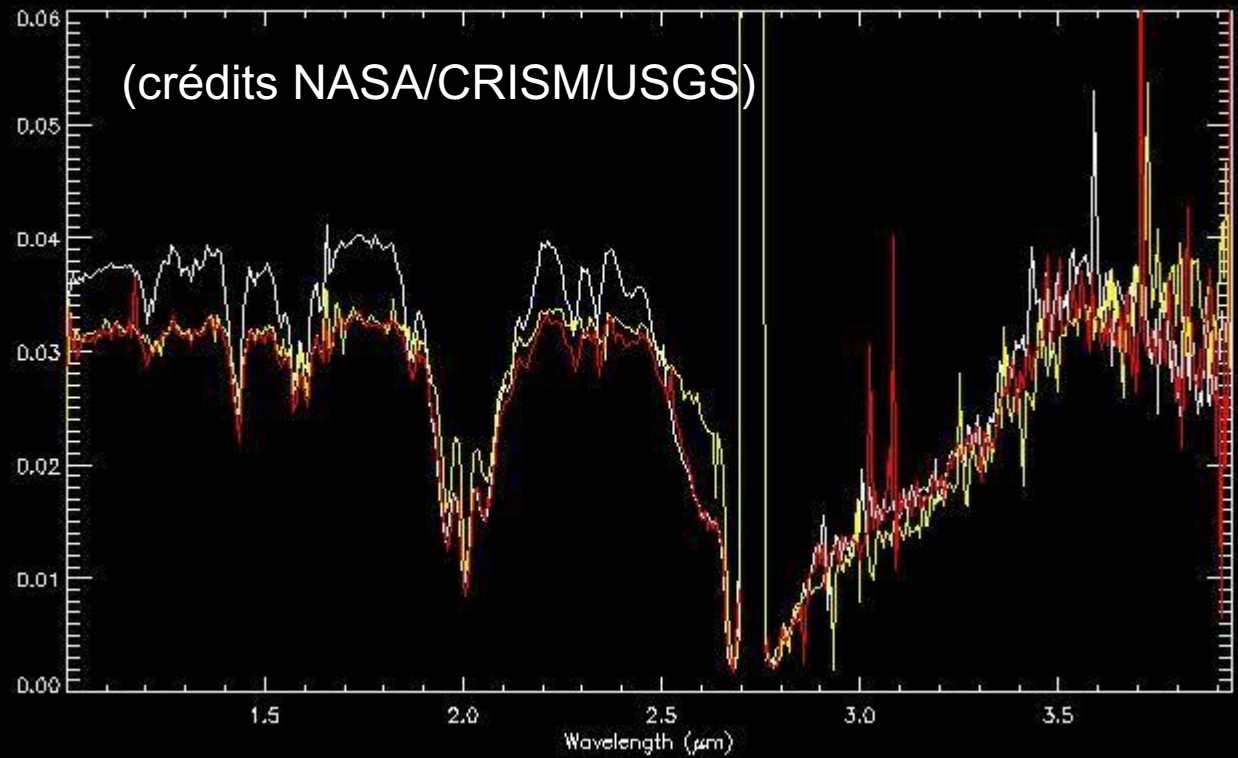


Ls 210

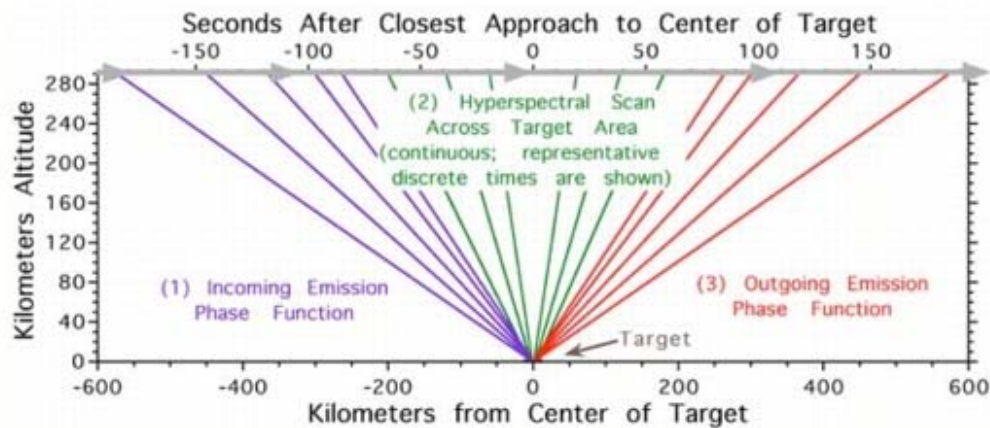
temps
Journée VAHINÉES

(crédits NASA/CRISM/USGS)

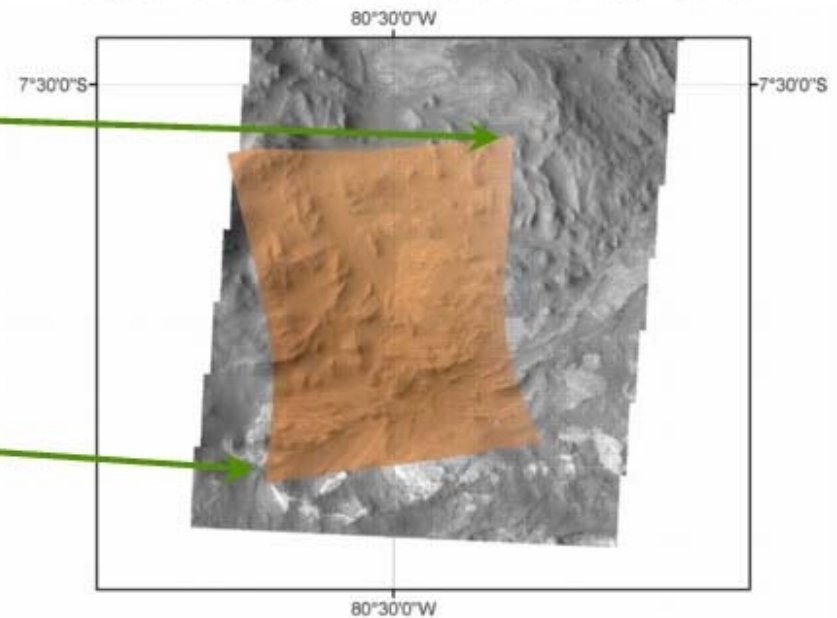
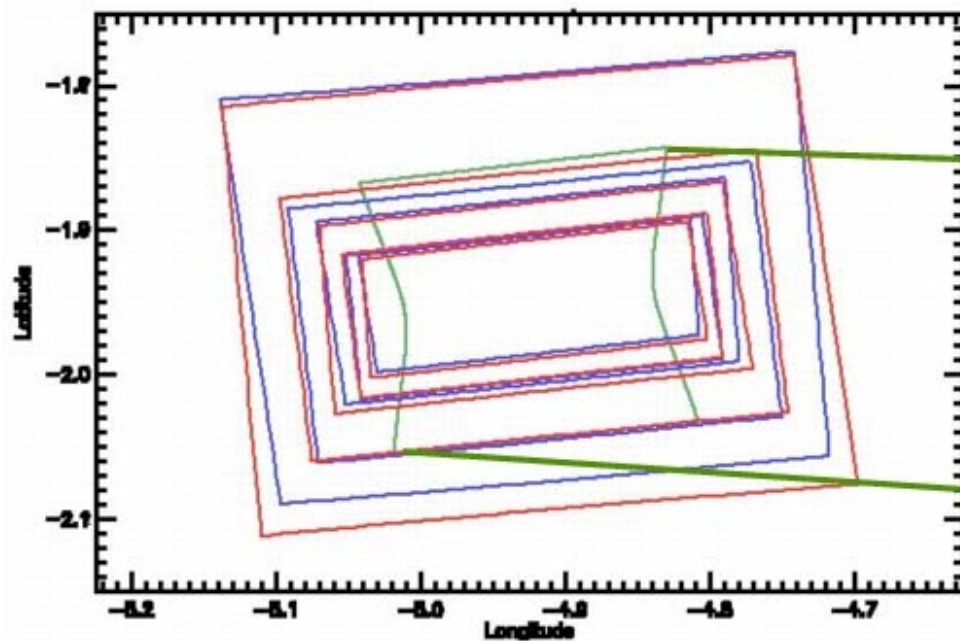
- FRT 5067
 - 3 spectral units
 - Bright CO2 with low 2.6 μ m shoulder
 - Dark Stuff with low 2.6 μ m shoulder
 - Dark Stuff with higher 2.6 μ m shoulder



Targeted Observations Cover Selected Sites

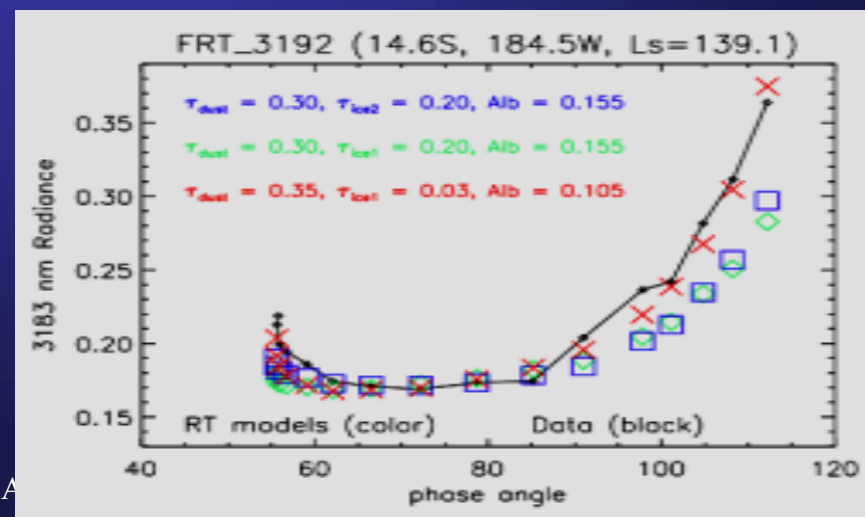
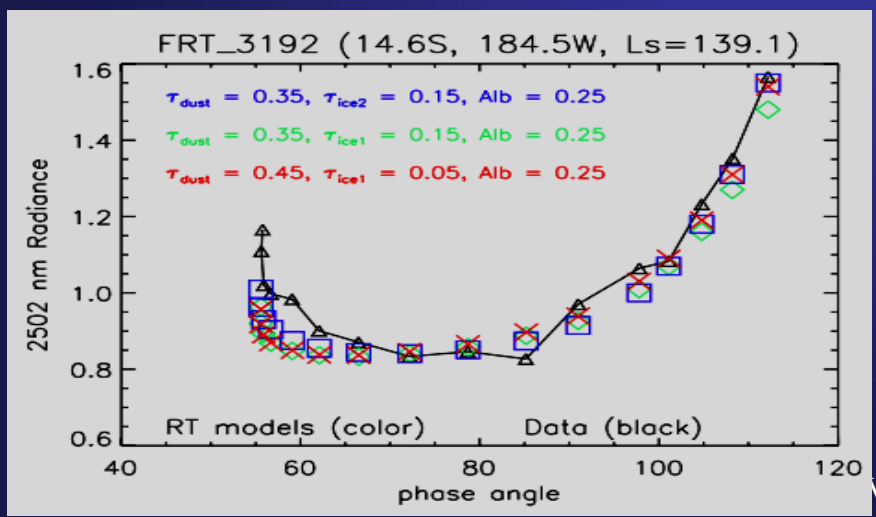
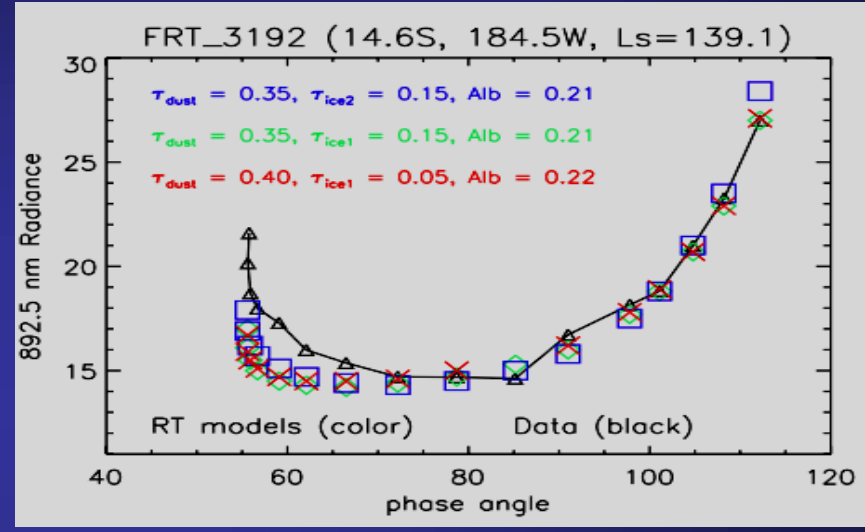
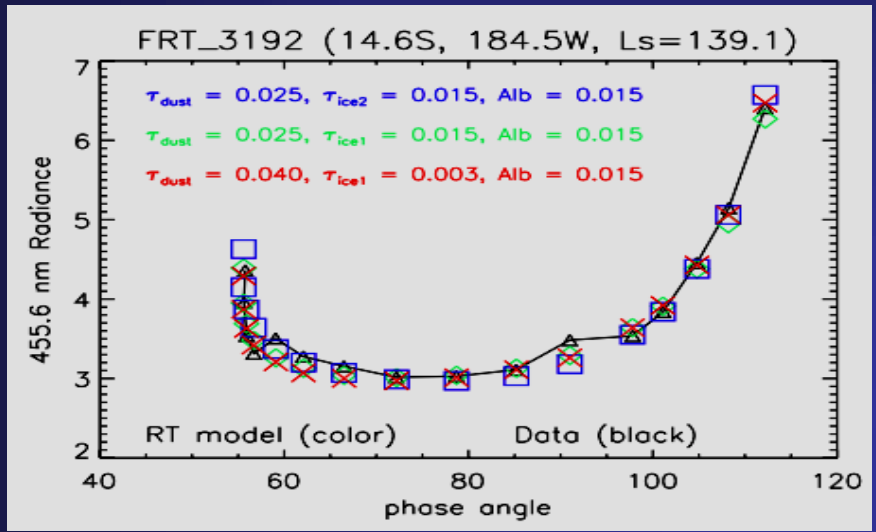


- 11 images per observation, 360-3920 nm, 544 λ
- Central image is unbinned (18 m/pixel) or 2x binned (36 m/pixel); main geology product
- 1st 5 and last 5 are 10x binned spatially (~180 m/pixel); an "emission phase function" to characterize the atmosphere, separate surface/ atmosphere



Observation HMA par temps clair ciblée sur le site d'exploration du robot géologue Spirit

(crédits NASA/CRISM)



Inventaire provisoire de la base de données CRISM

Through 16 April 2007, returned:

- ✓ 440 Gbytes of raw data (decompressed and formatted)
- ✓ 1.1 Tbytes of calibrated data, 150 Gbytes of backplanes
- ✓ 125,000,000 544-channel Mars spectra
- ✓ 1,400,000,000 73- channel Mars spectra

Coverage

- ✓ 728 targeted observations covering 0.06% of Mars
 - 351 FRTs
 - 204 HRSs
 - 173 HRLs
- ✓ 11 grids of EPFs, containing 847 different 11-segment
- ✓ multispectral observations
 - ~40% complete map of planet at 200 m/pixel, using 5629 strips

Imagerie microscopique infrarouge en laboratoire



HYPERION 3000 (OSUG)

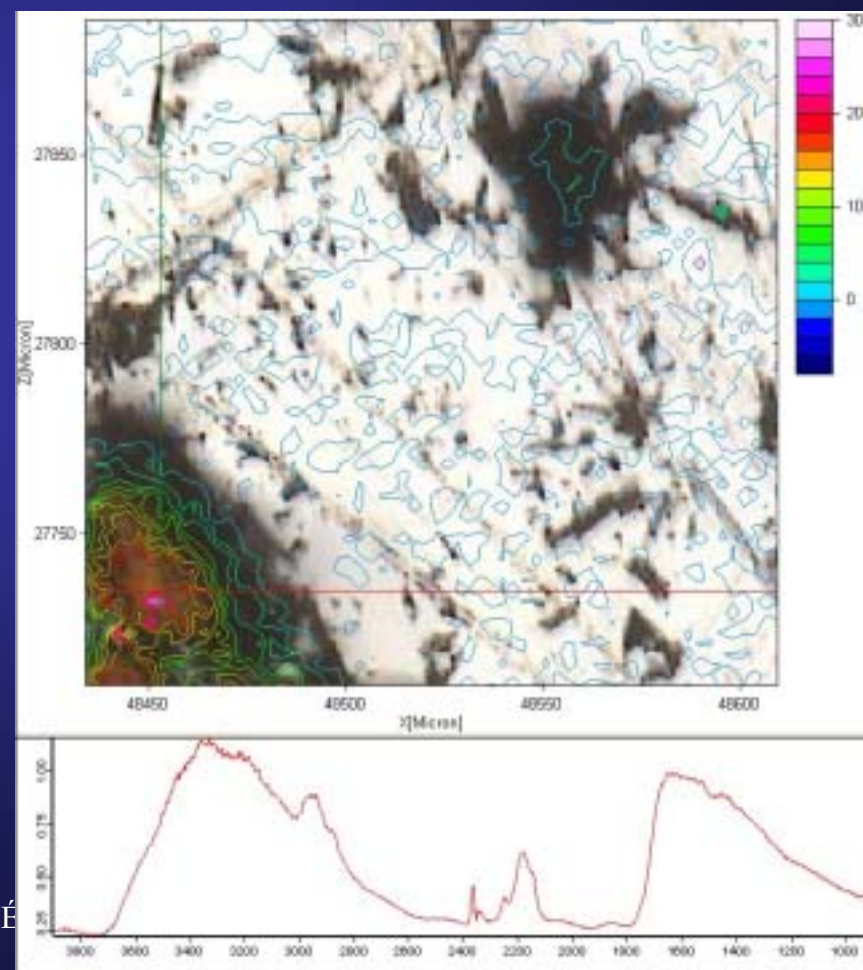
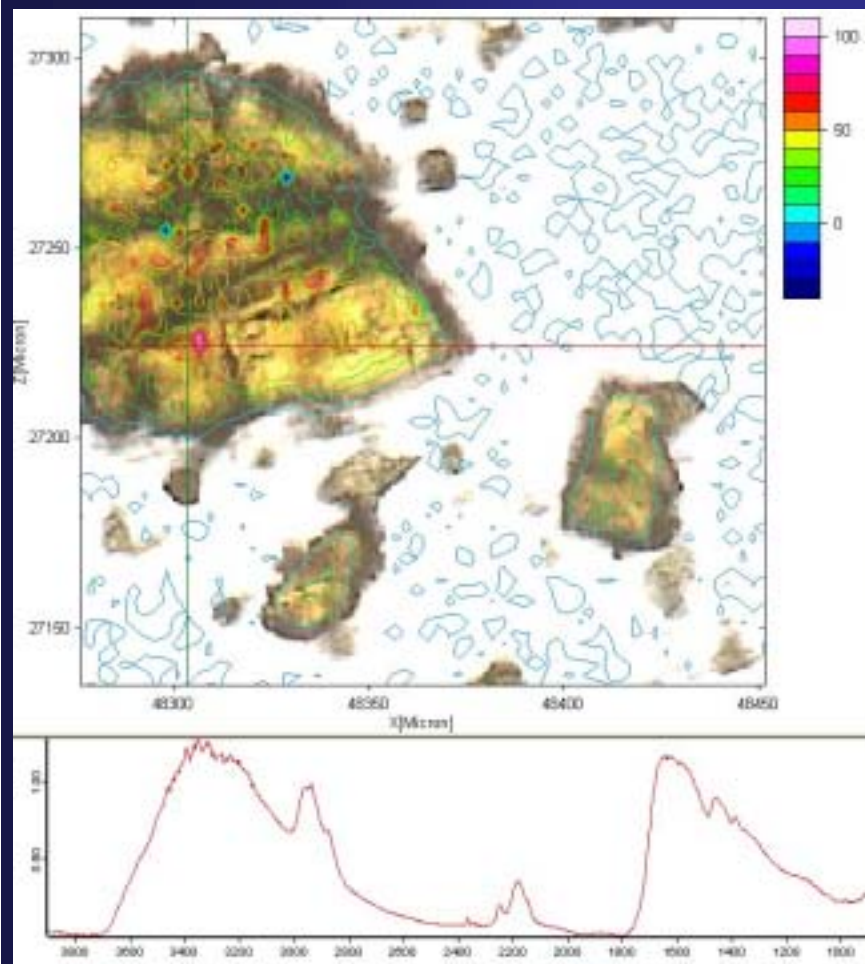
- ✓ Images élémentaires de 64x64 pixels
- ✓ Aire totale de mesure avec l'objectif 15x : 177 μ m par 177 μ m
- ✓ Taille de chaque pixel : 2.6 microns (en fonction de λ)

Echantillon: Tholin

région 1

région 2

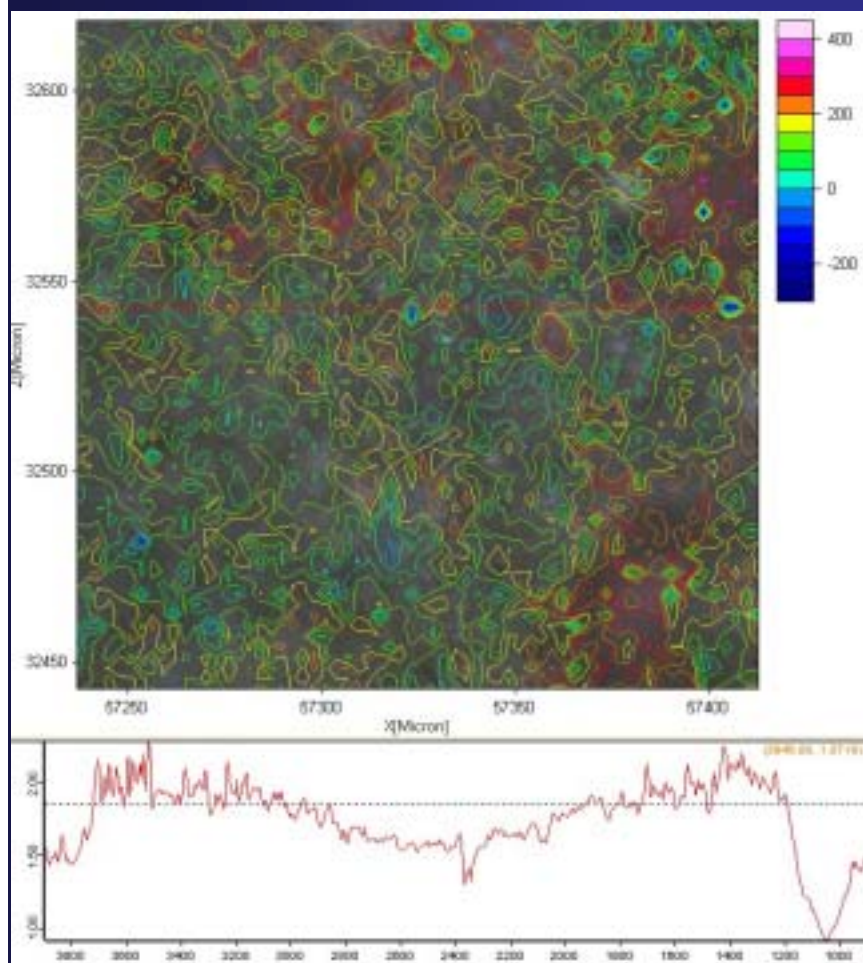
Méthode d'intégration B : 3000 -2800cm⁻¹



Echantillon: Sol

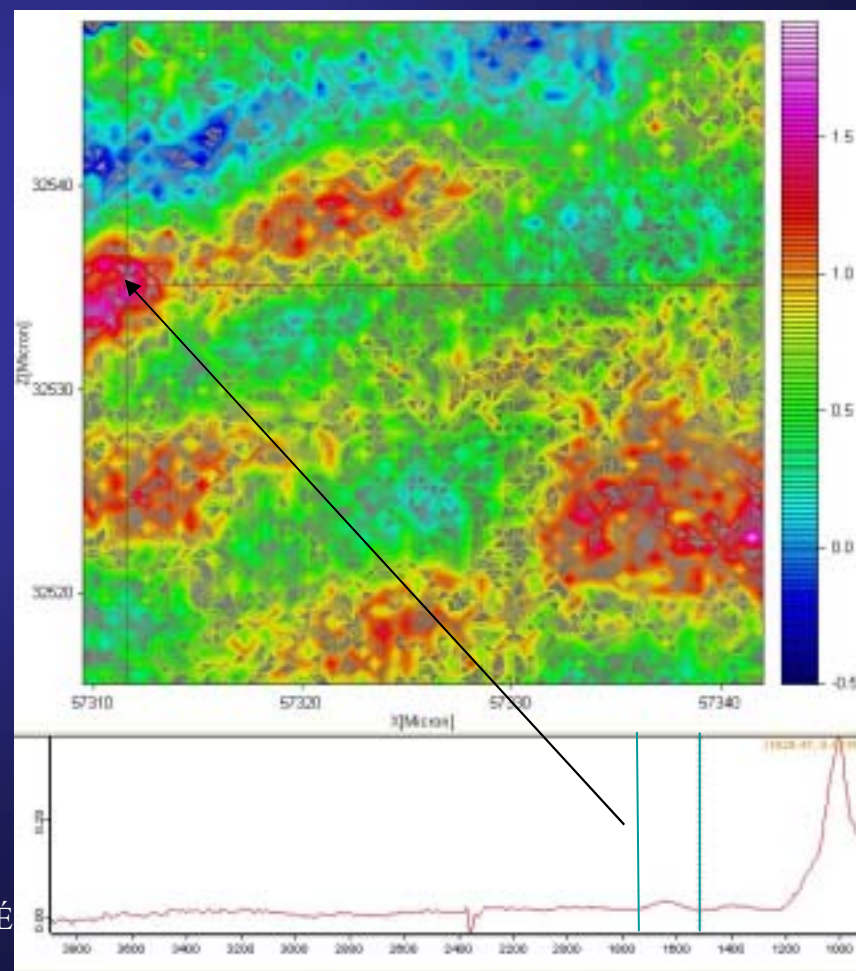
Sol en réflexion, très peu de signal

Mode d'intégration B : 3800 -3000cm-1



Sol mesuré avec l'objectif ATR

Mode d'intégration B : 1750 -1570cm-1



Visualisation et analyse de données : les besoins

Objectifs : détection, délimitation et extraction d'objets d'intérêt :

- unités de surface planétaire,
- galaxies,
- assemblages minéralogiques météoritiques, etc.

Technique : Classification de pixels multidimensionnels : segmentation

Objectifs :

- détermination du mode d'organisation des constituants d'objet
- extraction des signatures spectrales de pôles (avec variabilité)
- élimination d'artefacts

Technique : séparation de sources en aveugle

Objectif : relier numériquement les propriétés physico-chimiques et structurelles des objets avec les mesures

Technique : les modèles physiques calculent la propagation de la lumière des sources vers le capteur à travers les milieux traversés

Objectif : Estimation et cartographie des propriétés par analyse massive d'images hyperspectrales

Techniques d'inversion

Objectif : le contenu pertinent d'un hypercube doit être synthétiquement représenté sur un écran 2D avec une perte minimale d'information

Technique : un système de visualisation qui superpose dynamiquement des images réduites, des unités spatiales, des cartes de propriétés etc . sur une image de contrôle

Les difficultés

- ✓ grande dimensionnalité et volume des observations à traiter
- ✓ grande complexité structurelle des objets organisés sur plusieurs échelles
- ✓ Importance du processus de mesure et de ses caractéristiques (échantillonnage, PFS, bruit, artefacts etc...)
- ✓ mélange (souvent non linéaire) de signaux à plusieurs niveaux
- ✓ contribution de milieux perturbateurs
- ✓ données manquantes et autres artefacts
- ✓ physique du signal spectral le plus souvent très complexe (modèles numériques)
- ✓ limitation du nombre d'observables