EXELIS

Visual Information Solutions

Analyse spectrale avec ENVI

Ecole d'été SFTH 2012

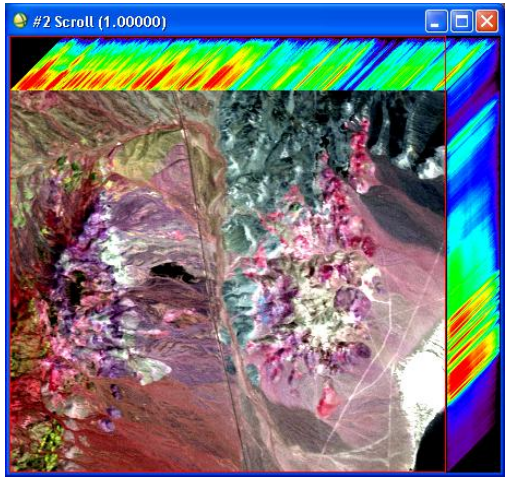
Analyse spectrale

Analyse spatiale

- On s'intéresse à la répartition spatiale des pixels
- Recherche de contours, analyse texturale…
- Image adaptée : BSQ

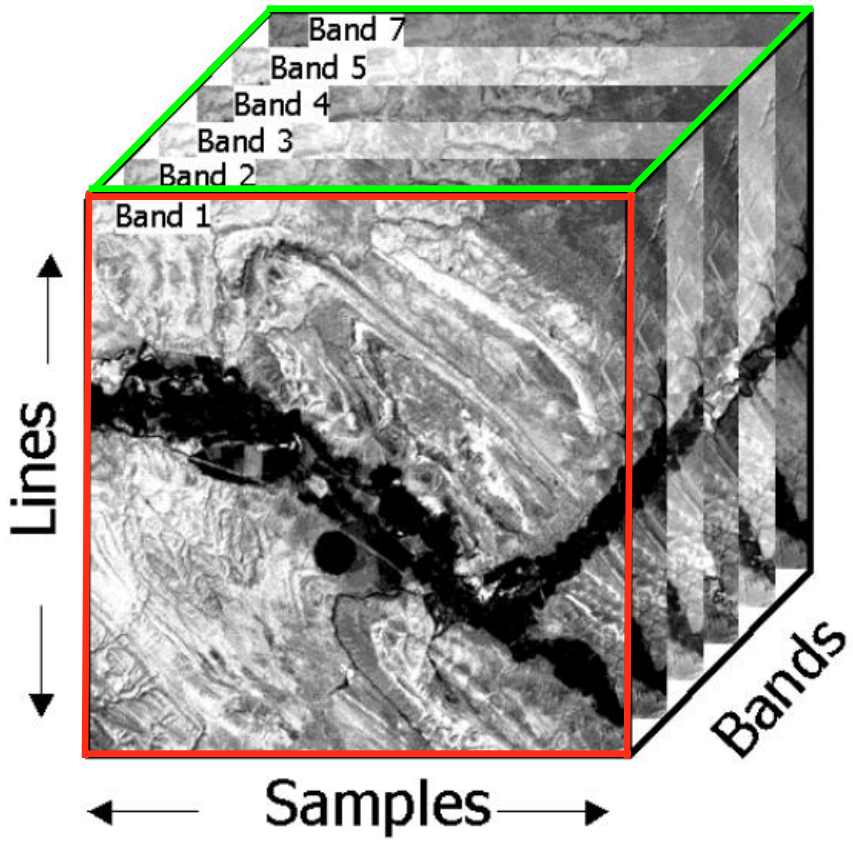
Analyse spectrale

- L'image est assimilée à une collection de spectres
- Images adaptée : BIL ou BIP



Dimensions de l'image et interleave

- **BSQ**
  - Colonne : samples
  - Ligne : lines
- **BIL**
  - Colonne : samples
  - Ligne : bands
- **BIP**
  - Colonne : bands
  - Ligne : samples



Capteur hyperspectral

Spectroscopie : étude de la lumière émise ou réfléchie par les matériaux, et de ses variations dans les différentes longueurs d'ondes
Spectromètre imageur : Combine la représentation 2D d'une image avec les capacités d'un spectromètre
Produit un spectre complet pour chaque pixel de l'image
Chaque spectre est caractéristique d'un matériau

Capteur hyperspectral

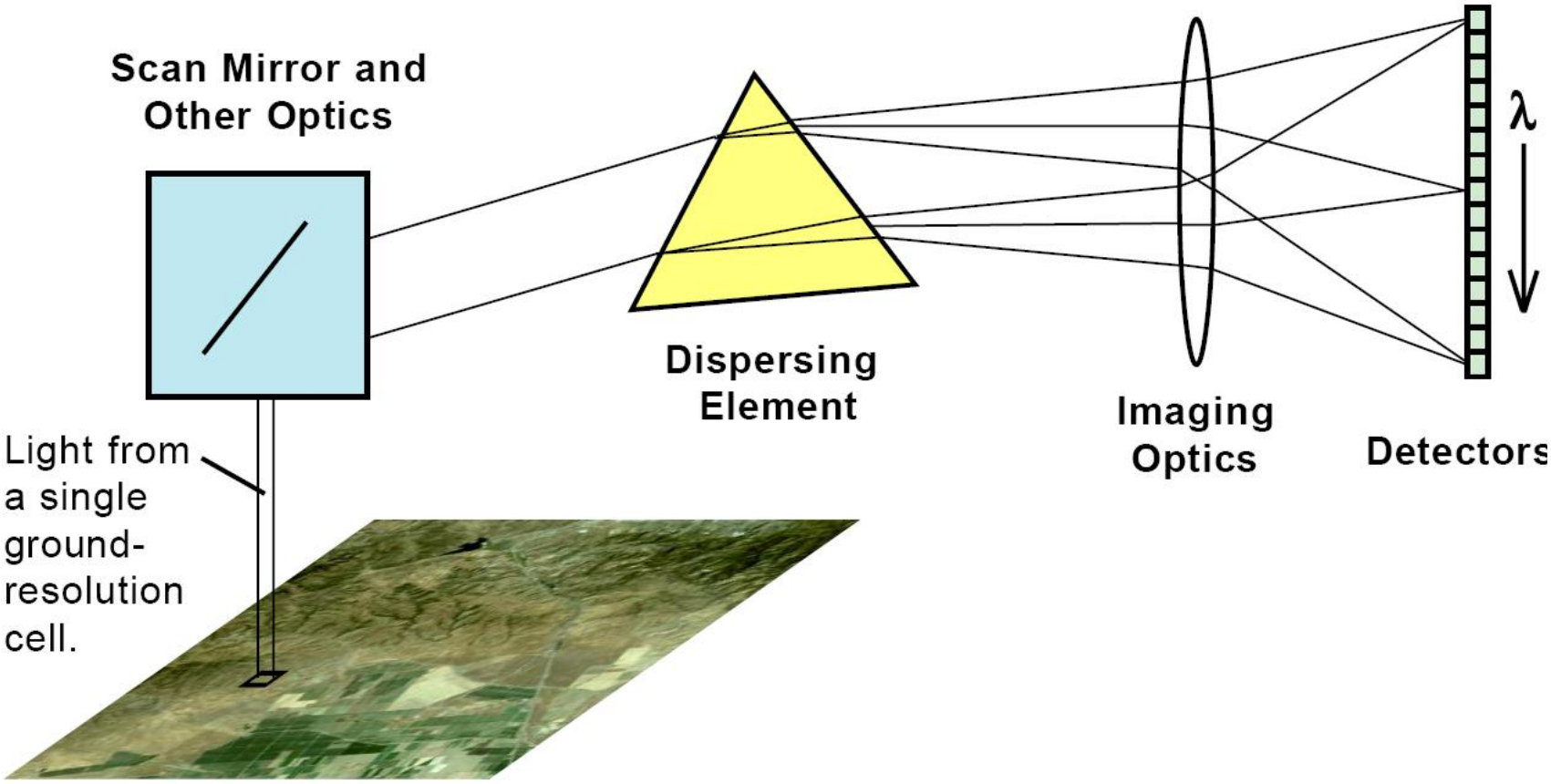
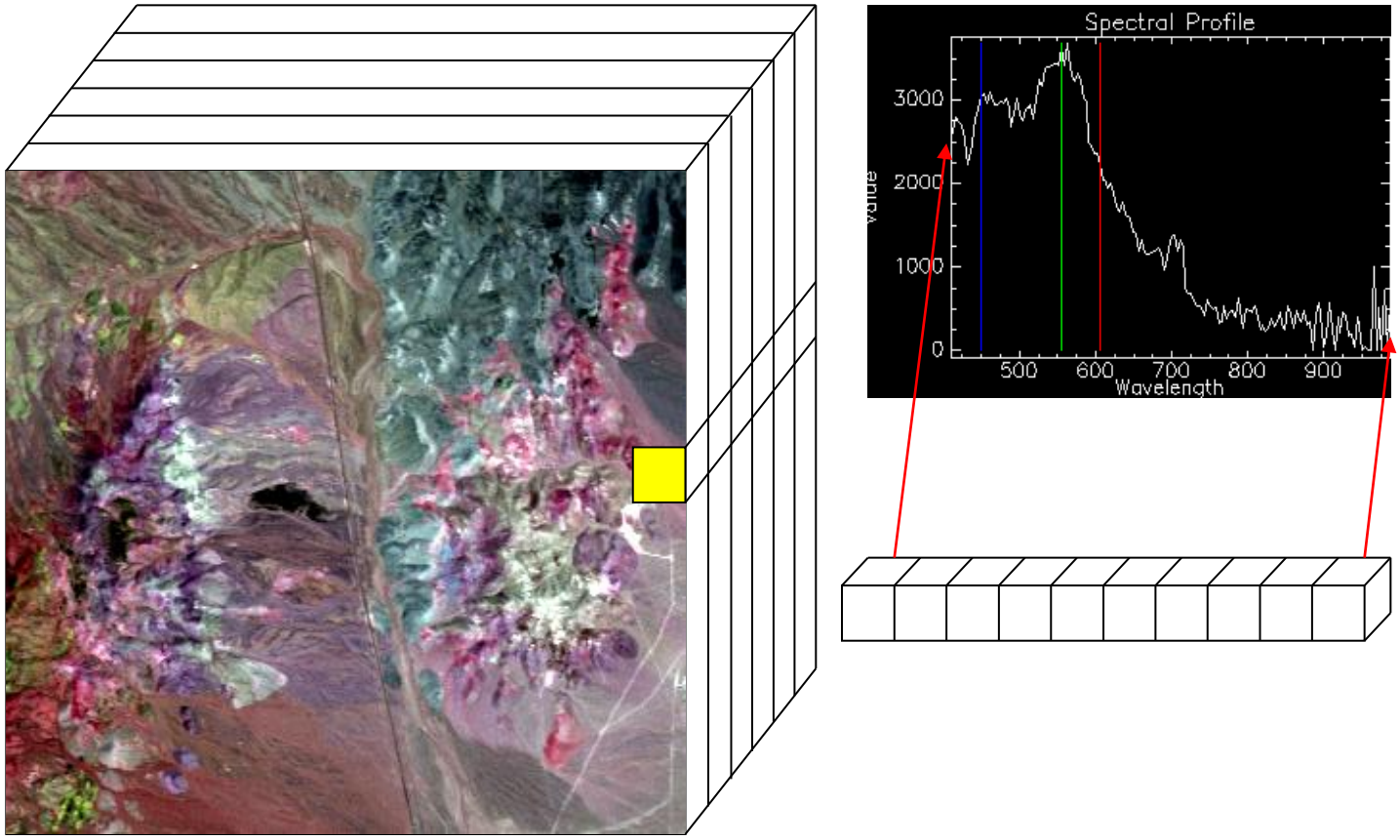


Image hyperspectrale et spectre



Quelques capteurs satellites

Capteurs	Constructeurs	# Bandes	Longueurs d'ondes
CAPTEURS SATELLITES			
CHRIS	ESA	???	0.45 a 1.05 µm
Hyperion	NASA Goddard	220	0.4 a 2.5 µm
MightySat II	Air Force Research Lab	256	0.35 a 1.05 µm
ENVISAT-1	Meris ESA	15	0.39 a 1.04 µm

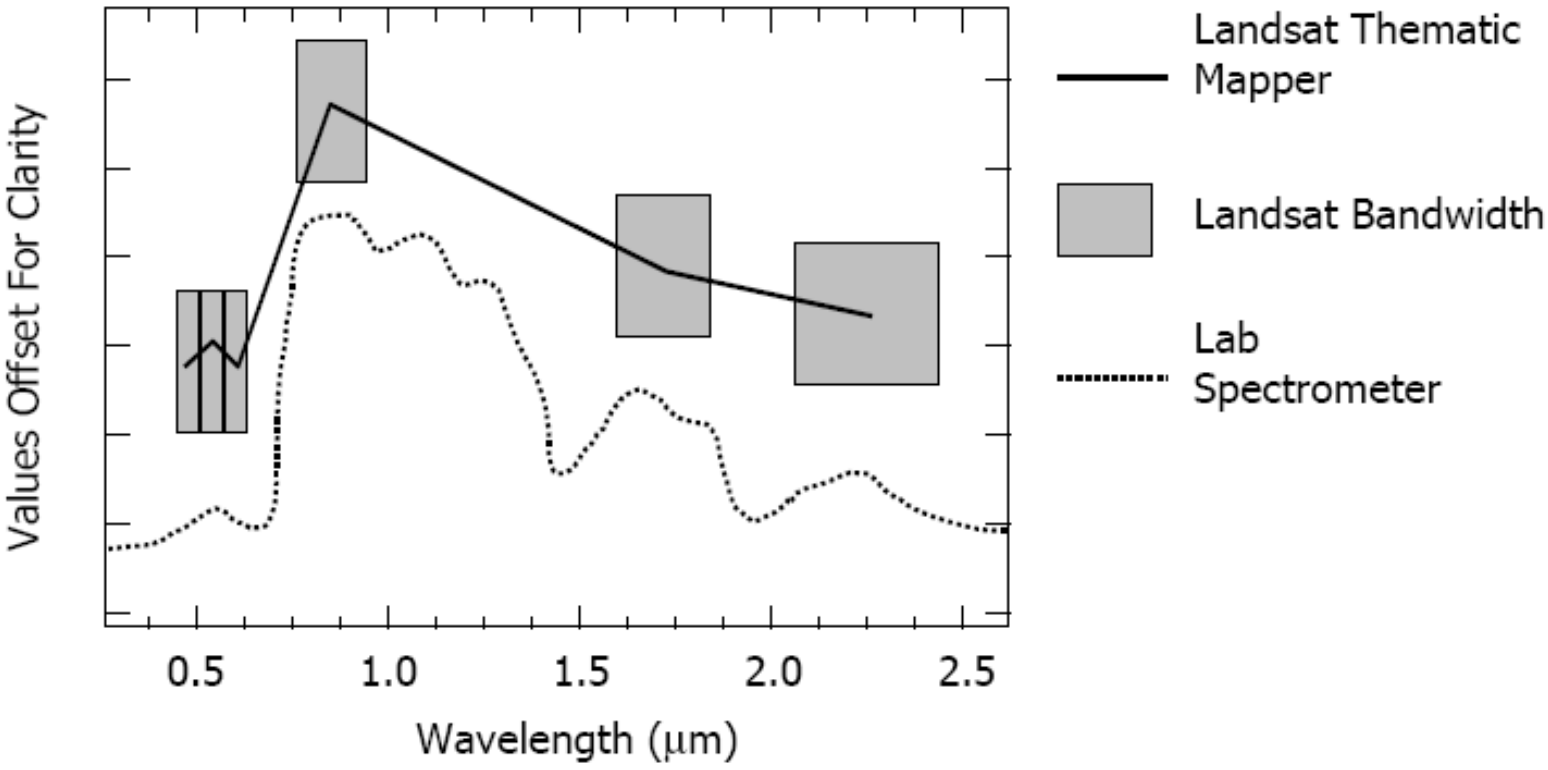
Quelques capteurs aériens

Capteurs aéroportés

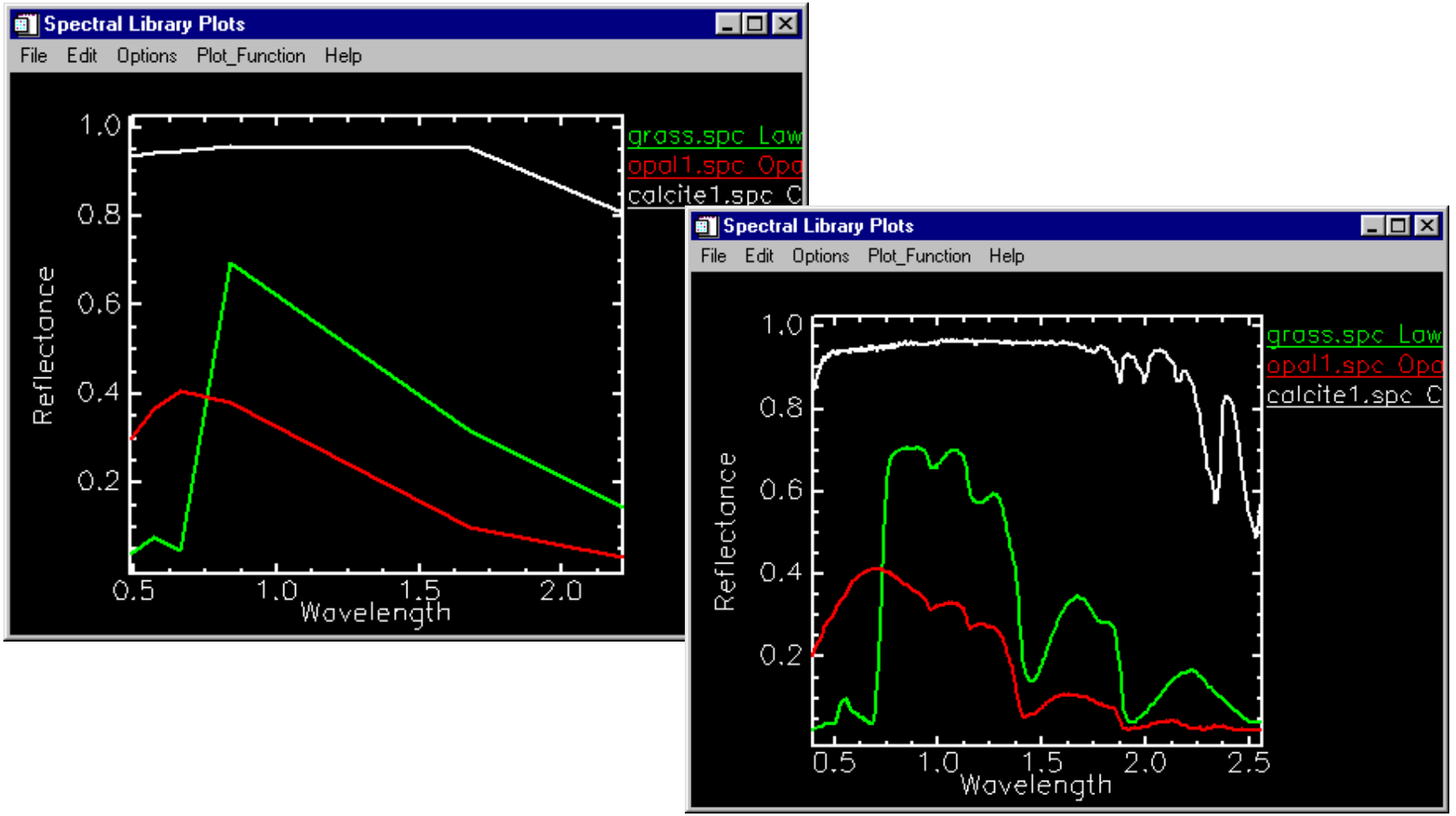
AHS	SenSyTech	48	Vis au thermal
AISA	Spectral Imaging	+ 288	0.43 a 1.0 mm
AVIRIS	NASA JPL	224	0.4 a 2.5 mm
casi	ITRES	+ 228	0.4 a 1.0 mm
EPS-H	GER Corporation	152	Vis au thermal
DAIS 21115	GER Corporation	211	Vis au thermal
HYDICE	Naval Research Lab	210	0.4 a 2.5 mm
HyMap	Integrated Spectronics	100 a 200	Vis a thermal
MIVIS	SenSyTech	102	0.4 a 12.7 mm
PROBE-1	Integrated Spectronics	128	0.4 a 2.5 mm

•Liste de capteurs : http://www.geo.unizh.ch/~schaep/research/apex/is_list.html

Résolution spectrale des capteurs



Signatures multi et hyperspectrales



EXELIS

Visual Information Solutions

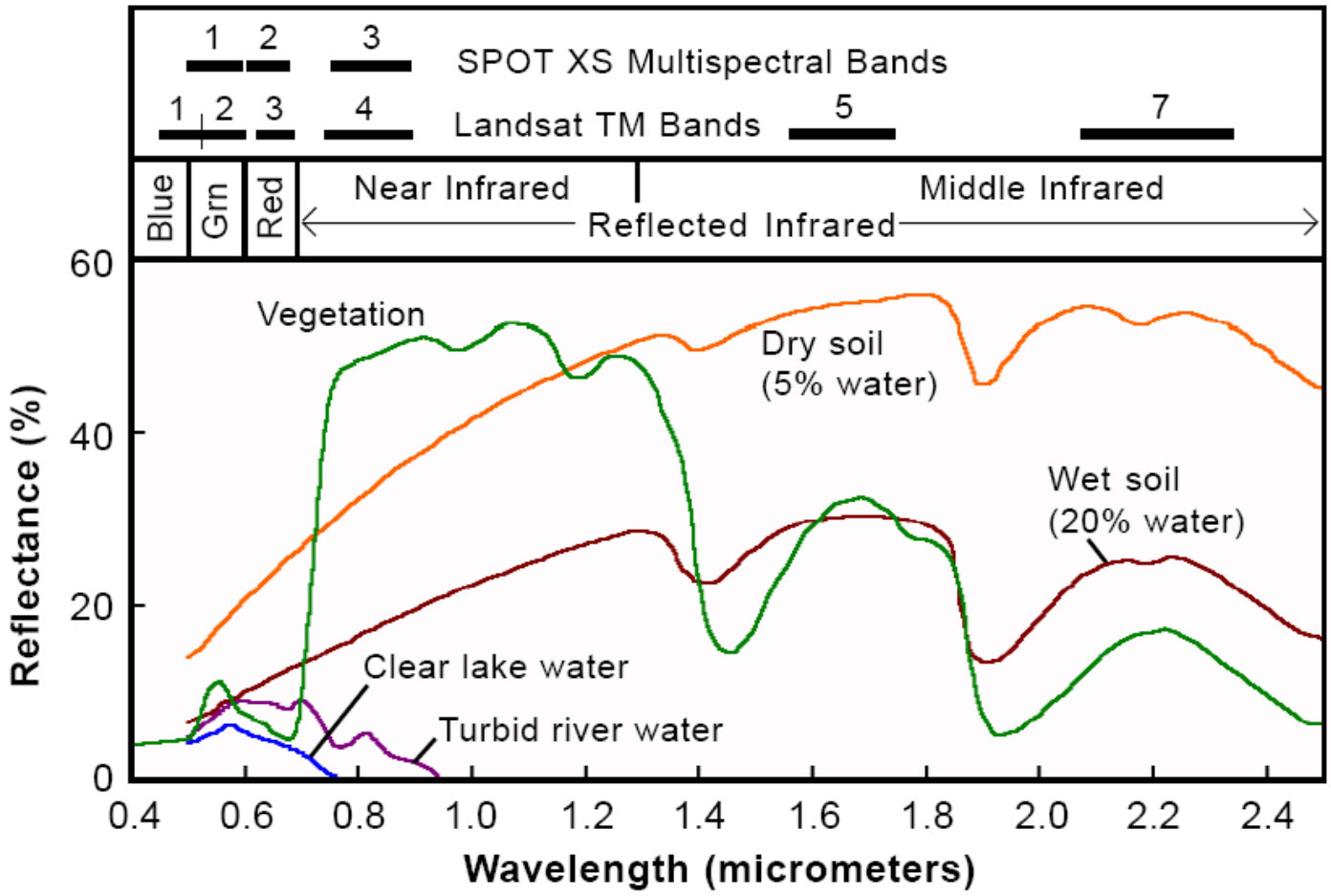
Réflectance et signature spectrale

La spectroscopie analyse la réflectance des matériaux

La réflectance reflète les interactions de la lumière avec la matière -> absorption, diffusion ou réflection
L'énergie absorbée forme des dépressions sur les courbes d'absorption
L'allure générale de la courbe et la position des dépressions permet une caractérisation des matériaux -> signature spectrale

$$\textbf{Réflectance} = E_{\text{réfléchie}} \ / \ E_{\text{incidente}}$$

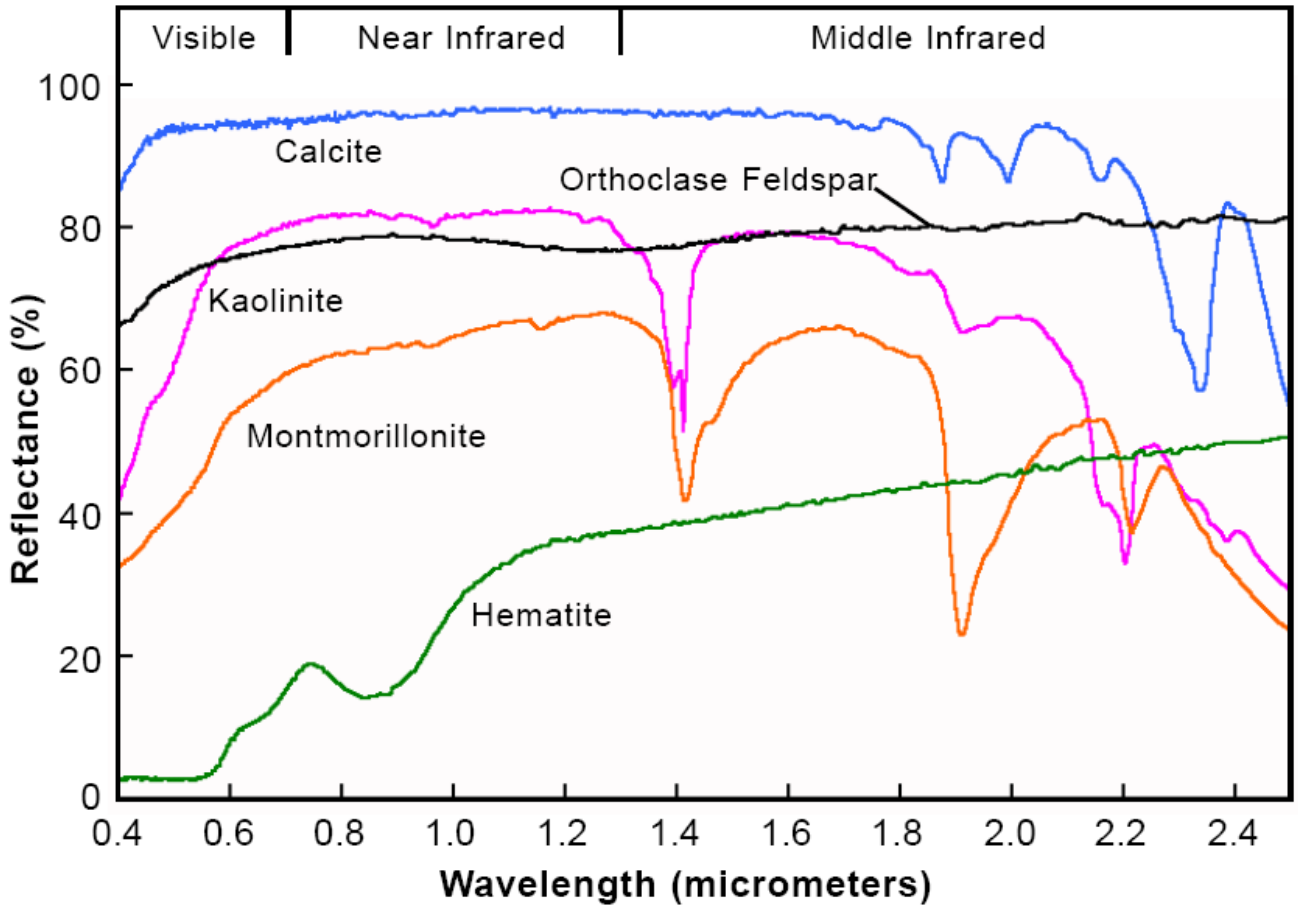
Signatures spectrales



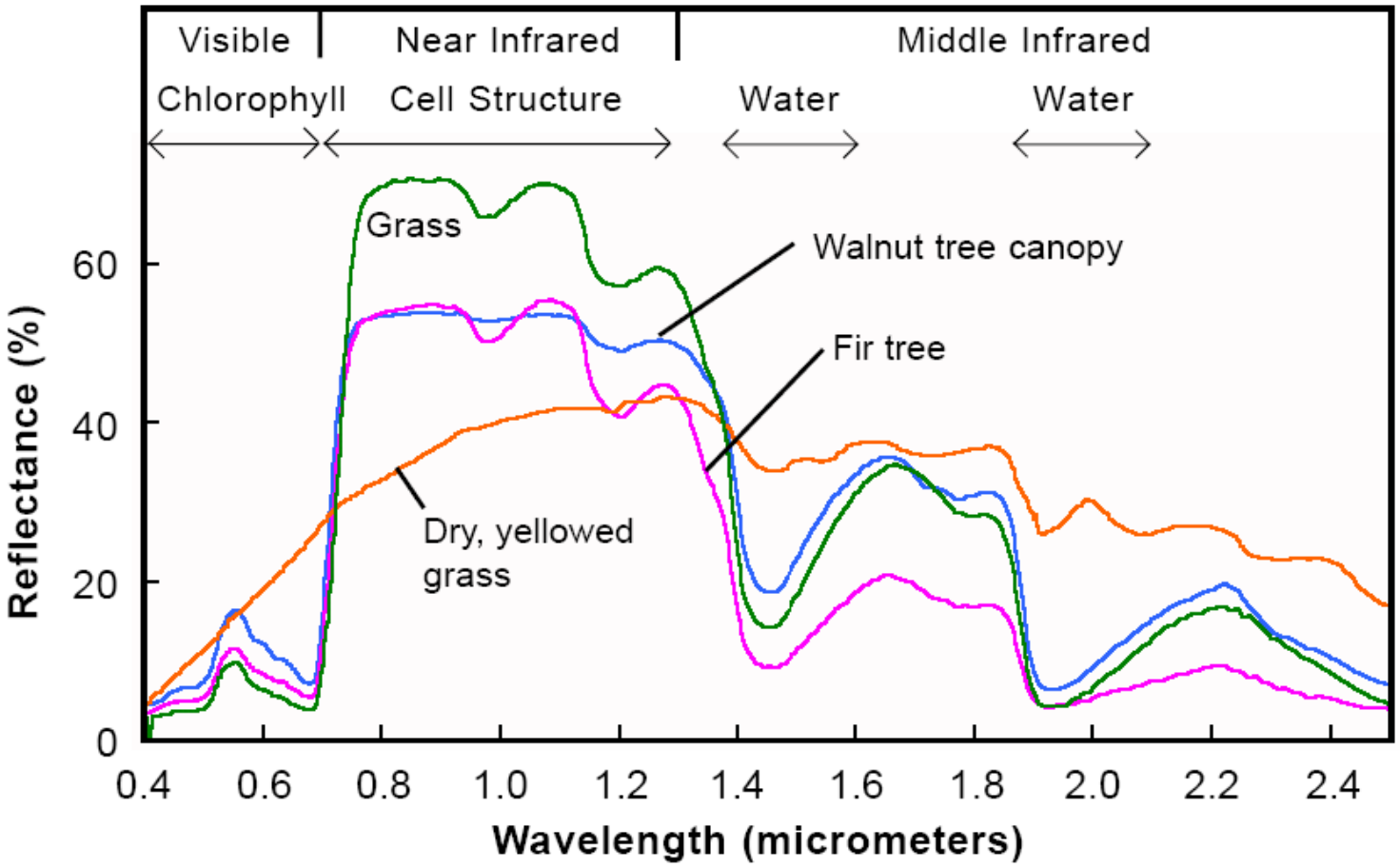
EXELIS

Visual Information Solutions

Les minéraux



Les végétaux



Librairies spectrales

Des librairies spectrales (exprimées en réflectance) pour certains matériaux naturels et artificiels sont à la disposition du public
Librairie ASTER : mis à disposition par la NASA

- Contient environ 2000 spectres (minéraux, roches, sols, matériaux artificiels, eau et neige)
- http://speclib.jpl.nasa.gov

Librairie USGS

- Contient environ 500 spectres de minéraux essentiellement + quelques végétaux
- Disponible dans ENVI

Librairies spectrales disponibles dans ENVI

Librairies USGS

Librairie JPL (Jet Propulsion Laboratory)

- Caractérisation de 160 minéraux « purs » : 0.4 à 2.5 µm

Librairie de l'Université Johns Hopkins

- Caractérisation de divers matériaux : 0.4 à 14 µm

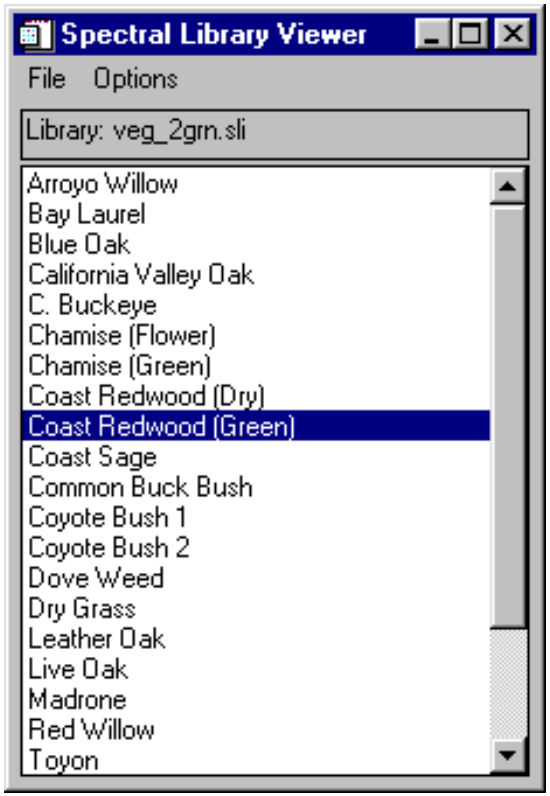
5 librairies de l'IGCP (UNESCO et International Union of Geological Sciences) - Projet 264

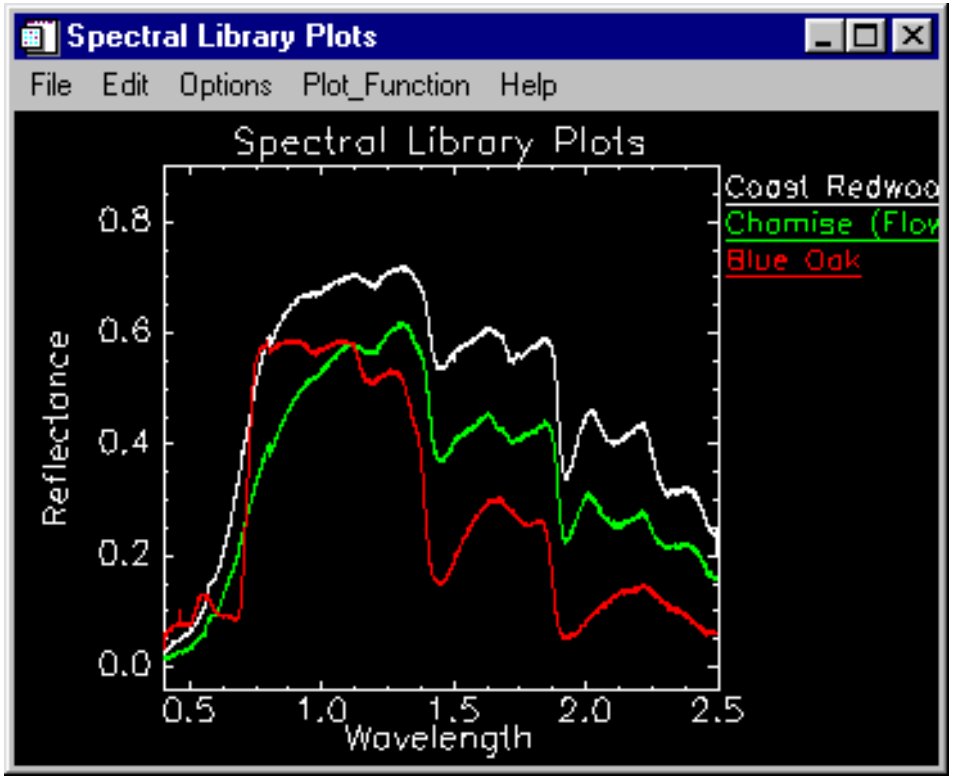
- Caractérisation de 26 éléments avec 5 spectromètres différents

Librairie spectrale de Chris Elvidge

- Caractérisation de végétaux (verts et secs)

Librairies spectrales



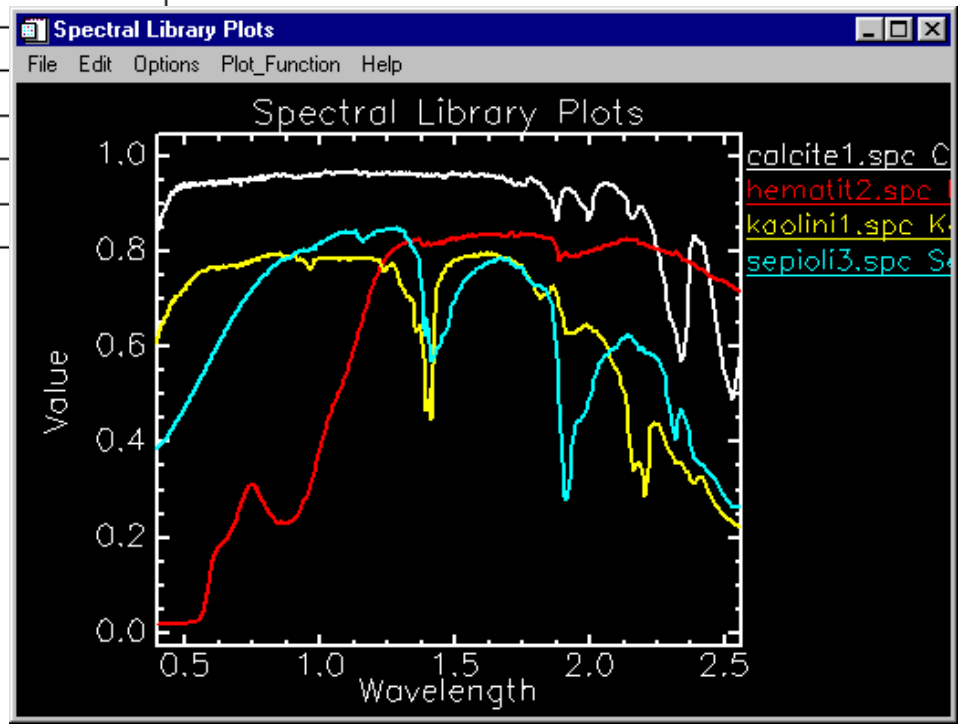


EXELIS

Visual Information Solutions

Les minéraux

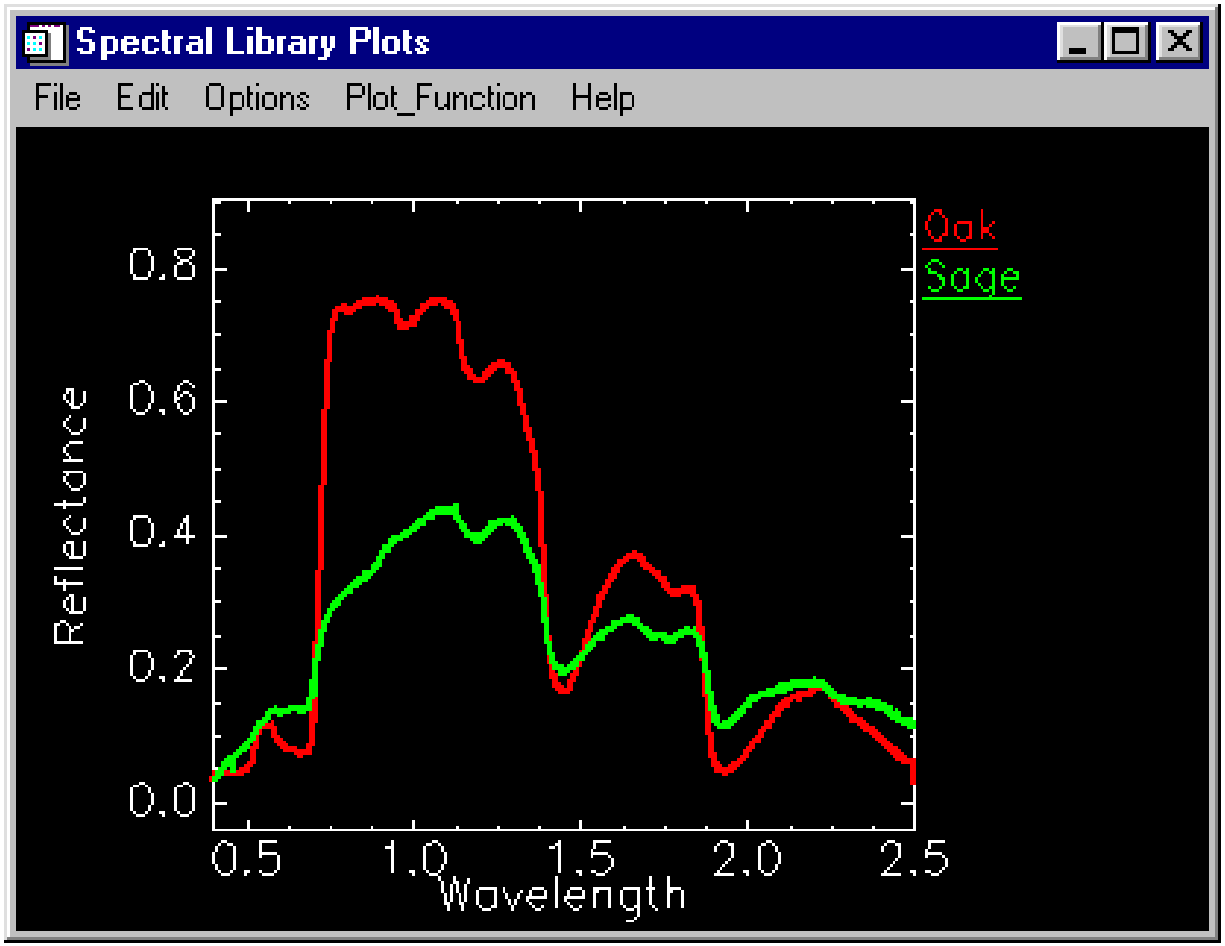
Molecule	Wavelength
Fe^{3+}	0.4 to 0.6 µm, 0.66 µm, 0.85 to 0.95 µm
OH	1.4 µm
Al-OH	2.15 to 2.22 µm
Mg-OH	2.3 to 2.39 µm
Fe-OH	2.24 to 2.27 µm
Si-OH	2.25 µm
H_2O	1.4 µm, 1.9 µm
CO_3	2.30 to 2.35 µm
NH_4	2.0 to 2.13 µm



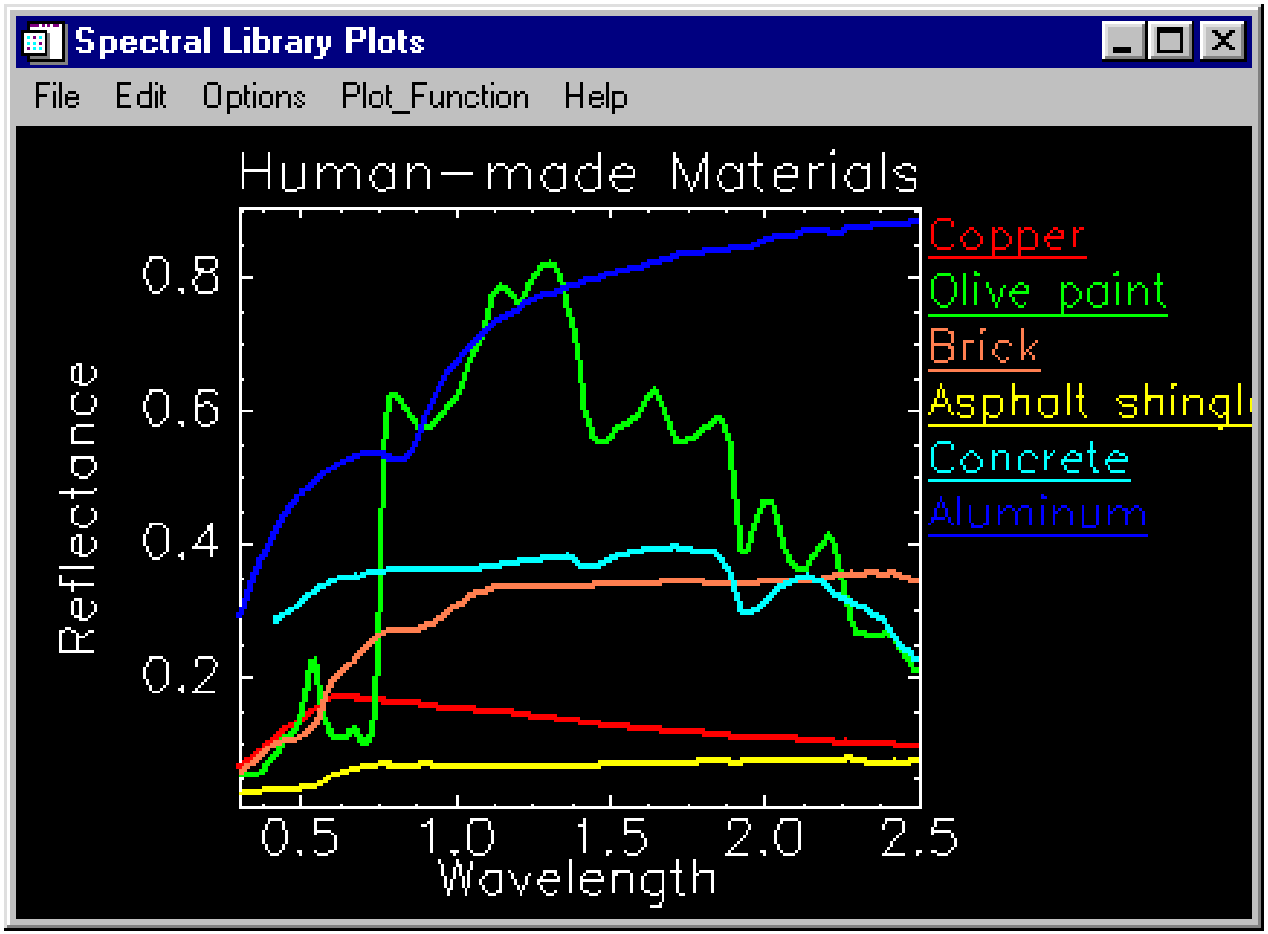
EXELIS

Visual Information Solutions

Les végétaux

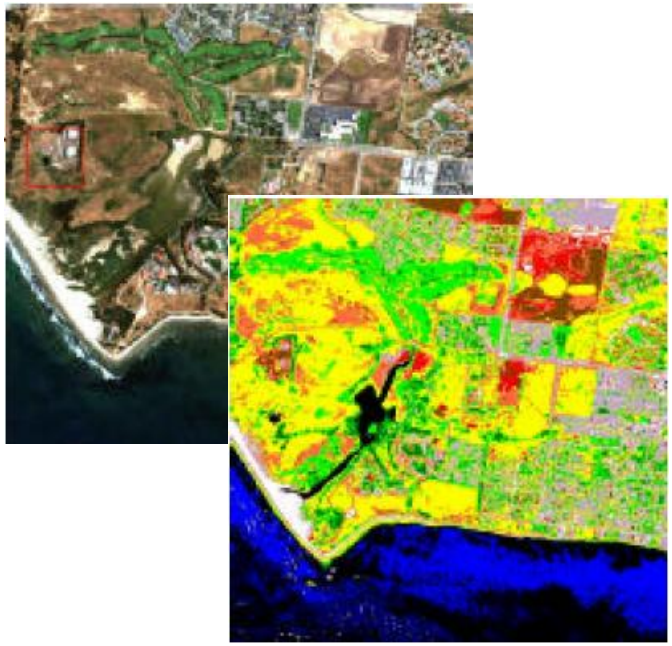


Les matériaux artificiels



Applications thématiques

Stress de la végétation
Typologie et cartographie de la végétation
Condition a la surface de l'eau
Occupation du sol
Détection d'hydrocarbures
Recherche/détection de cible



EXELIS

Visual Information Solutions

Prétraitements

Ecole d'été SFTH 2012

Réflectance

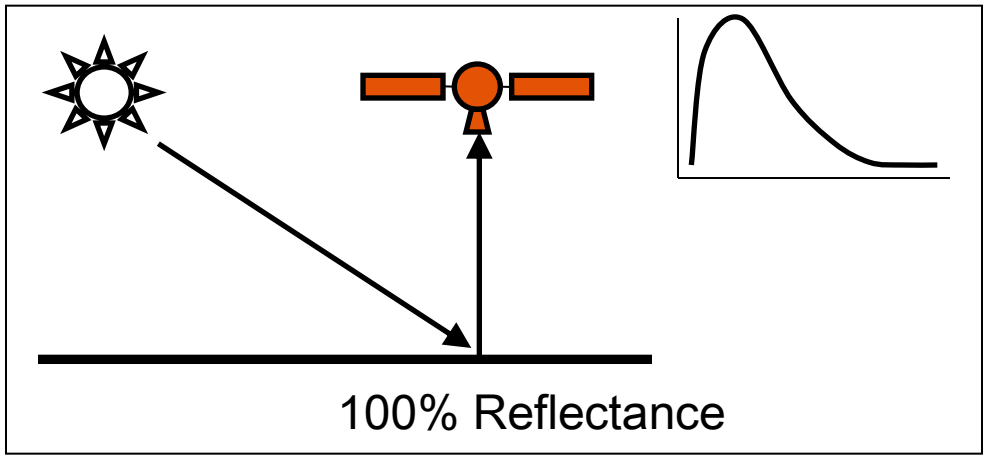
Nécessite de connaître

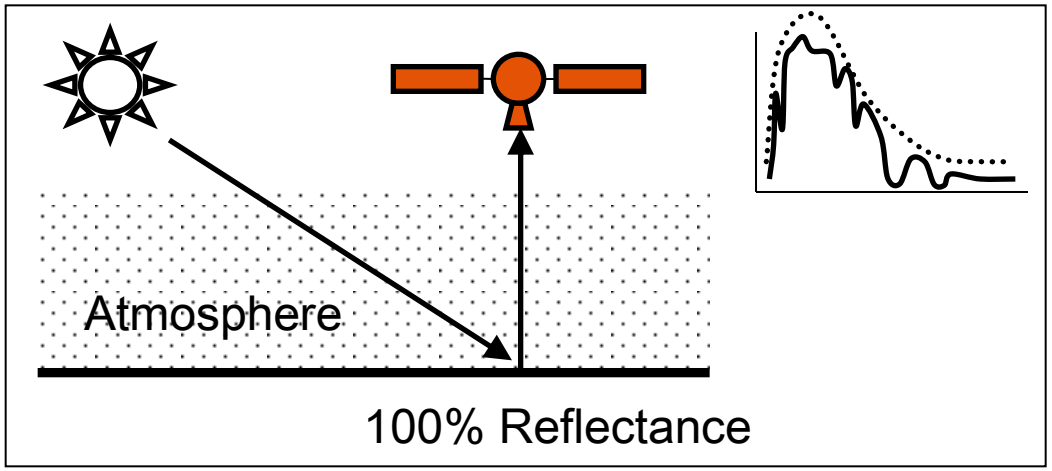
- Énergie incidente
- Énergie réfléchie

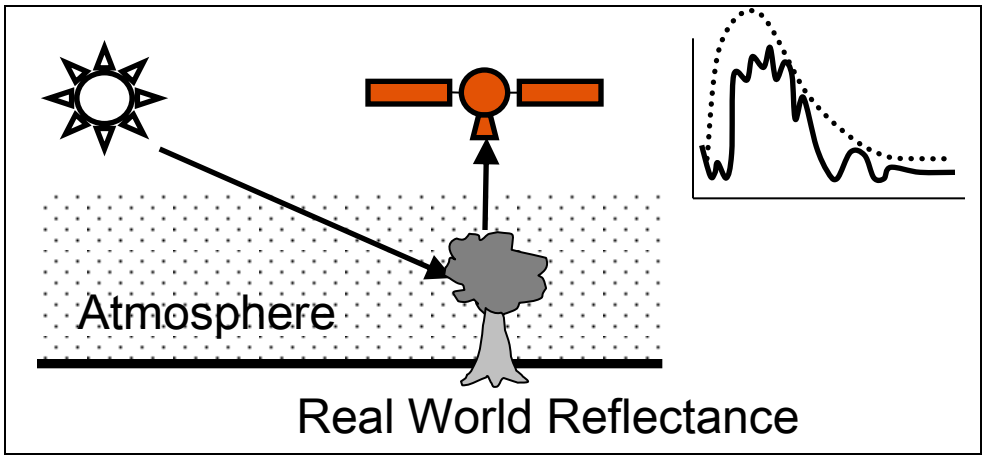
Energie incidente

- Subit des perturbations lors de la traversée de l'atmosphère
- Son intensité varie en fonction de la longueur d'ondes

$$\textbf{Réflectance} = E_{\text{réfléchie}} \ / \ E_{\text{incidente}}$$







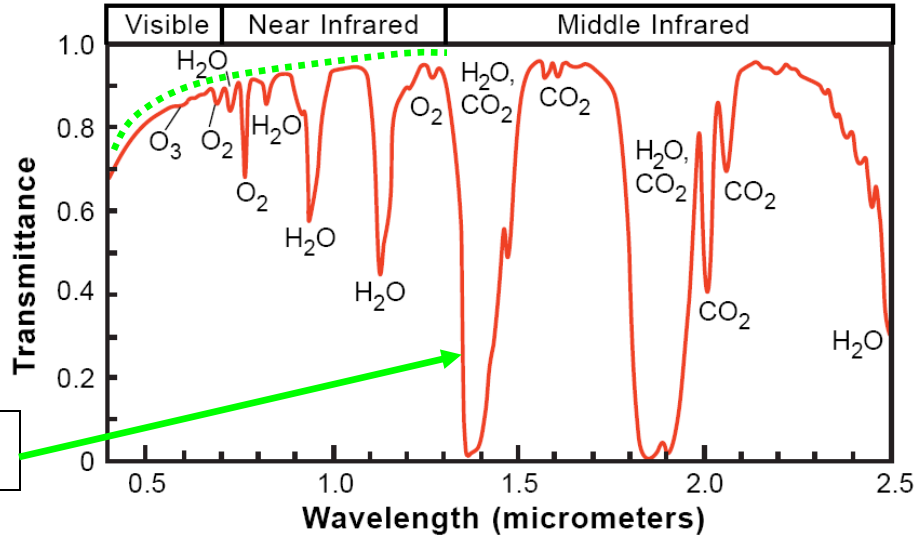
EXELIS

Visual Information Solutions

Effets de l'atmosphère

Effets atmosphériques

- Interactions des particules de l'atmosphère avec la lumière
- Interactions inégales en fonction des longueurs d'ondes
- Interactions par absorption et diffusion



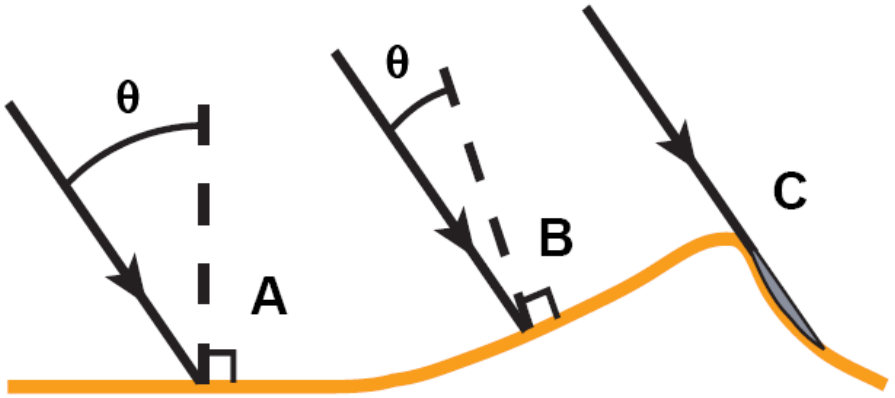
absorption

Transmittance : proportion d'énergie qui arrive au sol

Réflectance

Énergie réfléchie

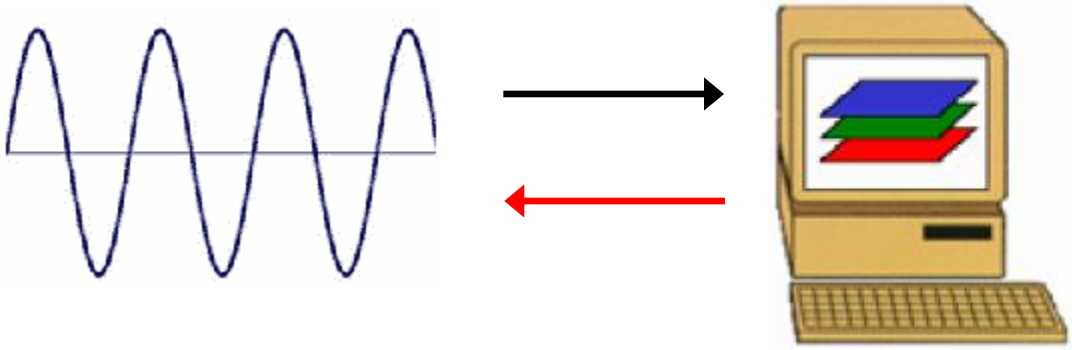
- Dépend de la lumière incidente
- Dépend du relief : intensité lumineuse augmente quand l'angle d'incidence est petit.

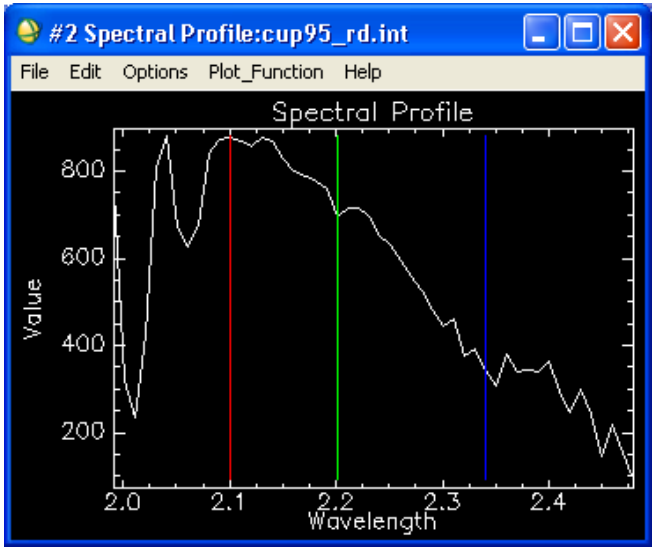


- Ombre : peut être provoquée par le relief (c) ou par la présence de nuages

Effets du capteur

Capture d'un signal lumineux analogique
Conversion en signal numérique : radiance « encodée »
Dépend du temps

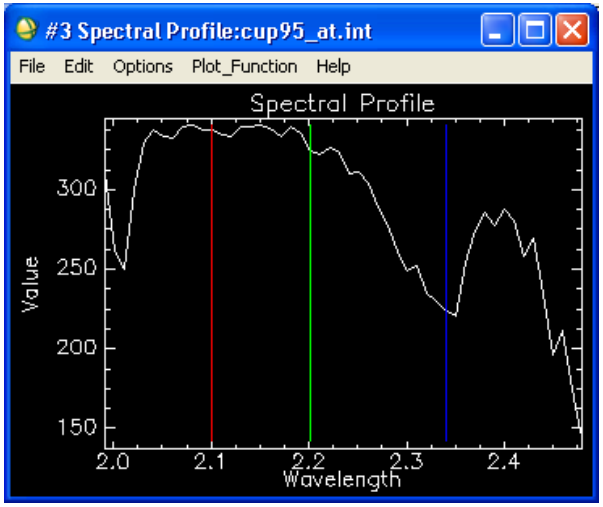


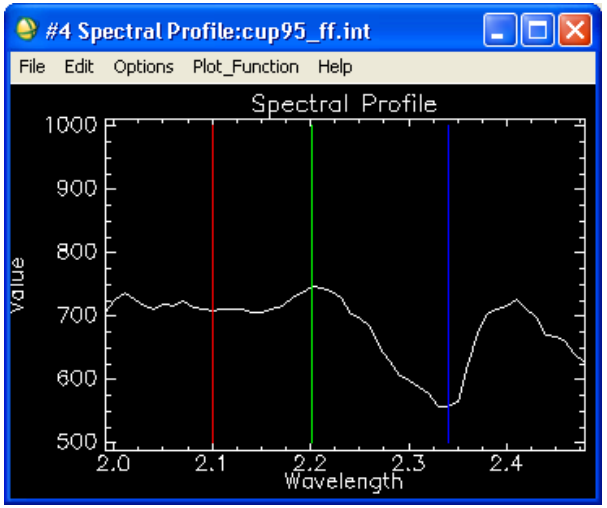


Correction atmosphérique

Flat field

- Recherche d'un spectre relativement plat dans la scène par lequel on divise tous les spectres de l'image
- Ne corrige pas des effets topographiques





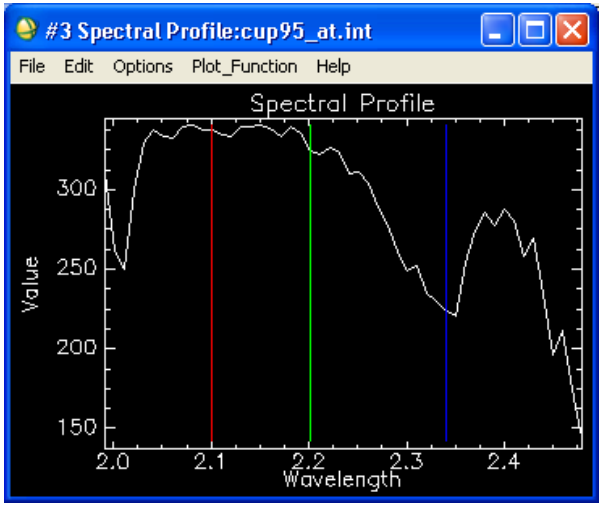
EXELIS

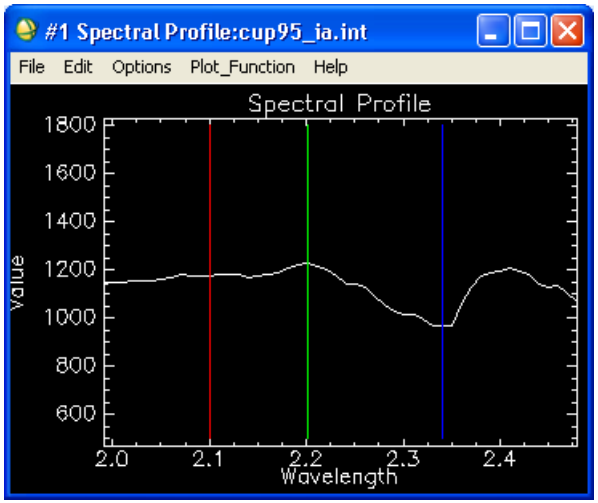
Visual Information Solutions

Correction atmosphérique

Internal Average Reflectance

- Recherche du spectre moyen sur toute la scène par lequel on divise tous les spectres de l'image
- Réduit les effets topographiques

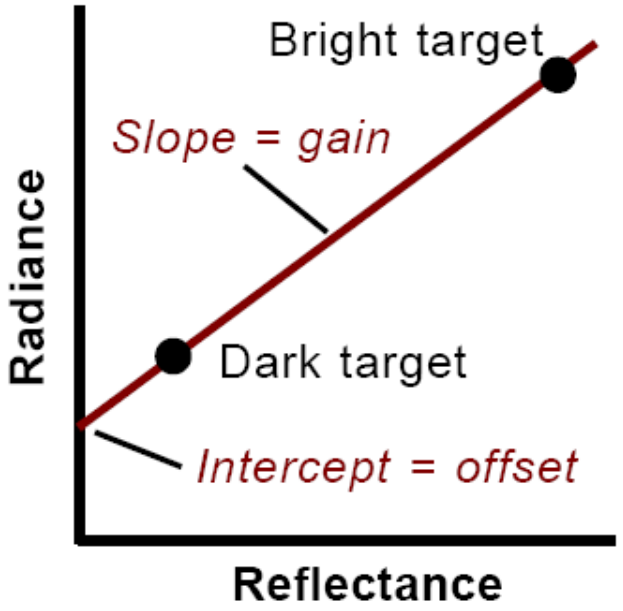




Correction atmosphérique

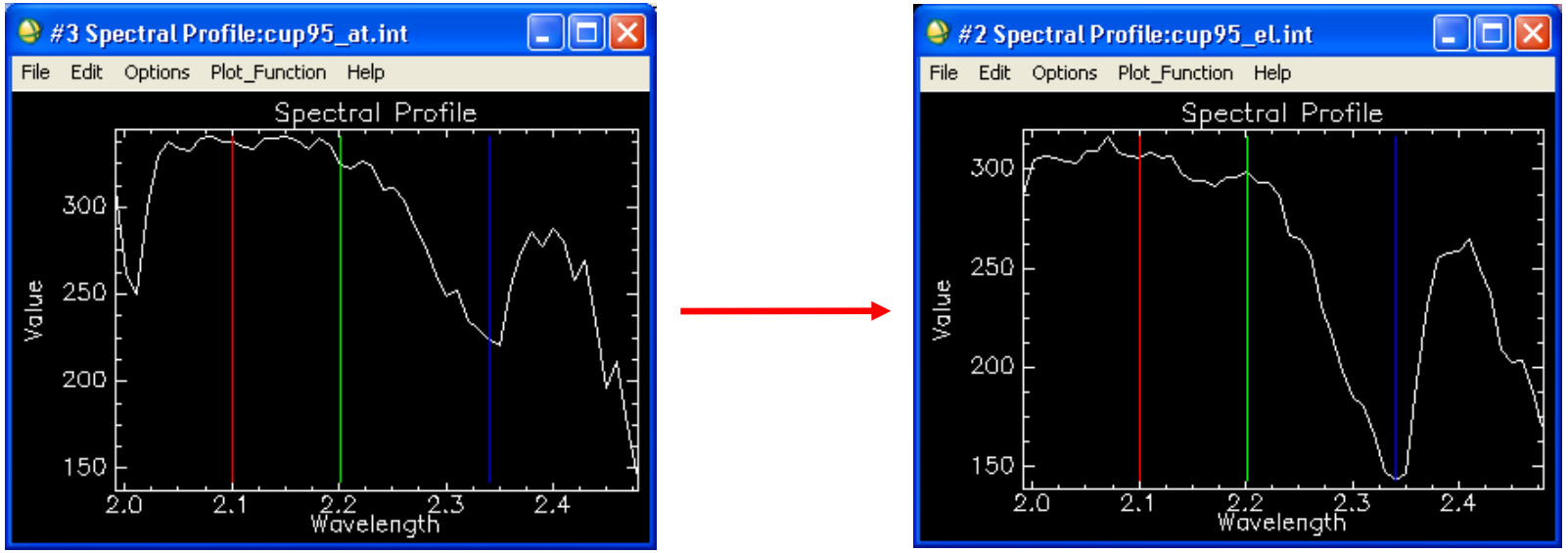
Empirical line :

- Recherche de 2 cibles de l'image : sombre et claire
- Mesures de réflectance sur le terrain pour les 2 cibles
- Représentation graphique
- Détermination du gain et de l'offset
- Ne tient pas compte de la topographie



Correction atmosphérique

Empirical line



Correction atmosphérique

FLAASH

- Créé un modèle qui simule le spectre incident en tenant compte de plusieurs contraintes
  - Elévation du soleil (tient compte de la date d'acquisition)
  - Effets d'absorption et de diffusion (en fonction de divers aérosols)
  - Topographie
- Nécessite de connaître de nombreuses informations sur l'image

Quick Atmospheric Correction (QUAC)

- Suppose que les spectres moyens de divers matériaux sont indépendants de la scène
- Retrouve les compensations de l'atmosphère même si aucune information n'est connue sur l'image

EXELIS

Visual Information Solutions

Endmembers
Recherche et identification

Ecole d'été SFTH 2012

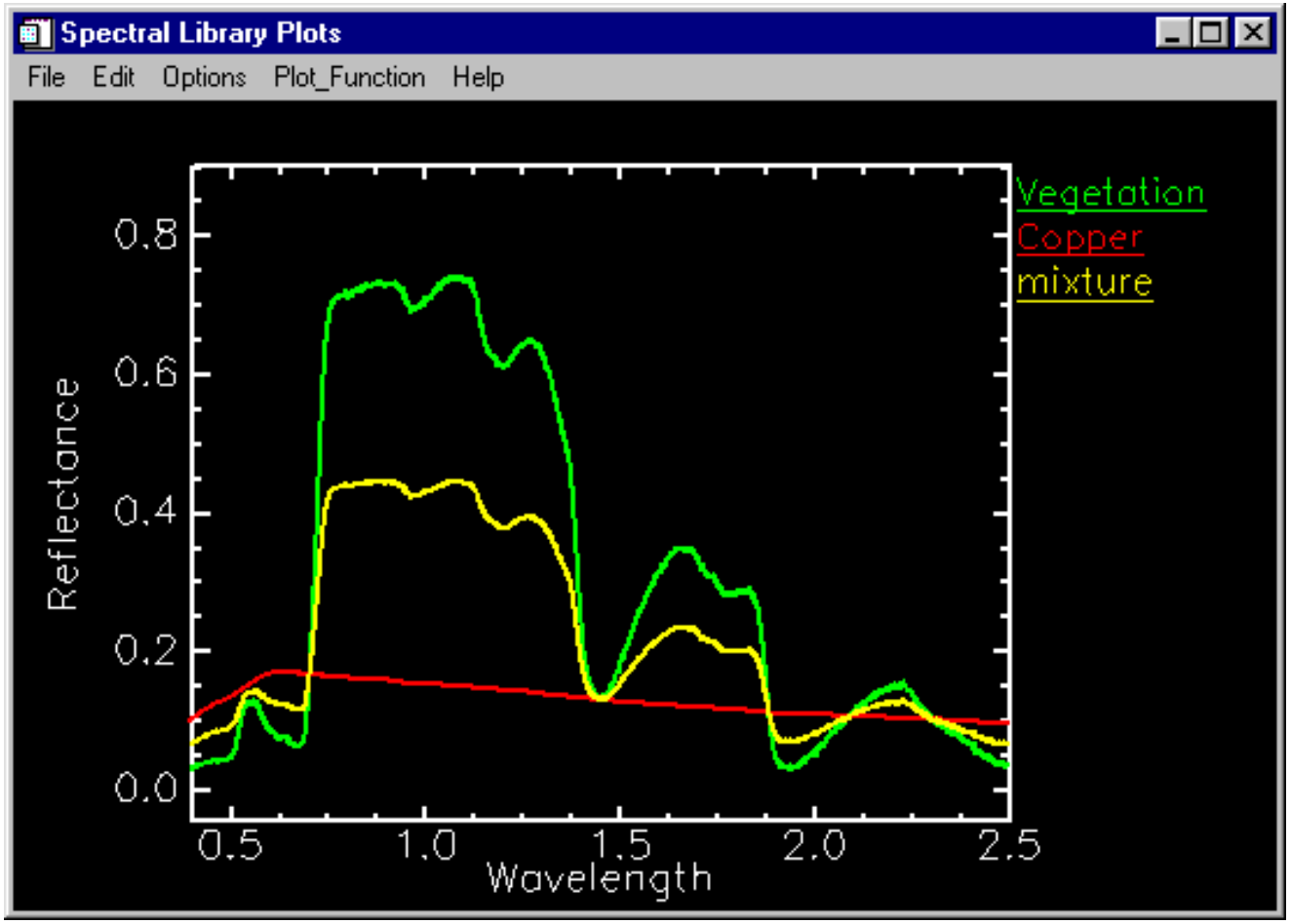
Résolution spatiale

Influence de la résolution spatiale

- Faible résolution spatiale : un pixel occupe une large surface au sol
- Dans un pixel on trouvera plusieurs matériaux

Le spectre résultant sera dit « composite » ou « mixé », car composé de plusieurs spectres « purs »
Les spectres purs sont appelés « endmember »
Les contributions de chaque matériau sont proportionnelles à la surface occupée par ce matériau dans le pixel

Spectre composite



EXELIS

Visual Information Solutions

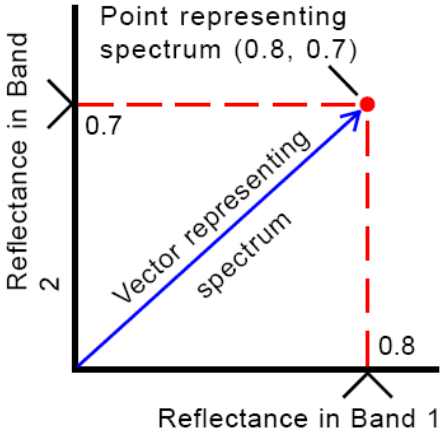
Représentation des données spectrales

Une courbe

- Réflectance / longueur d'onde

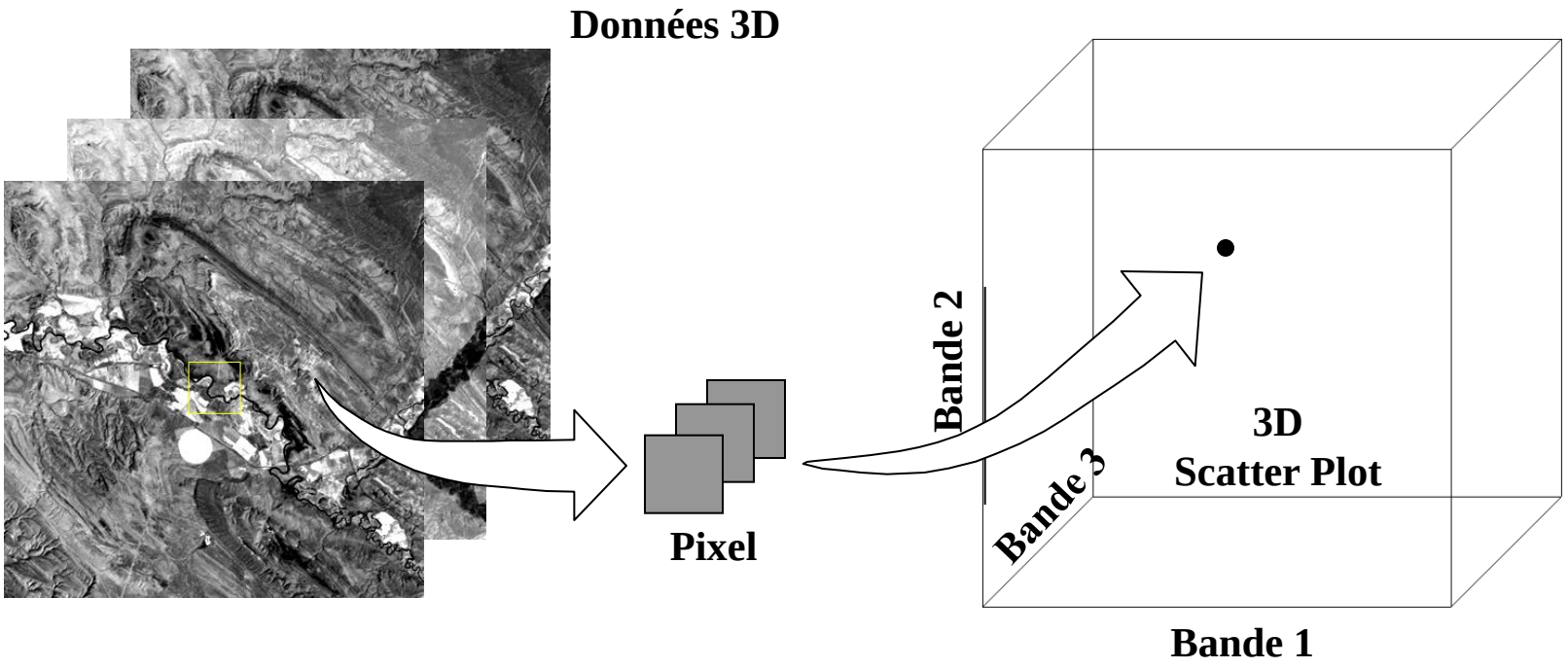
Des points et des vecteurs

- Espace à N-dimensions ou N = nombre de bandes spectrales
- Un pixel = un point et un vecteur dans cet espace
- Vecteur court = spectre sombre
- Vecteur long = spectre clair
- Un matériau = un nuage de points



Représentation des données spectrales

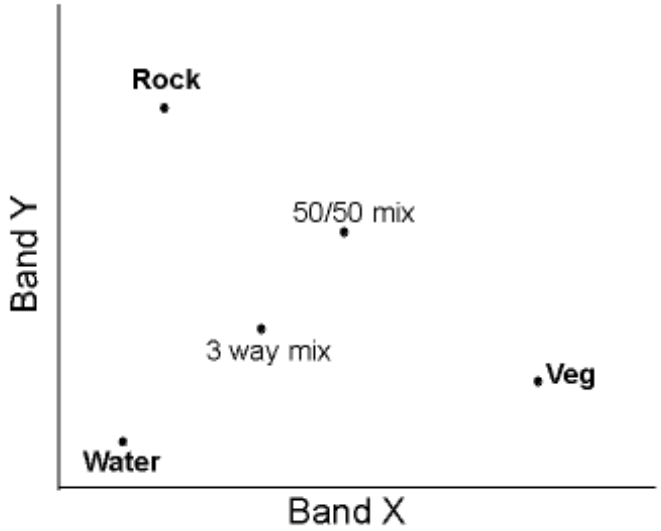
Exemple pour une image 3 bandes



Recherche des endmembers

Caractérisation des endmembers

- Possède une courbe similaire à un spectre connu
- Est situé en marge du nuage de points (le centre du nuage correspond à des spectres mélangés)



Spectral analyst

Un spectre inconnu de l'image est comparé avec les spectres d'une librairie
L'outil utilise 3 méthodes de comparaison et attribue une valeur de similitude du spectre inconnu avec tous les spectres de la bibliothèque

- SAM : spectral angle mapper
- SFF : spectral feature fitting
- BE : Binary encoding

Résultat sous la forme d'un tableau de statistiques
Plus la valeur est proche de 1 et plus la similitude est grande

SMACC

Outil qui recherche automatiquement les spectres les plus éloignés les uns des autres dans l'image (sans se référer à une bibliothèque) en utilisant la représentation en nuage de points
Image en radiance ou en réflectance
Résultats :

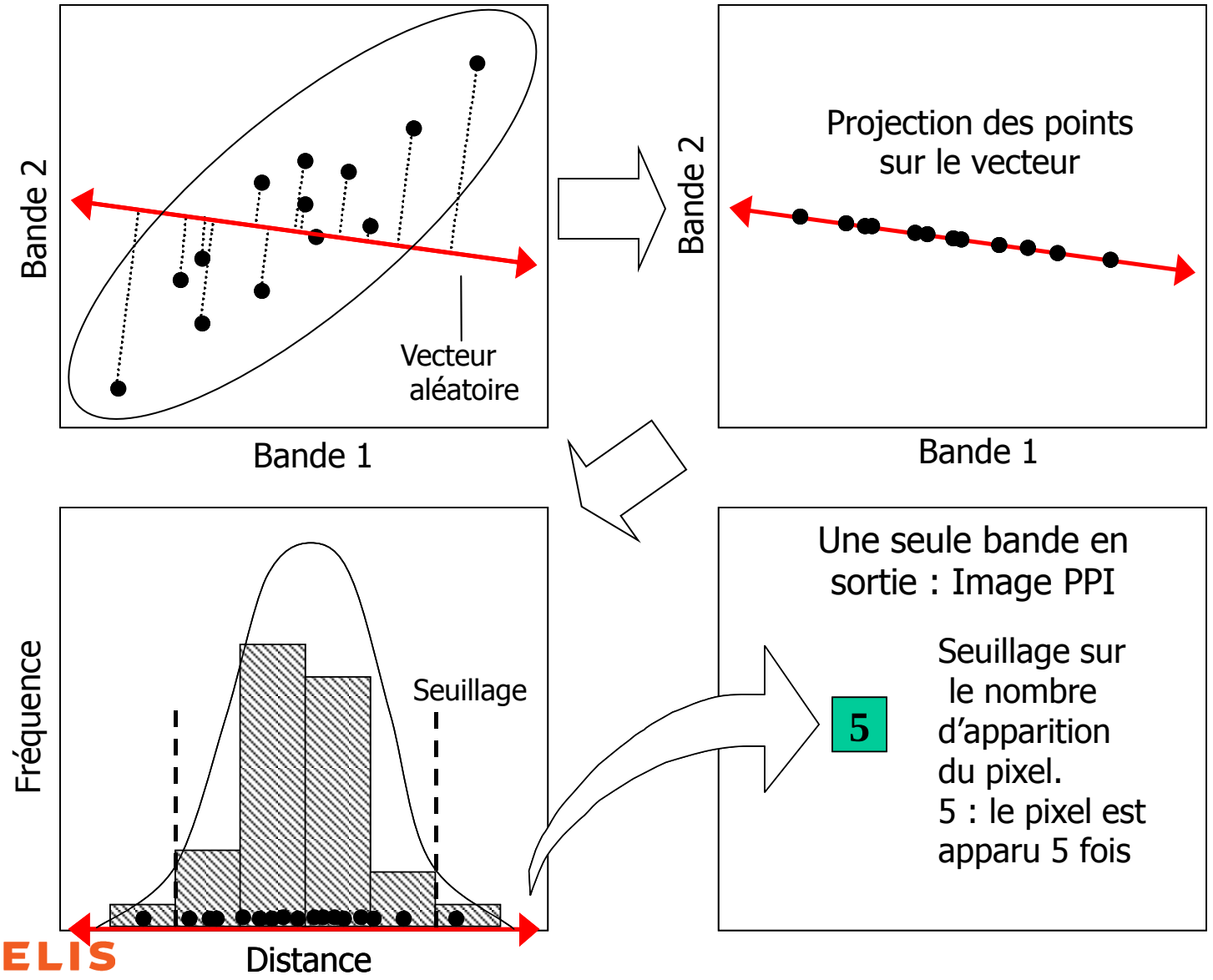
- Image d'erreur relative (RMS) pour chaque endmember
- Image d'abondance (optionnel)
- Affichage du spectre de chaque endmember (courbe)
- Les endmembers trouvés peuvent être sauvegardés en sortie dans une librairie spectrale

N-D visualiseur

Les images **hyper**spectrales contiennent plus d'information que nécessaire
Plusieurs étapes pour réduire la quantité d'information

- MNF (Minumum Noise Fraction)
  - Réduction du nombre de bandes. Décorrélation et réduction du bruit
- PPI (Pixel Purity Index)
  - Recherche des spectres purs à l'extrémité du nuage de points constitué à partir des bandes MNF
  - Résultat : une image où les pixels les plus purs sont les plus clairs
- N-D visualiseur
  - Visualisation du nuage de point et des endmembers, possibilité de correction manuelle

Pixel Purity Index

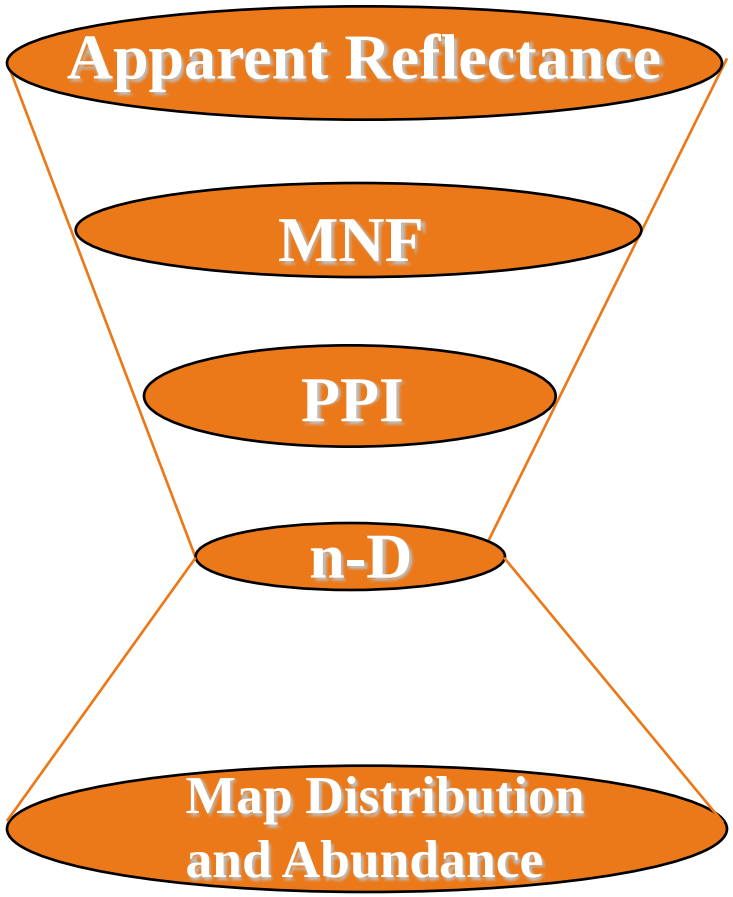


EXELIS

Visual Information Solutions

Assistant semi-automatique

Spectral hourglass wizard



EXELIS

Visual Information Solutions

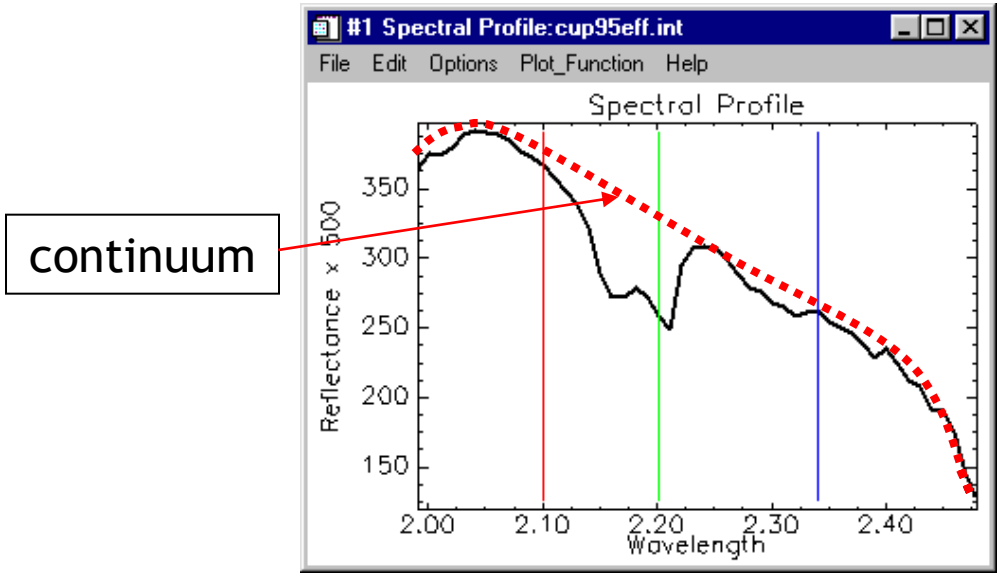
Analyse et classification

Ecole d'été SFTH 2012

Analyse des spectres

Analyse de la forme générale de la courbe : « continuum »

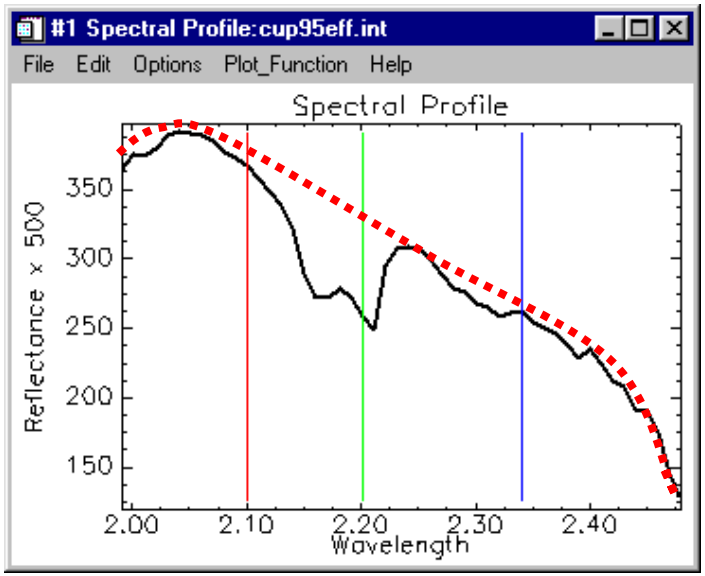
- Roche
- Sols…

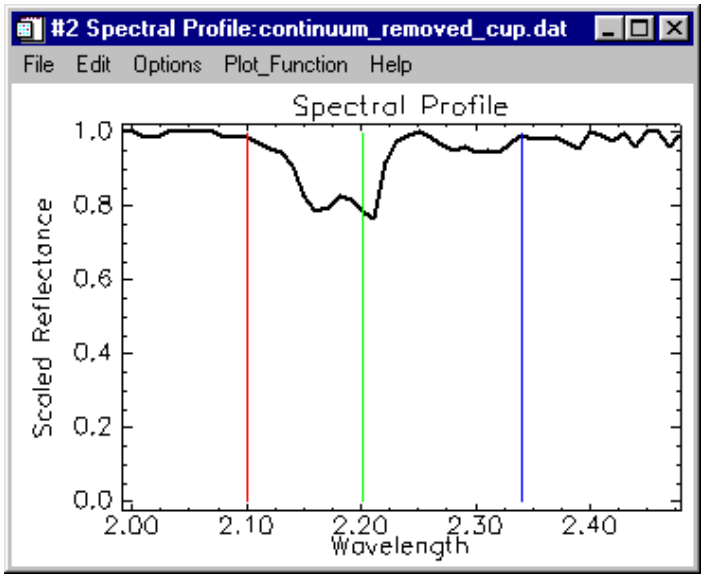


Analyse des spectres

Analyse des dépressions (creux d'absorption), sans tenir compte de l'allure générale de la courbe

- Minéraux…





EXELIS

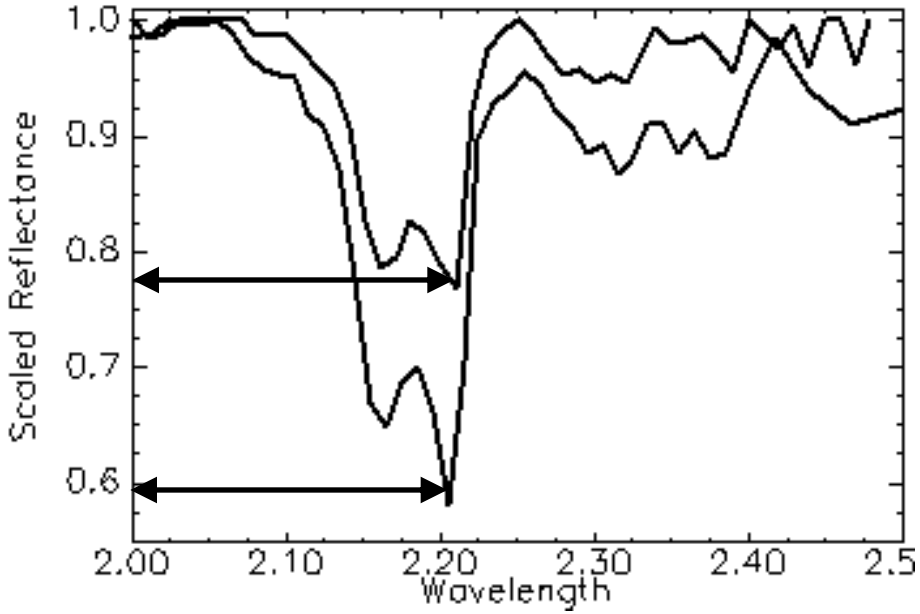
Visual Information Solutions

Méthode SFF « Spectral Feature Fitting »

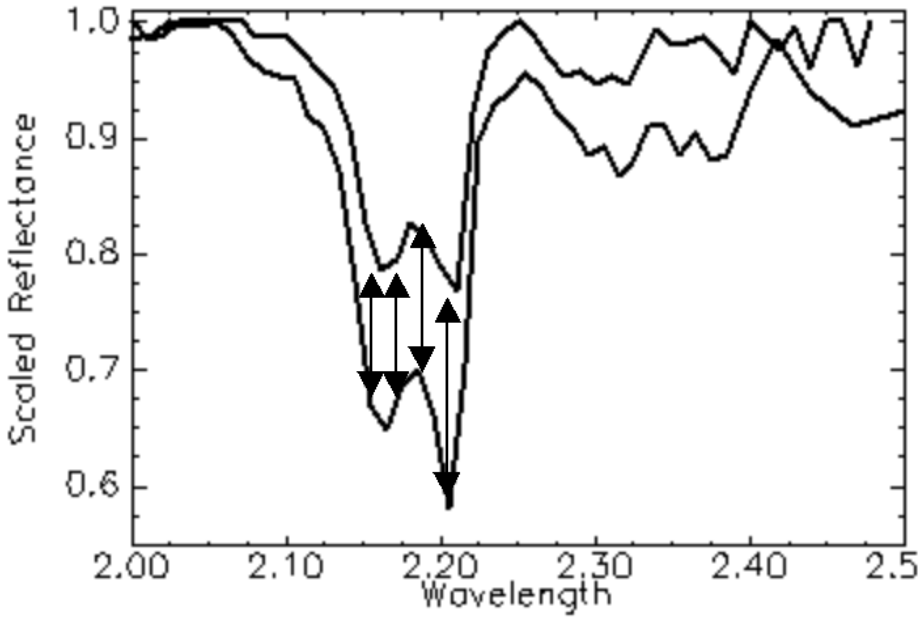
Basée sur la comparaison de courbes spectrales
Analyse des dépressions de la courbe après retrait du continuum
Plusieurs étapes :

- Retrait du continuum
- Image scale : inversement et ajustement des courbes
- Image RMS : calcul de l'erreur résiduelle entre les 2 spectres
- Image fit = image scale / image RMS, met en évidence la profondeur d'absorption liée à l'abondance du matériel

Méthode SFF « Spectral Feature Fitting »



Scale



RMS

EXELIS

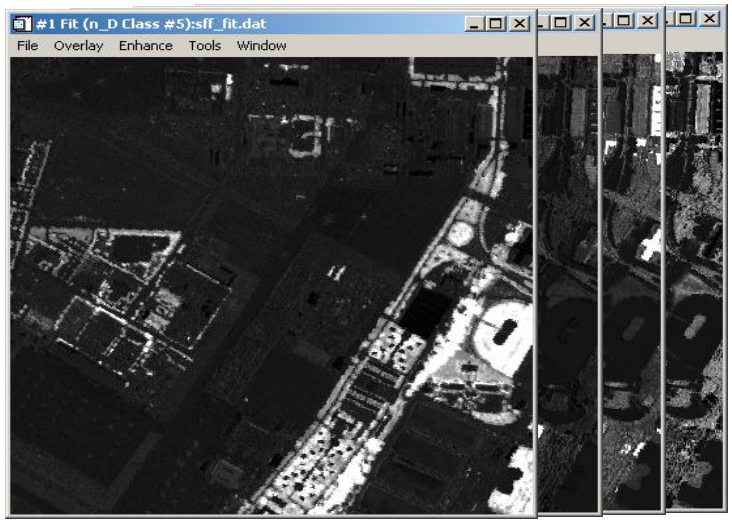
Visual Information Solutions

Méthode SFF « Spectral Feature Fitting »

Résultats pour chaque endmember

- Image scale : pixel clair -> forte ressemblance des 2 spectres
- Image RMS : pixel sombre -> écart faible entre les 2 spectres
- Image fit = Scale / RMS : pixel clair -> grande similitude entre les 2 spectres

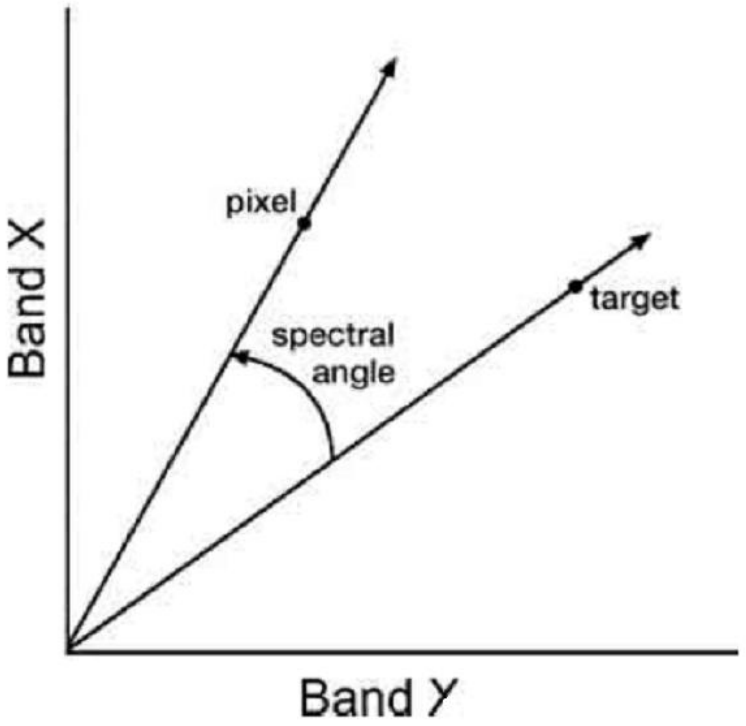
Images fit



Classification SAM

SAM (spectral angle mapper)

- Également utilisé pour les images multispectrales
- Localisation des endmembers sous la forme de nuage de points dans un repère à N-dimensions
- Localisation du point moyen du nuage = cible
- Le pixel est associé à la classe représentée par la cible la plus proche en terme angulaire



EXELIS

Visual Information Solutions

Analyse sous-pixel

Ecole d'été SFTH 2012

Démixage linéaire

Hypothèses :

- La scène comporte peu de matériaux
- Les réponses spectrales sont homogènes pour un matériau
- Les réponses hétérogènes sont dues au mixage des matériaux
- Le spectre d'un pixel est une combinaison linéaire des spectres des matériaux qu'il contient

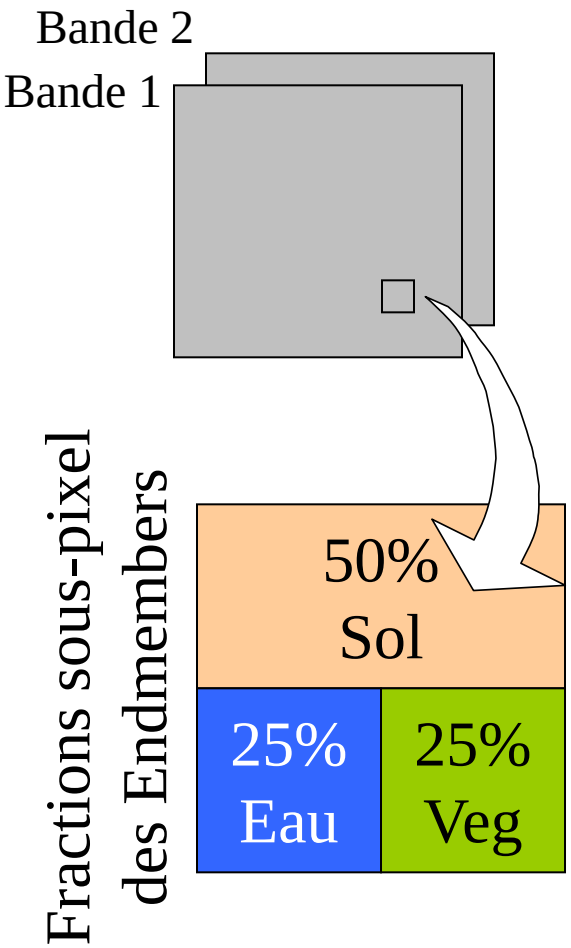
Nécessite de connaître tous les endmembers de la scène

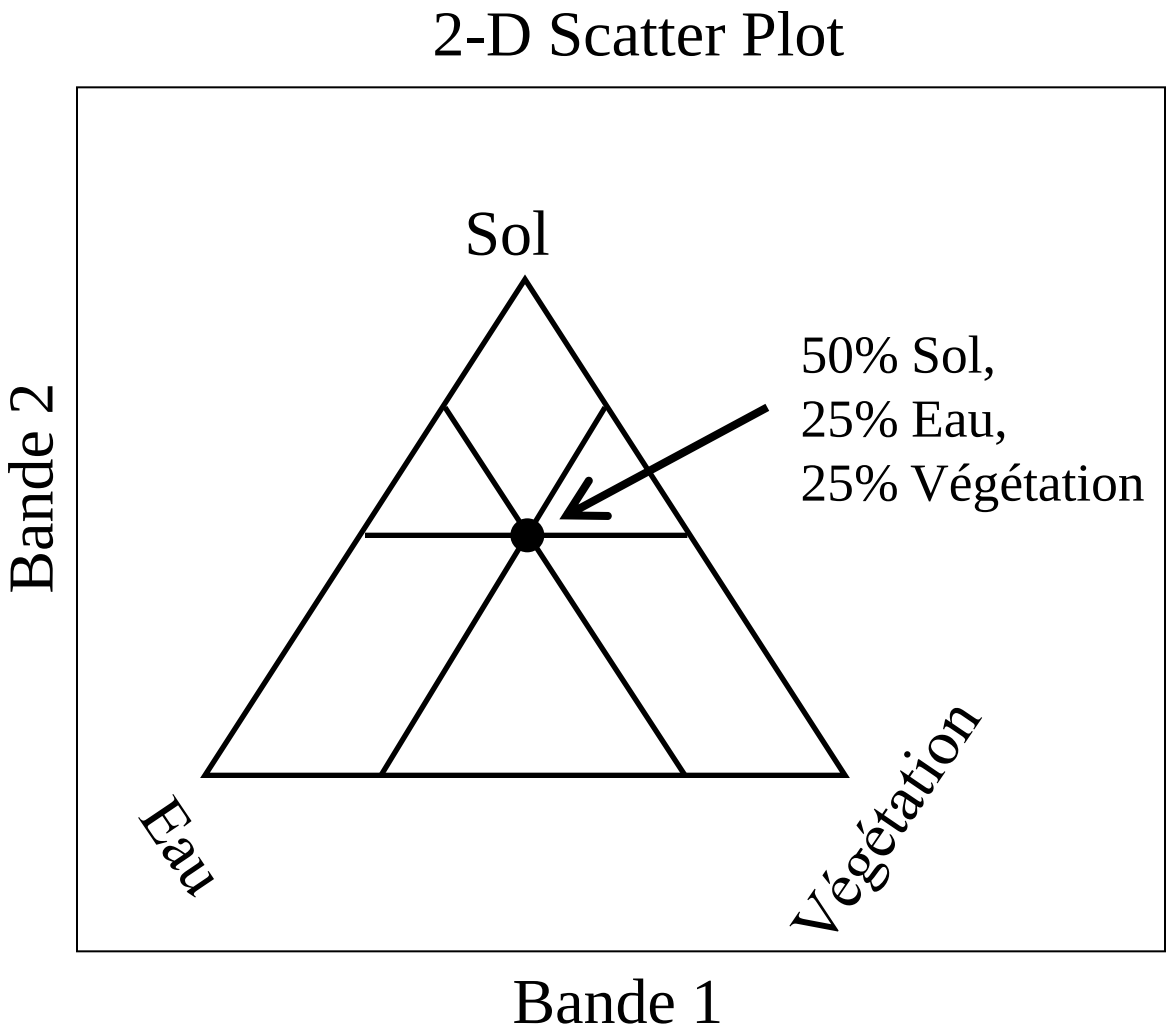
L'outil fournit la quantité de chaque endmember dans un pixel

Résultat pour chaque endmember

- Image : valeur du pixel = % de présence du matériau dans le pixel
- Valeurs aberrantes (<0 ou >1) mauvais choix des endmembers

Analyse sous-pixel





EXELIS
Visual Information Solutions

Equation de démixage linéaire

$$P_1 = F_1*R_{11} + F_2*R_{21} + \ldots F_m*R_{m1}$$
$$P_2 = F_1*R_{12} + F_2*R_{22} + \ldots F_m*R_{m2}$$
etc.
$$P_n = F_1*R_{1n} + F_2*R_{2n} + \ldots F_m*R_{mn}$$

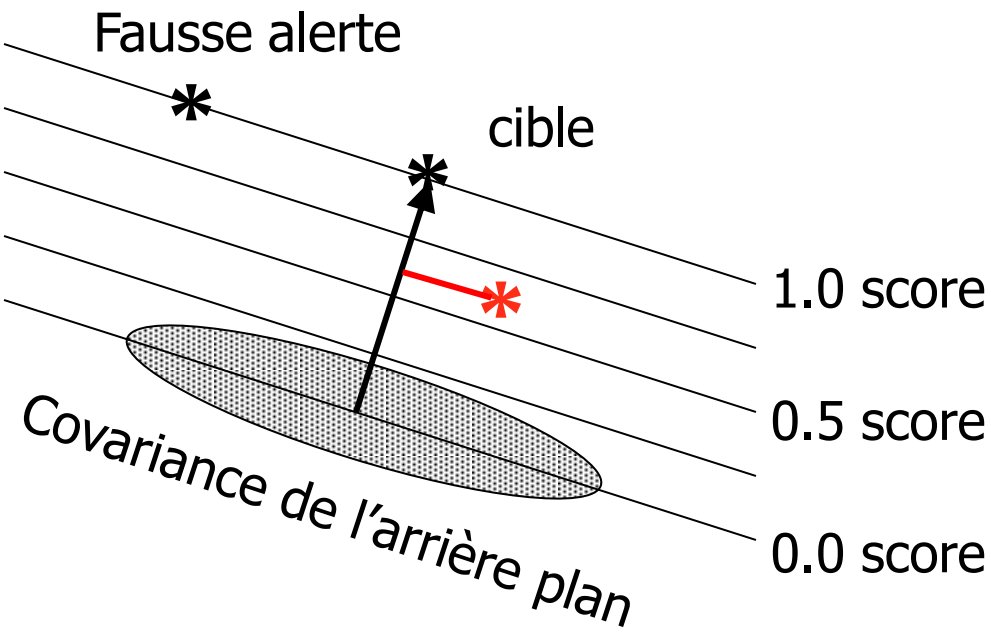
n = *nombre de bandes*
m = *nombre de matériaux*
P_n = *réflectance du pixel pour la bande n*
F_m = *fraction de matériau m dans le pixel*
R_{mn} = *réflectance du matériau m dans la bande n*

MF « Matched filtering »

Démixage partiel : recherche d'un matériau par pixel
Ne nécessite pas de connaître tous les endmembers de l'image
Accentuation de la réponse du matériau recherché et diminution de la réponse de l'arrière plan
La méthode peut cependant engendrer des fausses alertes
Résultat pour chaque endmember

- Carte d'abondance du matériau par pixel en % (1 = pixel pur)

MF « Matched filtering »



Trouver le vecteur qui :

- Passe par la moyenne du nuage de points
- Passe par la cible et la moyenne
- Perpendiculaire à la direction de la plus grande variance
- La mesure MF s'effectue le long de ce vecteur

Toute cible rare peut engendrer une fausse alerte

MTMF « Mixture Tuned Matched Filtering »

Méthode MF avec ajout d'une carte de faisabilité
La carte de faisabilité permet de réduire les fausses alertes engendrées par la méthode MF

- Fausse alerte : valeur élevé dans la carte d'infaisabilité

Création de la carte d'infaisabilité

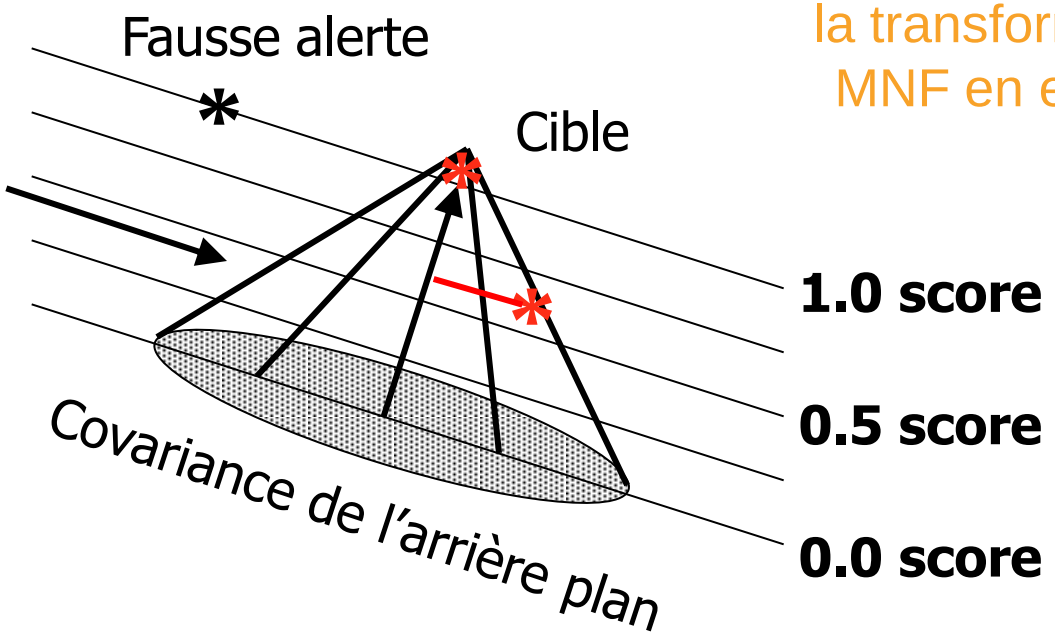
- Création de cônes concentriques autour du vecteur
- Présence de points dans les plus petits cônes = bonne correspondance avec la cible
- A l'extérieur des cônes : fausse alerte

MTMF « Mixture Tuned Matched Filtering »

Rejet des
fausses alertes

Utilise le résultat de
la transformation
MNF en entrée

Calcule une série de
cones concentriques
Cônes d'infaisabilité



La faisabilité de chaque pixel est déterminée par le
cône qu'il intersecte

EXELIS
Visual Information Solutions

EXELIS

Visual Information Solutions

Outils spécialisés et assistants automatiques

Ecole d'été SFTH 2012

Détection de cible avec « BandMax »

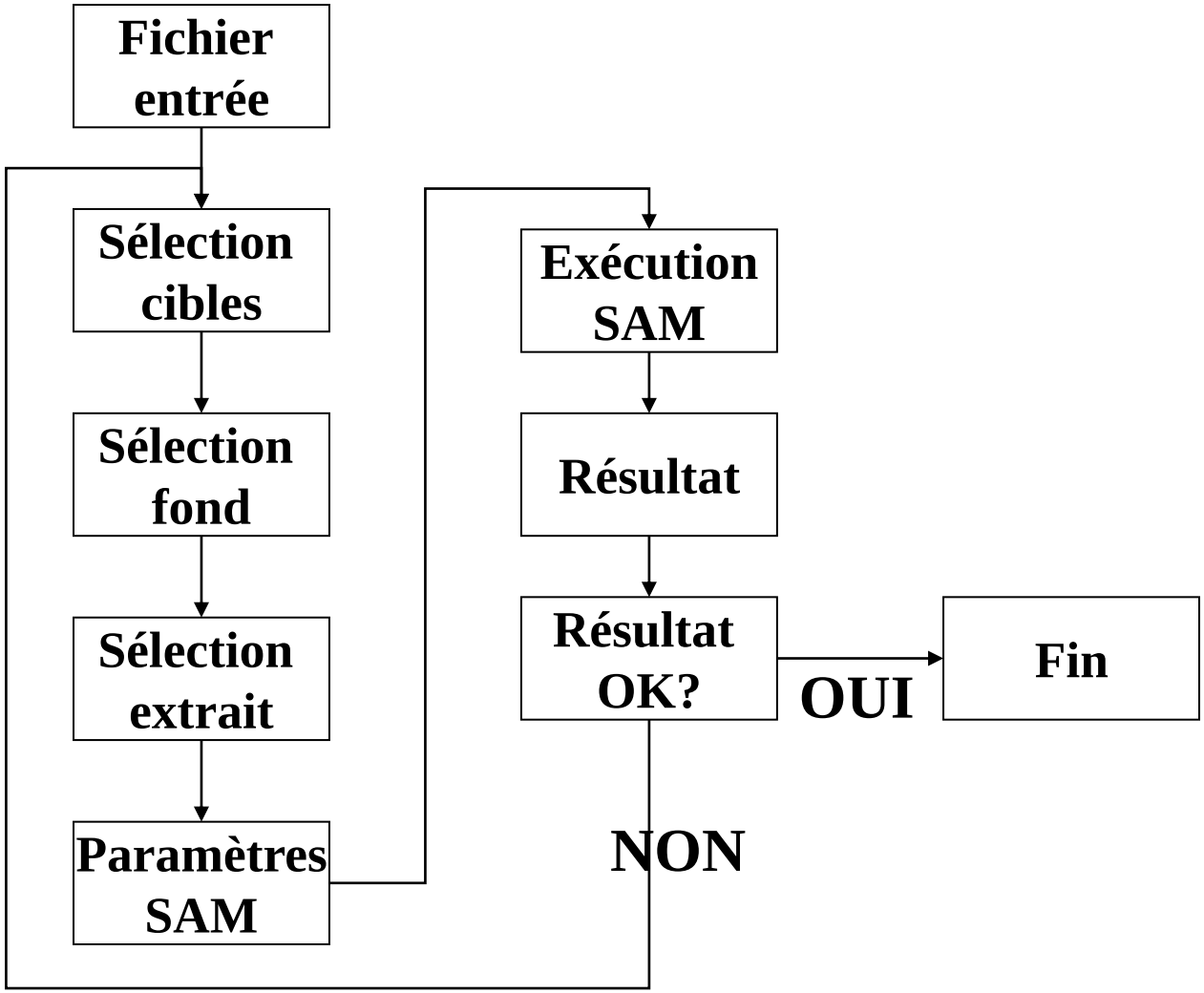
Assistant semi-automatique
Basé sur une classification SAM
Classification améliorée par l'algorithme BandMax

- Détermine les meilleures bandes permettant une séparabilité optimale entre la cible et l'arrière-plan

Algorithme développé par le groupe galiléo (non accessible)
Étapes :

- Sélection des cibles (meilleur résultats avec une seule cible)
- Sélection de l'arrière-plan
- Identification des meilleures bandes
- Classification SAM

Détection de cibles avec « BandMax »



Détection de cible avec « Target detection »

Target detection wizard : assistant semi-automatique
Pour images multi ou hyperspectrales
Etapes :

- Correction atmosphérique
- Sélection de la cible
- Sélection de pixels différents de la cible
- Transformation MNF
- Choix d'une méthode de détection (8 méthodes)
- Prévisualisation
- Filtres : améliorer le rendu et supprimer les fausses alertes

RX Anomaly detection

Assistant semi-automatique

- Teste la couleur d'une zone et la compare avec ses pixels voisins ou avec l'intégralité de l'image
- Pour être efficace les anomalies ne doivent concerner qu'un faible nombre de pixels

Algorithme RXD (Reed-Xiaoli Detector)

- Extrait les pixels qui se distinguent de l'arrière-plan

Algorithme UTD (Uniform Target Detector)

- Extrait l'arrière-plan

RXD + UTD

- Lorsque les anomalies ont une énergie inférieure à l'arrière plan
- Supprime l'arrière plan et réhausse les anomalies

Suppression de la végétation

Supprime la signature spectrale de la végétation
Images multi ou hyperspectrale
Utilise l'information des bandes rouges et proche infrarouge
Optimal sur couvert végétal ouvert et résolution moyenne (30m)