


# Traitement d'images de télédétection

La main à la pâte avec OTB/Monteverdi

jordi.inglada@cesbio.cnes.fr

CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES DE LA BIOSPHERE, TOULOUSE, FRANCE

Ce contenu est dérivé de la formation "Pragmatic Remote Sensing" dispensée par J. Inglada et E. Christophe en juillet 2010 dans le cadre du colloque IGARSS. Il est mis à disposition selon les termes de la licence :

Creative Commons Paternité – Partage à l'Identique 3.0 non transcrit. 



AUF - Marrakech 2011



Introduction à l'ORFEO Toolbox Fonctionnalités L'OTB Un peu d'histoire Motivations Comment ?

## Qu'est-ce que l'ORFEO Toolbox (OTB)

### Dans le cadre du programme ORFEO du CNES

#### Objectif

Faciliter le développement et la validation d'algorithmes

- ▶ Bibliothèque C++ : fournir beaucoup d'algorithmes (pre-traitements, extraction d'informations) avec une interface commune.
- ▶ Logiciel libre : liberté d'utiliser, de modifier, de développer son propre logiciel et le revendre !
- ▶ Multi plate-forme : Windows, Linux, Unix, Mac



AUF - Marrakech 2011



## Objectifs

### Obstacles au traitement des images

- ▶ Lecture des images
- ▶ Accès au méta-données
- ▶ Mise en oeuvre d'algorithmes de l'état de l'art

⇒ pour être capable d'extraire un maximum d'informations, nous avons besoin d'accéder aux données et aux algorithmes,...



AUF - Marrakech 2011



Introduction à l'ORFEO Toolbox Fonctionnalités L'OTB Un peu d'histoire Motivations Comment ?

## Un peu d'histoire

### Le début (2006)

- ▶ Le CNES finance le développement de la bibliothèque.
- ▶ Orienté vers la THR (Pléiades), mais utilisation sur d'autres capteurs aussi.
- ▶ Environ 1,000,000€ sur les 4 premières années ; budget équivalent renouvelé.

### Vers des applications faciles à utiliser (2008)

- ▶ Les interactions avec les utilisateurs ont montré le besoin d'outils pour les non informaticiens.
- ▶ Quelques applications avec IHM graphique disponibles.
- ▶ Plusieurs séances de formation (3-5 jours) en France, Belgique, Madagascar, UNESCO, Hawaii, ... et Marrakech !



AUF - Marrakech 2011



## Motivations

### L'OTB, un succès ?

- ▶ La communauté d'utilisateurs **croît en permanence** (développeurs et utilisateurs)
- ▶ Présentations régulières dans les conférences internationales de télédétection
- ▶ Le CNES continue à soutenir le développement.
- ▶ L'analyse de la valeur du logiciel est très encourageante (cf. Ohloh) : **le recyclage est puissant !**

### Pourquoi faire un logiciel à 1 M€ et le distribuer gratuitement ?

- ▶ Le CNES n'est pas un éditeur de logiciels
- ▶ Un des objectifs est **le soutien de la recherche** : les scientifiques ont besoin de comprendre comment ça marche.
- ▶ Le CNES fait des satellites et doit s'assurer que **les images sont utilisées**



AUF - Marrakech 2011



## Comment ?

### Comment y arriver ?

En utilisant ce qui existe déjà !

### Beaucoup de bibliothèques libres de bonne qualité

- ▶ ITK : architecture du logiciel (streaming, multithreading), beaucoup d'algorithmes de traitement d'images
- ▶ Gdal/Ogr : lecture et écriture de différents formats de données (geotiff, raw, png, jpeg, shapefile, ...)
- ▶ Ossim : modèles géométriques de capteur (Spot, RPC, SAR, ...) et projections cartographiques
- ▶ 6S : corrections radiométriques
- ▶ et beaucoup d'autres : libLAS (lidar), Edison (clustering Mean Shift), libSiftFast (SIFT), Boost (graphes), libSVM (Support Vector Machines)

⇒ **accessibles via une interface commune**



AUF - Marrakech 2011



## Composants disponibles

- ▶ La plupart de formats d'images
- ▶ Corrections géométriques
- ▶ Corrections radiométriques
- ▶ Détection de changements
- ▶ Extraction de primitives
- ▶ Classification

### Documentation

- ▶ Software Guide (+600 pages pdf), et aussi version en ligne
- ▶ Doxygen : documentation pour développeurs



AUF - Marrakech 2011



## Une architecture puissante

### Modulaire

- ▶ Combinaison aisée de différents blocs pour créer de nouvelles fonctionnalités

### Passage à l'échelle

- ▶ Streaming (traitement au fil de l'eau) transparent pour l'utilisateur de la bibliothèque
- ▶ Multithreading (utilisation de plusieurs coeurs de calcul)



AUF - Marrakech 2011

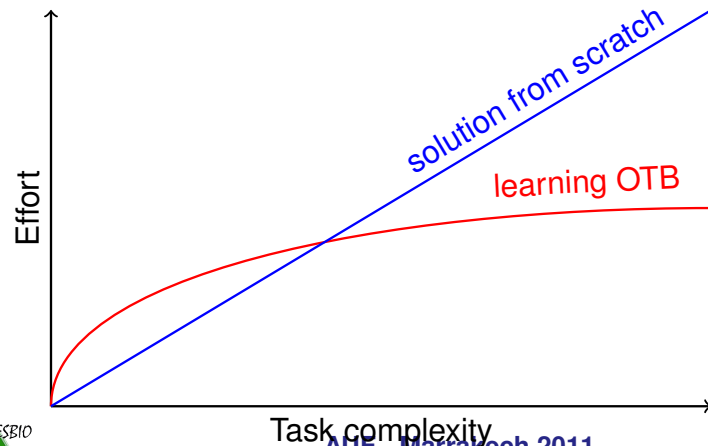


# Courbe d'apprentissage raide

## Concepts de programmation avancée

- ▶ Méta-programmation par templates (programmation générique)
- ▶ Design patterns (Factory, Functors, Smart Pointers, ...)

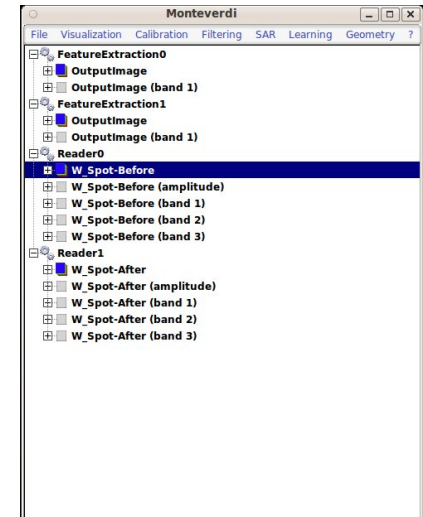
## Courbe d'apprentissage



# Accès facile pour les utilisateurs : Monteverdi

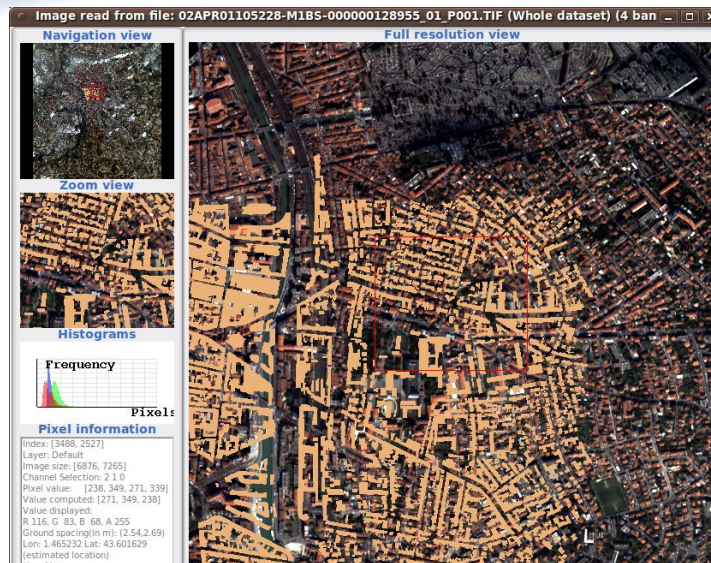
## Architecture modulaire

- ▶ Entrées et sorties standard
- ▶ Facile à personnaliser pour des besoins particuliers
- ▶ Traitement au fil de l'eau et cache de résultats intermédiaires



AUF - Marrakech 2011

# Accès facile pour les utilisateurs : Monteverdi



AUF - Marrakech 2011

# Bindings : accès depuis d'autres langages

## Tout le monde ne programme pas en C++ !

- ▶ Les bindings offrent un accès depuis d'autres langages de programmation
- ▶ **Python** : disponible
- ▶ **Java** : disponible, y compris pour d'autres langages pour la JVM (Clojure, Scala, etc.)
- ▶ **IDL/Envi** : coopération avec ITT VIS pour développer une méthode d'accès à OTB depuis IDL/ENVI (fonctionne mais difficile à mettre en oeuvre)

AUF - Marrakech 2011

## Contenu de la formation

1. Corrections géométriques
2. Corrections radiométriques
3. Extraction de primitives
4. Classification
5. Détection de changements



AUF - Marrakech 2011



## Traitement d'images de télédétection

### Corrections géométriques

jordi.inglada@cesbio.cnes.fr

CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES DE LA BIOSPHERE, TOULOUSE, FRANCE

Ce contenu est dérivé de la formation "Pragmatic Remote Sensing" dispensée par J. Inglada et E. Christophe en juillet 2010 dans le cadre du colloque IGARSS. Il est mis à disposition selon les termes de la licence :

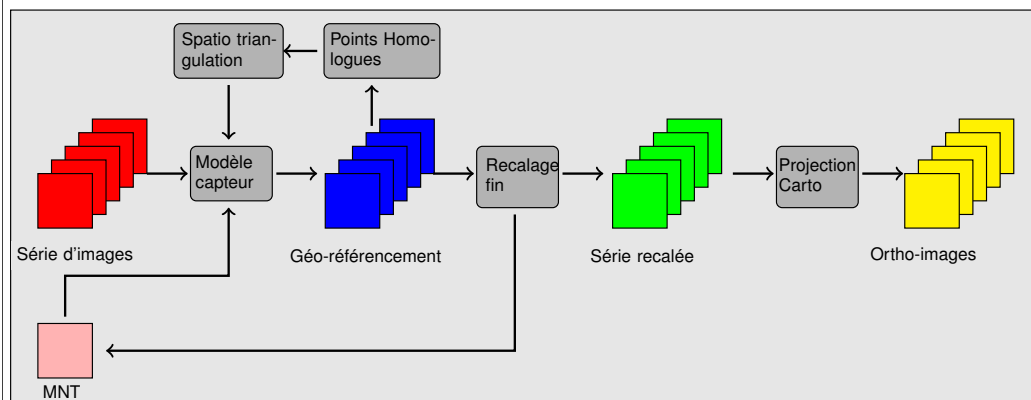
Creative Commons Paternité – Partage à l'Identique 3.0 non transcrit.



AUF - Marrakech 2011



## Introduction



AUF - Marrakech 2011



## Modèles de capteur

### Définition

Transformation de coordonnées entre l'image issue du capteur  $(l, c)$  et les coordonnées au sol  $(X, Y)$  pour chaque pixel :

*Direct*

$$X = f_x(l, c, h, \vec{\theta}) \quad Y = f_y(l, c, h, \vec{\theta})$$

*Inverse*

$$l = g_l(X, Y, h, \vec{\theta}) \quad c = g_c(X, Y, h, \vec{\theta})$$

Où  $\vec{\theta}$  est l'ensemble de paramètres décrivant le capteur et la géométrie d'acquisition.

L'élévation de chaque point (MNT) doit être connue.



AUF - Marrakech 2011



## Modèles de capteur

### Types de modèles

- ▶ Modèles physiques
  - ▶ Rigoureux, complexes, équations fortement non-linéaires
  - ▶ Difficiles à inverser
  - ▶ Les paramètres ont une signification physique
  - ▶ Spécifiques à chaque capteur
- ▶ Modèles analytiques génériques
  - ▶ Ex : polynomiaux, fractions rationnelles, etc.
  - ▶ Moins précis
  - ▶ Faciles à mettre en oeuvre
  - ▶ Les paramètres peuvent ne pas avoir de signification physique



AUF - Marrakech 2011



## Modèles de capteur

### L'approche OTB

- ▶ Utilisation de *factories* : les modèles sont générés automatiquement en utilisant les méta-données des images
- ▶ Modèles disponibles
  - ▶ Fractions rationnelles : Quickbird, Ikonos, WorldView-2
  - ▶ Modèles physiques : SPOT5
  - ▶ Radar : ERS, ASAR, Radarsat, Cosmo Skymed, TerraSAR-X, Palsar



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Ouvrir une image en géométrie capteur
  - ▶ /home/auf/OTB/data/TOULOUSE (image Quickbird de Toulouse)
  - ▶ Choisir le fichier TIF dans l'un des 2 répertoires
2. Afficher l'image
  - ▶ Click droit sur le nom de l'image dans la fenêtre principale de Monteverdi
  - ▶ "Display in viewer"
  - ▶ Attendre la génération du quicklook
3. Observer comment les coordonnées géographiques sont recalculées quand le curseur se déplace
  - ▶ Elles sont mises à jour en appliquant le modèle de capteur créée à partir des méta-données de l'image



AUF - Marrakech 2011



## Modèles de capteur

### Utilisation : ortho-rectification

1. Lecture des méta-données image et création du modèle avec les bons paramètres
2. Définition de la ROI en coordonnées sol (c'est la matrice de pixels de sortie)
3. Balayer les pixels de coordonnées  $(X, Y)$  :
  - 3.1 Obtenir  $h$  à partir du MNT
  - 3.2 Calculer  $(c, l) = G(X, Y, h, \vec{\theta})$
  - 3.3 Interpoler les valeurs des pixels si  $(c, l)$  ne sont pas des valeurs entières



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Geometry → Reproject image
2. Choisir l'image à ortho-rectifier (Panchromatique)
3. Choisir les paramètres
  - ▶ Onglet "Output image"
    - ▶ Par défaut, projection UTM.
    - ▶ Choisir une petite taille (size x, size y) pour que ça aille vite !
  - ▶ Regarder l'onglet "Input image" : l'image en entrée est bien en géométrie capteur.
4. Sauvegarder le résultat



AUF - Marrakech 2011



## Modèles de capteur

Limites de l'approche

- ▶ Un géo-référencement précis nécessite :
  - ▶ Un MNT précis
  - ▶ Des paramètres capteur sans erreur,  $\vec{\theta}$
- ▶ Pour les séries multi-temporelles d'images on a besoin de **recalage fin** :
  - ▶ Précision sous-pixelique
  - ▶ Pour chaque pixel de la scène
- ▶ Les MNT et les méta-données capteur ne fournissent pas cette précision.
- ▶ Solution : utilisation de l'information redondante entre les images de la série.



AUF - Marrakech 2011

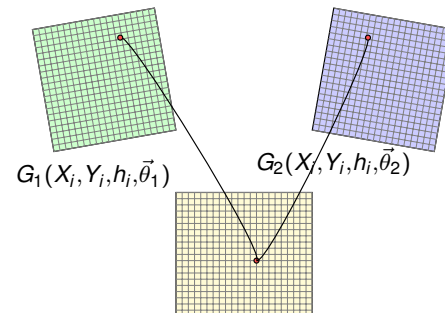


Introduction Modèles Optimisations Spatio-triangulation

## Spatio-triangulation

Position du problème

- ▶ La série d'images est ortho-rectifiée (avec le MNT et les paramètres disponibles).
- ▶ Supposons que des point homologues (PH) peuvent être obtenus aisément :  $PH_i = (X_i, Y_i, h_i)$
- ▶ Pour chaque image et pour chaque point nous pouvons écrire :  $(l_{ij}, c_{ij}) = G_j(X_i, Y_i, h_i, \vec{\theta}_j)$



- ▶ Tout est connu.



AUF - Marrakech 2011



Introduction Modèles Optimisations Spatio-triangulation

## Spatio-triangulation

Affinage du modèle

- ▶ Si nous définissons  $\vec{\theta}_j^R = \vec{\theta}_j + \Delta\vec{\theta}_j$  comme étant les paramètres affinés,  $\Delta\vec{\theta}_j$  ce sont les inconnues du problème d'affinage.
- ▶ Nous avons beaucoup plus d'équations que d'inconnues si nous disposons de beaucoup de PH.
- ▶ Solution par moindres carrés
  - ▶ Nous avons besoin des dérivées du modèle de capteur par rapport à ses paramètres.



AUF - Marrakech 2011





# La main à la pâte

## Recalage manuel de 2 images

- ▶ Monteverdi : Geometry → Homologous points extraction
- ▶ Choisir 2 images avec une zone commune
  - ▶ /home/auf/OTB/data/Examples/QB\_Suburb.png et QB\_SuburbR10X13Y17.png
- ▶ L'IHM permet de choisir la transformation géométrique
  - ▶ Choisir Affine
- ▶ On peut sélectionner des PH dans la zone de zoom et les ajouter à la liste
- ▶ Quand on a choisi plusieurs PH, on peut évaluer la transformation
- ▶ On peut ensuite utiliser le bouton *guess* afin de prédire la position des nouveaux points
- ▶ L'IHM affiche les paramètres de la transformation estimée, l'erreur commise sur chaque point et l'EQM
- ▶ On peut éliminer de la liste les points qui ont le plus d'erreur



AUF - Marrakech 2011



# La main à la pâte

## Projection sur une autre image

- ▶ Monteverdi : Geometry → Superimpose 2 Images
- ▶ Choisir une image à reprojeter
  - ▶ Quickbird Multispectrale en géométrie capteur
- ▶ Choisir une image ortho-rectifiée comme référence
  - ▶ S'assurer que les 2 images ont une zone commune !
  - ▶ Prendre l'extrait ortho de la Quickbird Panchromatique
- ▶ Utiliser le même MNT que celui utilisé pour l'image ortho-rectifiée ou même élévation moyenne.
- ▶ Save/Quit
- ▶ Afficher et voir que l'image est floue !
  - ▶ Nous avons ortho-rectifiée l'image Multispectrale avec la résolution de l'image Panchromatique



AUF - Marrakech 2011



## Traitement d'images de télédétection

### Corrections radiométriques

jordi.inglada@cesbio.cnes.fr

CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES DE LA BIOSPHERE, TOULOUSE, FRANCE

Ce contenu est dérivé de la formation "Pragmatic Remote Sensing" dispensée par J. Inglada et E. Christophe en juillet 2010 dans le cadre du colloque IGARSS. Il est mis à disposition selon les termes de la licence :

Creative Commons Paternité – Partage à l'Identique 3.0 non transcrit.



AUF - Marrakech 2011



## Introduction

### Objectifs

- ▶ Obtenir des mesures physiques à partir des images

### 6S

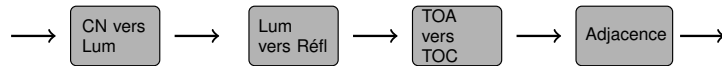
- ▶ Nous utilisons le code de transfert radiatif : <http://6s.ltdri.org/>
- ▶ Code bien testé et validé
- ▶ Traduit automatiquement de Fortran à C
- ▶ Encapsulation transparente dans l'OTB



AUF - Marrakech 2011



## Les corrections radiométriques en 4 étapes



### Enchaînement de filtres

Compatible avec la notion de *pipeline* de l'OTB



AUF - Marrakech 2011



## Du compte numérique vers la luminance

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{\alpha_k} + \beta_k$$

### Objectif

- Transformation du compte numérique en luminance

Utilisation de

```

otb : :ImageToLuminanceImageFilter
filterImageToLuminance->SetAlpha(alpha) ;
filterImageToLuminance->SetBeta(beta) ;
  
```

- $L_{TOA}^k$  est la luminance incidente (en  $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ )
- $X^k$  compte numérique
- $\alpha_k$  gain d'étalonnage pour la bande k
- $\beta_k$  biais d'étalonnage pour la bande k



AUF - Marrakech 2011



## Comment obtenir ces paramètres ?

### Méta-données

- Ces informations accompagnent souvent les images...
- Mais le format des fichiers doit être connu !

### A partir d'un fichier ASCII, ou à la main

```

VectorType alpha(nbofComponent);
alpha.Fill(0);
std::ifstream fin;
fin.open(filename);
double dalpha(0.);
for( unsigned int i=0 ; i < nbofComponent ; i++)
{
    fin >> dalpha;
    alpha[i] = dalpha;
}
fin.close();
  
```



AUF - Marrakech 2011



## De la luminance vers la réflectance

### Objectif

- Transformer la luminance en réflectance

```

Utilisation de otb : :LuminanceToReflectanceImageFilter
filterLumToRef->
SetZenithalSolarAngle(zenithSolar);
filterLumToRef-> SetDay(day);
filterLumToRef-> SetMonth(month);
filterLumToRef->
SetSolarIllumination(solarIllumination);
  
```

$$\rho_{TOA}^k = \frac{\pi \cdot L_{TOA}^k}{E_S^k \cdot \cos(\theta_S) \cdot d/d_0}$$

- $\rho_{TOA}^k$  réflectance
- $\theta_S$  angle solaire zénithal
- $E_S^k$  éclairage solaire au sommet de l'atmosphère à une distance  $d_0$  de la Terre
- $d/d_0$  rapport entre la distance Terre-Soleil au moment de l'acquisition par rapport à la moyenne



AUF - Marrakech 2011





## Du sommet de l'atmosphère au sol

### Objectif

- Corriger les effets atmosphériques

$$\rho_S^{unif} = \frac{A}{1 + S \cdot A}$$

$$A = \frac{\rho_{TOA} - \rho_{atm}}{T(\mu_S) \cdot T(\mu_V) \cdot t_g^{allgas}}$$

- $\rho_{TOA}$  réflectance au sommet de l'atmosphère
- $\rho_S^{unif}$  réflectance au sol sous hypothèse de surface lambertienne et environnement uniforme
- $\rho_{atm}$  réflectance intrinsèque de l'atmosphère
- $t_g^{allgas}$  albédo sphérique
- $T(\mu_S)$  transmittance vers le bas
- $T(\mu_V)$  transmittance vers le haut



AUF - Marrakech 2011



## Du sommet de l'atmosphère au sol

- Utilisation de `otb::ReflectanceToSurfaceReflectanceImageFilter`  
`filterToAtoToC->SetAtmosphericRadiativeTerms(correctionParameters);`
- `otb::AtmosphericCorrectionParametersTo6SAtmosphericRadiativeTerms`  
`parameters->SetSolarZenithalAngle();`  
`parameters->SetSolarAzimuthalAngle();`  
`parameters->SetViewingZenithalAngle();`  
`parameters->SetViewingAzimuthalAngle();`  
`parameters->SetMonth();`  
`parameters->SetDay();`  
`parameters->SetAtmosphericPressure();`  
`parameters->SetWaterVaporAmount();`  
`parameters->SetOzoneAmount();`  
`parameters->SetAerosolModel();`  
`parameters->SetAerosolOptical();`



AUF - Marrakech 2011



## Effets d'adjacence

$$\rho_S = \frac{\rho_S^{unif} \cdot T(\mu_V) - \langle \rho_S \rangle \cdot t_d(\mu_V)}{\exp(-\delta/\mu_V)}$$

### Objectif

- Corriger les effets de voisinage

Utilisation de

```
otb::SurfaceAdjacencyEffect6SCorrectionSchemeFilter
filterAdjacency->SetAtmosphericRadiativeTerms();
filterAdjacency->SetZenithalViewingAngle();
filterAdjacency->SetWindowRadius();
filterAdjacency->SetPixelSpacingInKilometers();
```

- $\rho_S^{unif}$  réflectance au sol sous hypothèse d'environnement uniforme
- $T(\mu_V)$  transmittance vers le haut
- $t_d(\mu_S)$  transmittance diffuse vers le haut
- $\exp(-\delta/\mu_V)$  transmittance directe vers le haut
- $\langle \rho_S \rangle$  proportion de la contribution de l'environnement à la réflectance du pixel observé



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Calibration → Optical calibration
2. Choisir une image : Quickbird Multispectrale
  - Le logiciel met un certain temps à extraire les méta-données et à calculer les paramètres de correction
3. Regarder les paramètres extraits des méta-données
4. Appliquer la correction
  - Utiliser "Extract ROI" pour sélectionner une petite région de l'image pour que ça aille plus vite
  - Extraire de la même façon des ROI sur les différentes sorties du module d'étalonnage
5. Comparer les différentes valeurs obtenues pour un même pixel

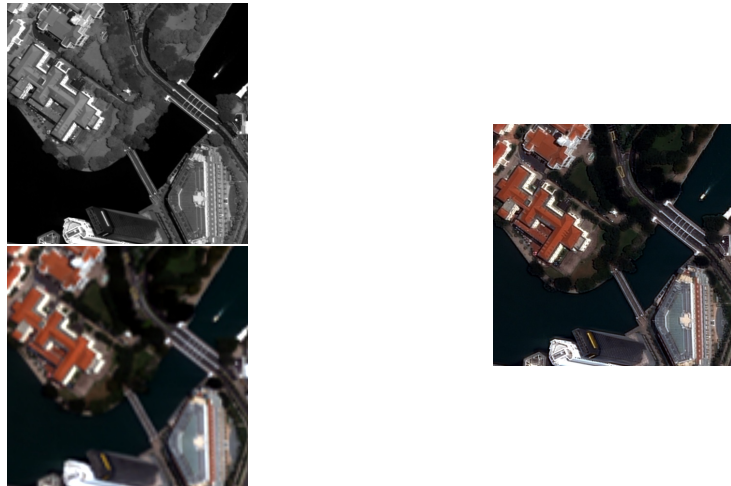


AUF - Marrakech 2011



## Fusion

Ajouter du contenu spectral à une image à haute résolution



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Ouvrir 2 images (Pan et XS) de même géométrie
  - ▶ Ortho-rectification du Pan (zone  $1000 \times 1000$ )
  - ▶ Superposition du XS sur l'ortho Pan
2. Monteverdi : Filtering → Pan Sharpening → Simple RCS



AUF - Marrakech 2011



## Traitement d'images de télédétection

Extraction de primitives

jordi.inglada@cesbio.cnes.fr

CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES DE LA BIOSPHERE, TOULOUSE, FRANCE

Ce contenu est dérivé de la formation "Pragmatic Remote Sensing" dispensée par J. Inglada et E. Christophe en juillet 2010 dans le cadre du colloque IGARSS. Il est mis à disposition selon les termes de la licence :

Creative Commons Paternité – Partage à l'Identique 3.0 non transcrit.



AUF - Marrakech 2011



## Primitives

### Connaissance a priori

- ▶ Les primitives constituent une façon simple d'introduire de la connaissance a priori sur le contenu des images
- ▶ Familles de primitives : radiométriques, textures, . . .
- ▶ Construction de primitives sur mesure pour une application donnée




AUF - Marrakech 2011



## Indices radiométriques

## Indice de végétation NDVI : Normalized Difference Vegetation Index [1]

$$\text{NDVI} = \frac{L_{\text{NIR}} - L_r}{L_{\text{NIR}} + L_r} \quad (1)$$

 J. W. Rouse. "Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation," *Type ii report, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, USA*, 1973. 12.1.1









AUF - Marrakech 2011



## Indices de végétation 1/3

RVI	Ratio Vegetation Index [1]
PVI	Perpendicular Vegetation Index [2, 3]
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index [4]
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index [6, 5]

-  R. L. Pearson and L. D. Miller. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, pawnee national grasslands, colorado. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment II*, pages 1355–1379, 1972.
-  A. J. Richardson and C. L. Wiegand. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12) :1541–1552, 1977.
-  C. L. Wiegand, A. J. Richardson, D. E. Escobar, and A. H. Gerbermann. Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment*, 35 :105–119, 1991.
-  A. R. Huete. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25 :295–309, 1988.
-  E. Baret and G. Guyot. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35 :161–173, 1991.
-  E. Baret, G. Guyot, and D. J. Major. TSAVI : A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In *Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing, Vancouver, Canada*, pages 1355–1358, 1989.








AUF - Marrakech 2011



## Indices de végétation 2/3

MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index [1]
MSAVI2	Modified Soil Adjusted Vegetation Index [1]
GEMI	Global Environment Monitoring Index [2]
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index [3, 4]
AVI	Angular Vegetation Index [5]

-  J. Qi, A. . Chehbouni, A. Huete, Y. Kerr, and S. Sorooshian. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 47 :1–25, 1994.
-  B. Pinty and M. M. Verstraete. GEMI : a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101 :15–20, 1992.
-  J. Clevers. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 25 :53–69, 1988.
-  J. Clevers. Application of the wdvi in estimating lai at the generative stage of barley. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 46(1) :37–47, 1991.
-  S. Plummer, P. North, and S. Briggs. The Angular Vegetation Index (AVI) : an atmospherically resistant index for the Second Along-Track Scanning Radiometer (ATSR-2). In *Sixth International Symposium on Physical Measurements and Spectral Signatures in Remote Sensing, Val d'Isere*, 1994.








AUF - Marrakech 2011



## Indices de végétation 3/3

ARVI	Atmospherically Resistant Vegetation Index [1]
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index [1]
EVI	Enhanced Vegetation Index [2, 3]
IPVI	Infrared Percentage Vegetation Index [4]
TNDVI	Transformed NDVI [5]

-  Y. J. Kaufman and D. Tanré. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(2) :261–270, Mar. 1992.
-  A. R. Huete, C. Justice, and H. Liu. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49 :224–234, 1994.
-  C. O. Justice, et al. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) : Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 :1–22, 1998.
-  R. E. Crippen. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34(1) :71–73, 1990.
-  D. W. Deering, J. W. Rouse, R. H. Haas, and H. H. Schell. Measuring forage production of grazing units from Landsat-MSS data. In *Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of the Environment. ERIM, Ann Arbor, Michigan, USA*, pages 1169–1198, 1975.



AUF - Marrakech 2011



## Exemple : NDVI



AUF - Marrakech 2011



## Indices de sol

IR	Redness Index [1]
IC	Color Index [1]
IB	Brilliance Index [2]
IB2	Brilliance Index [2]



P. et al. Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région côtière nord-ouest de l'Egypte : application aux données satellitaires Spot. In *2ème Journées de Télédétection : Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales*, pages 27–38. ORSTOM, Collection Colloques et Séminaires, Paris, Dec. 1990.



E. Nicoloyanni. Un indice de changement diachronique appliqué deux scènes Landsat MSS sur Athènes (grèce). *International Journal of Remote Sensing*, 11(9) :1617–1623, 1990.



AUF - Marrakech 2011



## Exemple : IC



AUF - Marrakech 2011



## Indices d'eau

SRWI	Simple Ratio Water Index [1]
NDWI	Normalized Difference Water Index [2]
NDWI2	Normalized Difference Water Index [3]
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index [4]
NDPI	Normalized Difference Pond Index [5]
NDTI	Normalized Difference Turbidity Index [5]
SA	Spectral Angle



P. J. Zarco-Tejada and S. Ustin. Modeling canopy water content for carbon estimates from MODIS data at land EOS validation sites. In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '01*, pages 342–344, 2001.



B. cai Gao. NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3) :257–266, Dec. 1996.



S. K. McFeeters. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7) :1425–1432, 1996.



H. Xu. Modification of normalised difference water index (ndwi) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14) :3025–3033, 2006.



J. Lacaux, Y. T. and C. Vignolles, J. Ndione, and M. Lafayec. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing : Application to rift valley fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, 106(1) :66–74, 2007.



AUF - Marrakech 2011





## Exemple : NDWI2



AUF - Marrakech 2011



## Indices de bâti

NDBI	Normalized Difference Built Up Index [1]
ISU	Indice de Surfaces Bâties [2]



Y. Z. J. G. S. Ni. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3) :583–594, 2003.



A. Abdellaoui and A. Rougab. Caractérisation de la réponse du bâti : application au complexe urbain de Blida (Algérie). In *Télédétection des milieux urbains et périurbains, AUPELF - UREF, Actes des sixièmes Journées scientifiques du réseau Télédétection de l'AUF*, pages 47–64, 1997.



AUF - Marrakech 2011



## Texture

Énergie

$$f_1 = \sum_{i,j} g(i,j)^2$$

Entropie

$$f_2 = - \sum_{i,j} g(i,j) \log_2 g(i,j), \text{ or } 0 \text{ if } g(i,j) = 0$$

Corrélation

$$f_3 = \sum_{i,j} \frac{(i-\mu)(j-\mu)g(i,j)}{\sigma^2}$$

Moment de Différence

$$f_4 = \sum_{i,j} \frac{1}{1+(i-j)^2} g(i,j)$$

Inertie (Contraste)

$$f_5 = \sum_{i,j} (i-j)^2 g(i,j)$$

Cluster Shade

$$f_6 = \sum_{i,j} ((i-\mu) + (j-\mu))^3 g(i,j)$$

Cluster Prominence

$$f_7 = \sum_{i,j} ((i-\mu) + (j-\mu))^4 g(i,j)$$

Corrélation de Haralick

$$f_8 = \frac{\sum_{i,j} (i,j) g(i,j) - \mu_i^2}{\sigma_i^2}$$



Robert M. Haralick, K. Shanmugam, and Its'hak Dinstein, "Textural features for image classification," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3, no. 6, pp. 610–621, Nov 1973.



AUF - Marrakech 2011



## Exemple : Inertie sur la bande verte

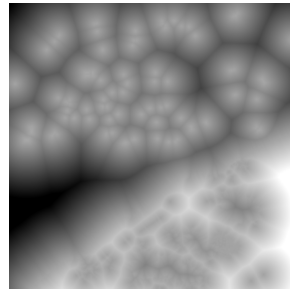
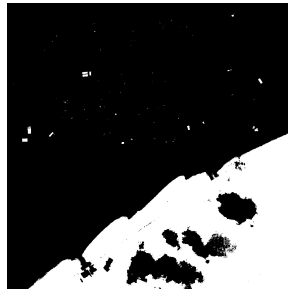


AUF - Marrakech 2011



## Combinaison de primitives

Exemple : distance à l'eau



AUF - Marrakech 2011



Intro Non-supervisé Supervisé Orienté objet

## Traitement d'images de télédétection

### Extraction de primitives

jordi.inglada@cesbio.cnes.fr

CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES DE LA BIOSPHERE, TOULOUSE, FRANCE

Ce contenu est dérivé de la formation "Pragmatic Remote Sensing" dispensée par J. Inglada et E. Christophe en juillet 2010 dans le cadre du colloque IGARSS. Il est mis à disposition selon les termes de la licence :

Creative Commons Paternité – Partage à l'Identique 3.0 non transcrit.



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Filtering → Feature extraction
2. Choisir une image
  - ▶ /home/auf/OTB/Data/Examples/qb\_RoadExtract.tif
3. Choisir une primitive
4. Essayer différents paramètres et regarder les résultats
5. Utiliser l'onglet "output" pour sélectionner les primitives utiles
6. Générer l'image de primitives



AUF - Marrakech 2011



Intro Non-supervisé Supervisé Orienté objet

## La classification d'images

- ▶ Définition : procédure par laquelle on attribue une étiquette aux objets (pixels de l'image)
- ▶ Supervisée
- ▶ Non-supervisée
- ▶ Orientée pixel
- ▶ Orientée objet



AUF - Marrakech 2011





## Données pour la classification

- ▶ Images (réflectances)
- ▶ Primitives
  - ▶ Indices radiométriques : NDVI, brillance, couleur, angle spectral, etc.
  - ▶ Statistiques, textures, etc.
  - ▶ Transformations : ACP, MNF, ondelettes, etc.
- ▶ Données exogènes
  - ▶ MNT, cartes, etc.



AUF - Marrakech 2011



## La classification en 4 étapes

- ▶ Sélection des attributs pertinents (primitives, etc.)
- ▶ Création d'un vecteur d'attributs par pixel
- ▶ Choix de l'étiquette de la classe (dans le cas supervisé)
- ▶ Apprentissage du classifieur



AUF - Marrakech 2011



## Classification non-supervisée

- ▶ Aussi appelée *clustering*
- ▶ Nécessite une interprétation des résultats (reconnaissance des classes)
  - ▶ Les étiquettes des classes sont des nombres (1, 2, ...)
- ▶ Pas besoin de vérité terrain ou d'exemples
  - ▶ Le nombre de classes est souvent choisi à la main
  - ▶ Autres paramètres sont aussi nécessaires
- ▶ Exemples : k-moyennes, ISO-Data, carte de Kohonen

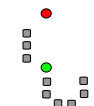


AUF - Marrakech 2011

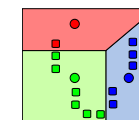


## Exemple : K-moyennes

1. les k "moyennes" initiales sont choisies aléatoirement.



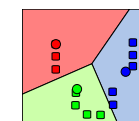
2. k clusters sont créés en associant chaque observation avec la moyenne la plus proche. Les partitions représentent le diagramme de Voronoï généré par les moyennes.



3. Le centre de chaque classe devient la nouvelle moyenne.



Les étapes 2 et 3 sont répétées jusqu'à la convergence.



Images : Wikipedia

AUF - Marrakech 2011



## Exemple : K-moyennes à 5 classes



AUF - Marrakech 2011



## Classification supervisée

- ▶ Nécessite des exemples ou une vérité terrain
- ▶ Les exemples peuvent avoir des étiquettes thématiques
  - ▶ Différence entre occupation et utilisation des sols
- ▶ Exemples : réseaux de neurones, maximum de vraisemblance, Support Vector Machines



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Learning  $\rightarrow$  KMeans Clustering
2. Choisir une image
3. On peut utiliser seulement une fraction des pixels pour estimer les centroïdes
4. Choisir le nombre de classes
5. Fixer le nombre d'itérations et le seuil de convergence

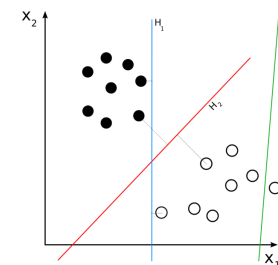


AUF - Marrakech 2011

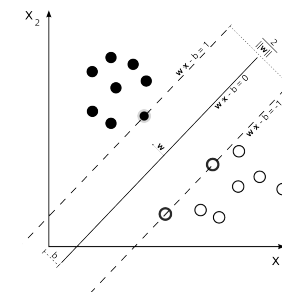


## Exemple : SVM

H3 (vert) ne sépare pas les 2 classes.  
H1 (bleu) OK, mais petite marge.  
H2 (rouge) marge maximale.



Hyperplan à marge maximale  
SVM appris avec des échantillons de 2 classes.  
Échantillons dans la marge : vecteurs support.



Images : Wikipedia

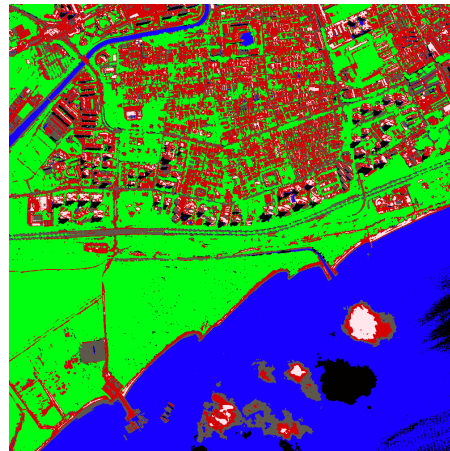


AUF - Marrakech 2011



## Exemple : SVM à 6 classes

Eau, végétation, bâti, routes, nuages, ombres



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

1. Monteverdi : Learning → SVM Classification
2. Choisir l'image à classer
3. Ajouter une classe
  - ▶ On peut lui donner un nom et une couleur
4. Choisir des échantillons pour chaque classe
  - ▶ Tracer des polygones et utiliser *End Polygon* pour les fermer
  - ▶ On peut associer les polygones aux ensembles d'apprentissage et de test ; ou choisir une sélection aléatoire
5. Learn
6. Validate : affiche la matrice de confusion
7. Display : affichage de l'image classée



AUF - Marrakech 2011



## Classification orientée objet

- ▶ Les pixels peuvent ne pas être appropriés pour décrire les classes d'intérêt
  - ▶ la forme, la taille et d'autres caractéristiques des régions peuvent être plus pertinentes
- ▶ Nous avons besoin de fournir au classifieur un ensemble de régions
  - ▶ Segmentation d'images
- ▶ Et leurs caractéristiques
  - ▶ Calcul de primitives par région
- ▶ Possibilité de faire de l'apprentissage actif



AUF - Marrakech 2011



## Pas de main à la pâte

Mais une démo si on a le temps !



AUF - Marrakech 2011




## Traitement d'images de télédétection

### Détection de changements

jordi.inglada@cesbio.cnes.fr

CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES DE LA BIOSPHERE, TOULOUSE, FRANCE

Ce contenu est dérivé de la formation "Pragmatic Remote Sensing" dispensée par J. Inglada et E. Christophe en juillet 2010 dans le cadre du colloque IGARSS. Il est mis à disposition selon les termes de la licence :

Creative Commons Paternité – Partage à l'Identique 3.0 non transcrit. 



AUF - Marrakech 2011



## Approches possibles

- ▶ Stratégie 1 : détecteurs simples  
Production d'une image de vraisemblance de changement (différences, ratios, etc.) et seuillage pour produire une carte binaire.
- ▶ Stratégie 2 : Comparaison post-classification  
Génération de 2 cartes d'occupation des sols (une pour chaque date) et comparaison des classes.
- ▶ Stratégie 3 : Classification conjointe  
Génération de la carte de changements directement à partir de la classification conjointe des 2 images.



AUF - Marrakech 2011



## Détecteurs disponibles

- ▶ Différence pixel à pixel des valeurs moyennes dans les voisinages :

$$I_D(i, j) = I_2(i, j) - I_1(i, j). \quad (1)$$

- ▶ Ratio de moyennes locales :

$$I_R(i, j) = 1 - \min \left( \frac{I_2(i, j)}{I_1(i, j)}, \frac{I_1(i, j)}{I_2(i, j)} \right). \quad (2)$$

- ▶ Corrélation locale :

$$I_\rho(i, j) = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i,j} (I_1(i, j) - m_{I_1})(I_2(i, j) - m_{I_2})}{\sigma_{I_1} \sigma_{I_2}} \quad (3)$$

- ▶ Distance de Kullback-Leibler entre les distributions locales
- ▶ Plusieurs versions de l'information mutuelle



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

### Affichage des différences

1. Images : SpotAfter et SpotBefore dans le dossier /home/auf/OTB/data/Examples
2. Monteverdi : File → Concatenate Images
3. Choisir les amplitudes des 2 images et construire 1 image à 2 bandes
4. Monteverdi : Visualization → Viewer
5. Choisir l'image à 2 bandes
6. Dans l'onglet *Setup*, choisir *RGB composition mode* et prendre 1,2,2.
7. Interpréter les couleurs observées
8. La même chose pourrait être faite en utilisant des images de primitives



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

### Seuillage des différences

1. Monteverdi : Filtering → Band Math
2. Choisir les amplitudes des 2 images et calculer une différence
3. Monteverdi : Filtering → Threshold
4. Choisir l'image de différences et appliquer différents seuils
5. La même chose pourrait être faite avec des ratios
6. La même chose pourrait être faite en utilisant des images de primitives



AUF - Marrakech 2011



## Détection de changements interactive

- ▶ Génération de cartes de changements binaires en utilisant une IHM
- ▶ Utilise des détecteurs simples en entrée
- ▶ L'opérateur donne des exemples de *changement* et *non-changement*
- ▶ Classification supervisée par SVM



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

### Classification conjointe

1. Monteverdi : Filtering → Change Detection
2. Choisir les 2 images à traiter
  - ▶ Images à 2 dates différentes
3. Décocher *Use Change Detectors*
4. Utiliser les boutons *Changed/Unchanged Class* pour choisir chacune des classes
5. Tracer des polygones sur les images pour construire les échantillons d'apprentissage
6. Le bouton *End Polygon* sert à fermer les polygones
7. Après avoir sélectionné plusieurs polygones par classe cliquer sur *Learn*
8. Le bouton *Display Results* permet d'afficher les résultats



AUF - Marrakech 2011



## La main à la pâte

### Classification conjointe avec détecteurs de changement

1. Monteverdi : Filtering → Change Detection
2. Choisir les 2 images à traiter
  - ▶ Images à 2 dates différentes
3. S'assurer que la case *Use Change Detectors* est cochée
4. Procéder comme dans l'exercice précédent



AUF - Marrakech 2011



# La main à la pâte

Classification conjointe avec primitives

1. Monteverdi : Filtering → Change Detection
2. Choisir les 2 images à traiter
  - ▶ Images de primitives à 2 dates différentes
3. Procéder comme dans l'exercice précédent

