



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

r e t o u r s u r i n n o v a t i o n

www.onera.fr

L'imagerie hyperspectrale en milieu urbain

X. Briottet (ONERA), C. Weber (LIVE CNRS-UdS), K. Adeline (ONERA)

Plan de la présentation

Quelles sont les thématiques abordées dans les milieux urbains?
Qu'apporte l'imagerie hyperspectrale dans ces thématiques?
Gain par rapport à l'imagerie multispectrale
Quelle résolution spectrale? Apport du SWIR?
Quelle résolution spatiale?
Intérêt d'une voie PA
Spécificités des milieux urbains
...heureusement des solutions existent : prétraitement des données pour
estimer les propriétés optiques
...pour caractériser le type de matériau
Conclusion

Quelles sont les thématiques abordées dans les milieux urbains?

Cartographie

- Suivi de la croissance des milieux urbains : vitesse, densité, structures, surfaces imperméables, utilisation des surfaces, impact des événements climatiques (tremblements de terre, inondations...)
- Suivi des changements en zones périurbaines : conversion des terres agricoles, biodiversité

Plan Climat

- Suivi de l'utilisation des sols et sursols influençant la climatologie urbaine
- Sols imperméables : importants pour la gestion des eaux de ruissellement et les structures d'écoulement ; pour la climatologie urbaine; les conditions bio thermiques des citadins...
- Caractérisation thermique et radiative des matériaux de couverture (toits) et des murs : réchauffement des espaces urbains

Biodiversité urbaine

- Biodiversité ordinaire : localisation, identification et suivi des espèces [RUILIANG PU, 2009], gestion des espaces [Wania, 2007]
- Suivi des trames vertes et bleues (Agenda 21, Plan Climat...)

Surveillance

- Détection de véhicules, Suivi de véhicule [Kerekes, 2009]

Roberta Balstad Miller, Christopher Small, 2003, Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy Environmental Science & Policy 6 (2003) 129-137

M. Netzband a , C. L. Redmana , W. L. Stefanov, CHALLENGES FOR APPLIED REMOTE SENSING SCIENCE IN THE URBAN ENVIRONMENT, ISPRS **Commission VIII, WG** Lu D., Hetrick S., Moran E., Lid G., Detection of urban expansion in an urban-rural landscape with multitemporal QuickBird images, Journal of Applied Remote Sensing, Vol. 4, 041880 (23 September 2010)

Kerekes J. ; Pogorzala D.; Parkes J.; Shaw A.; Rahnb D., Hyperspectral target detection using multiple platform cuing, 2009 (IEEE WHISPERS). Grenoble, France

Shanshan Li; Bing Zhang; Lianru Gao; Xu Sun, Small objects detection of hyperspectral image in urban areas, 2009 Joint Urban Remote Sensing Event. Shanghai, China

RUILIANG PU, Broadleaf species recognition with in situ hyperspectral data, IJRS, Vol. 30, No. 11, 10 June 2009, 2759-2779

Wania A.; Weber C., Hyperspectral imagery and urban green observation, 2007 Urban Remote Sensing Joint Event. Paris, France

Qu'apporte l'imagerie hyperspectrale dans ces thématiques?

Capacités spectrales plus larges (domaine et résolution spectrale):

- **Caractérisation des matériaux : matériaux urbains** [Ben Dor, 2001], **taux d'imperméabilisation** [Gamba, P., 2004], **analyse de structures de construction** [Chanussot, 2006]. [Benediktsson, 2005]. [Heiden, 2001], [Fiumi, 2001].
- **Caractérisation des végétaux : Etat sanitaire, espèces végétales** [Weber, 20??], **humidité**, [E. Schöpfer, 2004], [Xiao, 1999].
- **Caractérisation de l'atmosphère : vapeur d'eau** [Green, 2000], **aérosols** [Thomas, 2010]

E. Ben-Dor, R. Lugassi, R. Richter, H. Saaroni, and A. Muller, "Quantitative approach for monitoring the urban heat island effects, using hyperspectral remote sensing," in *Proc. IGARSS, vol. 6, Sydney, Australia*, July 2001, pp. 2541-2546

Gamba, P., Dell'Acqua, F., Ferrari, A., Palmason, J. A., Benediktsson, J. A., & Arnason, J., (2004). Exploiting spectral and spatial information in hyperspectral urban data with high resolution. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1, 322-326.

E. Schöpfer, S. Lang, T. Blaschke, A., 2004, "GREEN INDEX" INCORPORATING REMOTE SENSING AND CITIZEN'S PERCEPTION OF GREEN SPACE.

<http://www.stadtenwicklung.berlin.de/agenda21/de/service/download/Agendaentwurf21April04.pdf>;

Q. Xiao, S. L. Austin, E. G. McPherson, and P. J. Peper, "Characterization of the structure and species composition of urban trees using high resolution AVIRIS data," in *Proc. AVIRIS Workshop, Pasadena, CA*, 1999.

Chanussot, J., Benediktsson, J. A., & Fauvel, M. (2006). Classification of remote sensing images from urban areas using a fuzzy probabilistic model. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, 40-44;

Benediktsson, J. A., Palmason, J. A., & Sveinsson, J. R. (2005). Classification of hyperspectral data from urban areas based on extended morphological profiles. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42, 480-491;

Heiden, U., Roessner, S. and Segl, K., 2001. Potential of hyperspectral hmap data for material oriented identification of urban surfaces. In: *Remote Sensing of Urban Areas, Regensburger Geographische Schriften*, Vol. 35.,

L. Fiumi, "Evaluation of MIVIS hyperspectral data for mapping covering materials," in *Proc. IEEE/ISPRS Joint Workshop Data Fusion and Remote Sensing Over Urban Areas, Rome, Italy, Nov. 2001*, pp. 324-327.

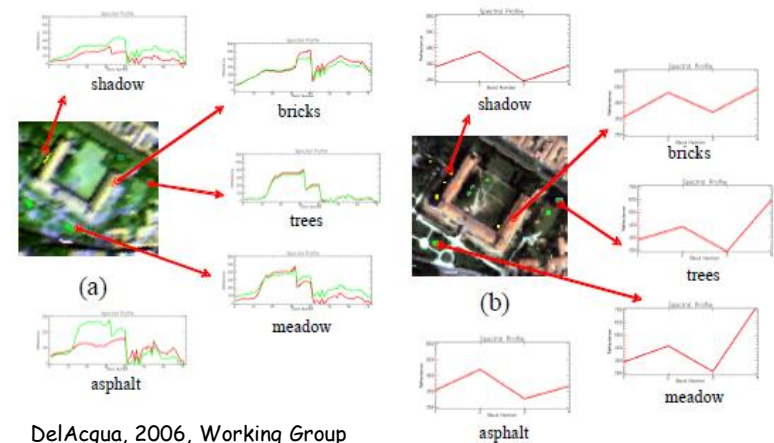
R. O. Green, 2000, personal communication

Thomas Colin, Thèse ISAE, 2010, Caractérisation des aérosols urbains par imagerie hyperspectrale aéroportée en utilisant la transition ombre soleil

Gain par rapport à l'imagerie multispectrale

■ Gain en résolution spectrale

- En MX conventionnel, difficile d'établir la différence entre certaines classes spectrales comparables (bâtiments et différentes classes de routes par exemple, type de toits) (ASTER-30m [Ruiliang Pu, 2008], 4 classes, SPOT-20m (8 classes) [Puissant, Weber, 2003])
- En IHS, la séparation des classes est largement améliorée - intérêt également pour identifier les nouveaux matériaux (il faut pouvoir le suivre pour évaluer les évolutions)



DelAcqua, 2006, Working Group

III/5 Figure 2: Spectra of some covers in DAIS data (a), and in Quickbird data (b).

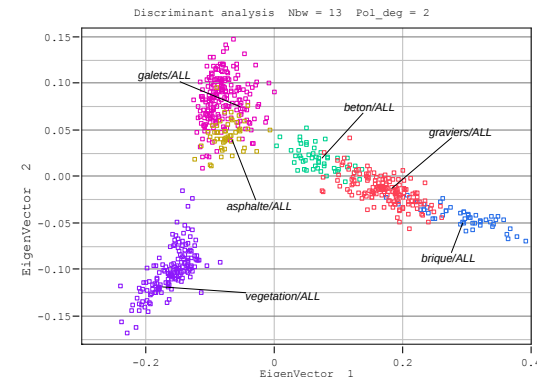
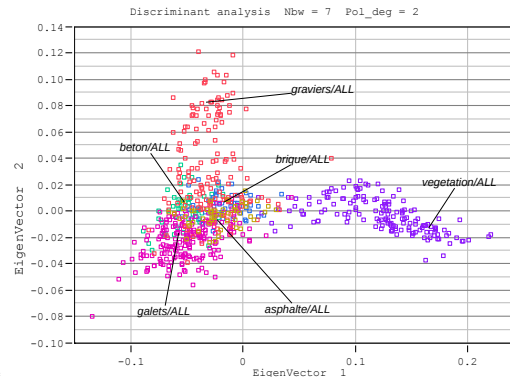
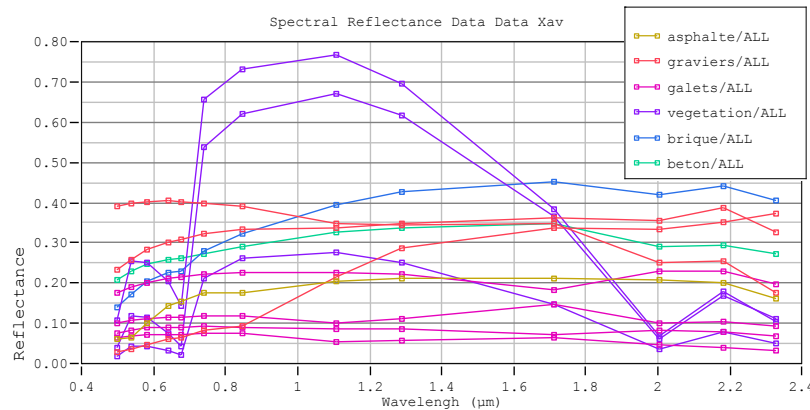
- Apport IHS/MX - Nombreuses analyses dans la littérature dont [Herold, 2003] : sur 22 classes urbaines, Aviris / IKONOS_{Aviris}: +30% et Aviris / Landsat TM_{Aviris}: +14% car bdes SWIR

Ruiliang Pu, Peng Gong, Ryo Michishita, Todashi Sasagawa, Spectral mixture analysis for mapping abundance of urban surface components from the Terra/ASTER data Remote Sensing of Environment 112 (2008) 939-954
Martin Herold, Margaret E. Gardner, and Dar A. Roberts, Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 41, NO. 9, SEPTEMBER 2003 1907,

Quelle résolution spectrale? Apport du SWIR?

- [Herold, 2003] : recherche des bandes optimales pour 22 classes - 14 bandes de 10nm réparties sur [0,4 - 2,5 μm], permet de répondre à l'ensemble des problématiques de classification (67% de bonne classification) en milieu urbain (principale limitation : variabilité des milieux, ex toits)
- [Weng, 2008] montre que l'apport des canaux SWIR améliore la détection des zones d'albédo faible caractérisant les surfaces imperméables
- [Clark, 1999] les minéraux présentent une signature particulière entre 2 et 2,5 μm (ex: carbonate de calcium à 2330 nm, calcite 2300 nm, dolomite 2370 nm), matériaux (ex: peinture ~1700 nm, 2300 nm, asphalt ~1740 nm, 2330 nm)
- [Pascucci, 2007] détection et évaluation de l'abondance de pannaux d'amiante sur les toits (bande à 2.327 μm)

■ Ex : Analyse discriminante sur des matériaux urbains (ONERA)



7 bandes (VIS-PIR) $V_{\text{rao}} = 5\text{E}+03$ 13 bandes (VIS-SWIR) $V_{\text{rao}} = 24\text{E}+03$

M. Herold, M. E. Gardner, and D. A. Roberts, Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas, IEEE TGRS, VOL. 41, NO. 9, SEPTEMBER 2003

Weng Q., Quattrocchi D. A., Urban Remote Sensing, CRC Press, Taylor and Francis group, 2007

Clark R. N., Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy, in Rencs, A. N. Ed., Manual of Remote Sensing, John Wiley & Sons, New York, Chap. 1 pp3-58

Pascucci S., Bassania C., Fusillia L., Palombob A. Evaluation of a hyperspectral scanner allowing for deterioration status assessment of asbestos-cement roofing sheets, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology VII, Proc. of SPIE Vol. 6749, 67490V, (2007)

Quelle résolution spatiale? (1)

Objets urbains identifiés aux différentes résolutions

Classes de référence	30 m	10 m	5 m	2.5 m	1 m
Arbres	Bouque †				
Pelouses					
Espaces végétaux interstitiels					
Bâti dense					
Grands ensembles					
Route	Sauf emprise d'autoroute				
Chemin de fer			emprise		
Espaces minéraux interstitiels					
Eau	fleuve				
Ombre					

Une résolution de 5 m ou meilleure est considérée comme nécessaire :

- pour une représentation précise d'objets urbains : buildings, routes, végétation urbaine disséminée [Weng, 2007]
- planification du territoire [Puissant, 2003, 2004] : concordance avec les pratiques des acteurs de terrain (relevés, cartes, projets), appropriation par la population plus aisée par reconnaissance des lieux

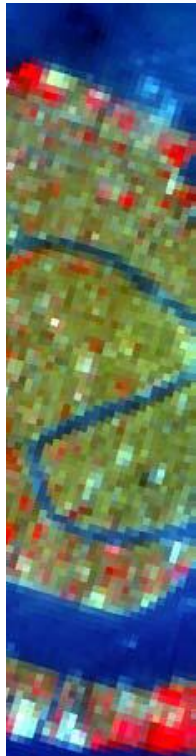
MAIS : compte tenu de la variabilité importante d'un tel milieu, présence de nombreux pixels non purs

Puissant A., Hirsch J., 2004, Télédétection urbaine et résolution spatiale optimale : intérêt pour les utilisateurs et aide pour les classifications, *Revue Internationale de Géomatique*, 14(3-4), 403-415.

Puissant A., Weber C., 2003, Les images à Très haute Résolution Spatiale : une source d'information géographique en milieu urbain ? État des lieux et perspectives, *L'Espace Géographique*, 4, 345-356

Weng Q., Quattrocchi D. A., Urban Remote Sensing, CRC Press, Taylor and Francis group, 2007

Quelle résolution spatiale ? (2)



Hyperion
30 m
242 bands



ASTER
15 m VNIR;
30 m SWIR
9 bands

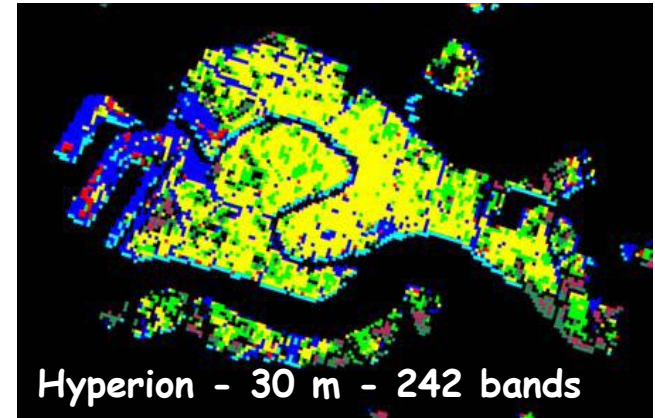


MIVIS
8 m
102 bands

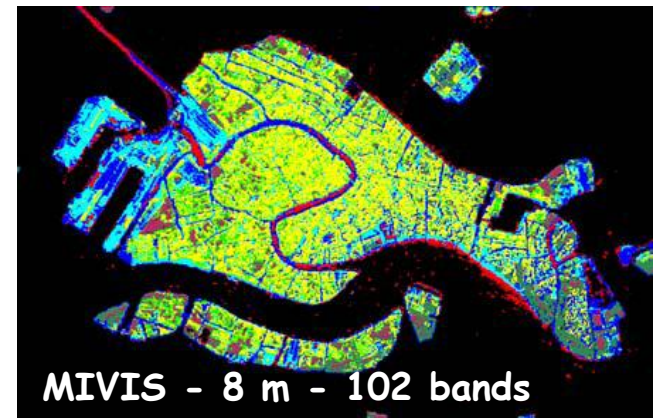
A 30 m de résolution spatiale, seules les principales classes de matériaux urbains sont classées [Carvalli, 2008]

Gain surtout apporté par la meilleure résolution spatiale (moins de pixels mixtes)

Spectral Angle Mapper classifications



Hyperion - 30 m - 242 bands

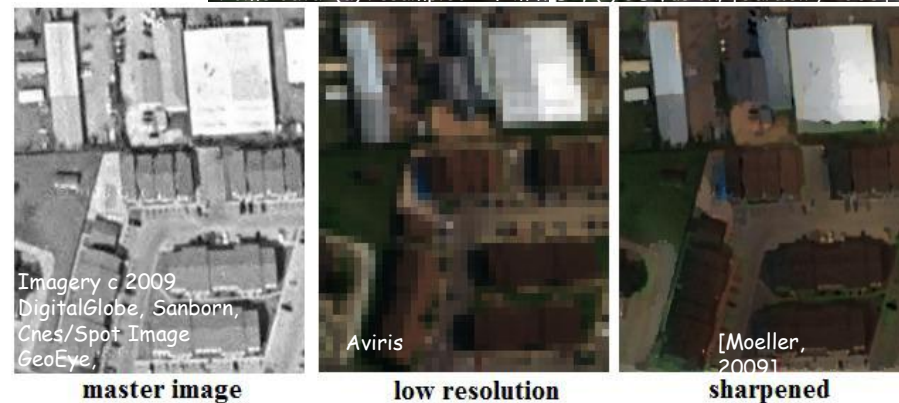


MIVIS - 8 m - 102 bands

Intérêt d'une voie PA

En imagerie spatiale (cas Hypxim) :
l'extension des méthodes de PAN
sharpening en imagerie multispectrale
[Cliche, 1985 ; Garzelli, 2007, 2009] à l'imagerie
hyperspectrale permet d'atteindre
des résolutions spatiales compatibles à
l'étude des milieux urbains (facteur $\sim$
4) [Hardie 2004], [Moeller, 2009] [Winter, 2007] [Eisamnn, 2004]...

**En imagerie aéroportée, la gamme de
résolution spatiale typique est de 4m à
0.5m.**



- Cliche, G. Bonn, F., and Teillet, P., 1985. Integration of the SPOT Pan channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51: 311-316.
- Michael Moeller, Todd Wittman, Andrea L. Bertozzi, A Variational Approach to Hyperspectral Image Fusion Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XV, edited by Sylvia S. Shen, Paul E. Lewis, Proc. of SPIE Vol. 7334, 73341E · © 2009 SPIE · doi: 10.1117/12.818243
- R. C. Hardie, M. T. Eismann, and G. L. Wilson, "Map estimation for hyperspectral image resolution enhancement using an auxiliary sensor," *IEEE Trans. on Image Proc.* **13**, September 2004.
- M. Winter, E. Winter, S. Beaven, and A. Ratkowski, "Hyperspectral image sharpening using multispectral data," *Aerospace Conference, 2007 IEEE*, pp. 1-9, March 2007.
- A. Garzelli*, F. Nencini, Panchromatic sharpening of remote sensing images using a multiscale Kalman filter, *Pattern Recognition* 40 (2007) 3568 - 3577
- A. Garzelli, L. Alparone, L. Capobianco, and F. Nencini, Image and Signal Processing for Remote Sensing XV, edited by Lorenzo Bruzzone, Claudia Notarnicola, Francesco Posa, Proc. of SPIE Vol. 7477, 747706 · © 2009 doi: 10.1117/12.830417
- Eismann M. T., Hardie R. C., Application of the Stochastic Mixing Model to Hyperspectral Resolution Enhancement, *IEEE TGRS*, VOL. 42, NO. 9, SEP. 2004

Spécificités des milieux urbains

Caractéristiques des milieux urbains :

- ombrage : éclairage différent/zone au soleil, variabilité temporelle, impact radiative de l'atmosphère spécifique
- forte variabilité spatiale
- effet de pente ou directionnel
- forte variabilité intraclasses des propriétés optiques des matériaux [Lachérade, 2006] [Lu, 2010]
- réflexions multiples

Ces caractéristiques ont un impact direct sur les méthodes d'interprétation de ces milieux (e. g. la classification)



Classification with Flat surface assumption

L'ombre est une classe

Deux classes différentes pour un même matériau

Nécessité de remonter aux propriétés optiques de surface

Lu D., Hetrick S., Moran E., Lid G., Detection of urban expansion in an urban-rural landscape with multitemporal QuickBird images, Journal of Applied Remote Sensing, Vol. 4, 041880 (23 September 2010)

Schiefer S., Hostert P., Damm A., Correcting brightness gradients in hyperspectral data from urban areas, Remote Sensing of Environment 101 (2006) 25 - 37

van der Linden S., Hostert P., The influence of urban structures on impervious surface maps from airborne hyperspectral data, Remote Sensing of Environment (2009)

...heureusement des solutions existent : prétraitement des données pour estimer les propriétés optiques

Effets directionnels

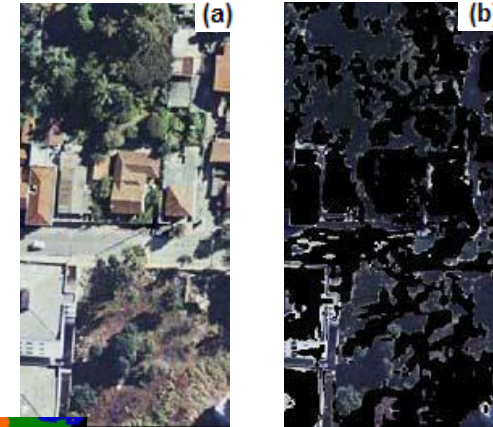
- [Schiefer, 2006] : Normalisation des effets directionnels modélisés à partir de pdv multiangulaire
- [Doz, 2010] Réduction des effets de pentes en prenant en compte le modèle vecteur de la scène

Les ombres

- Détection des ombres (et correction Deshadowing) :
 - histogramme [Martiny, 2005], [Chen et al, 2006]
 - Changement de repère [Polidoro et al, 2003] [Tsai, 2006] [Chung et al, 2009],
 - Traitement d'image [Arévalo et al, 2008],

Les ombres et évolutions temporelles (t, atmosphère)

- Correction atmosphérique ICARE [Lachérade, 2009]
- (cf présentation SFTH de V. Achard)

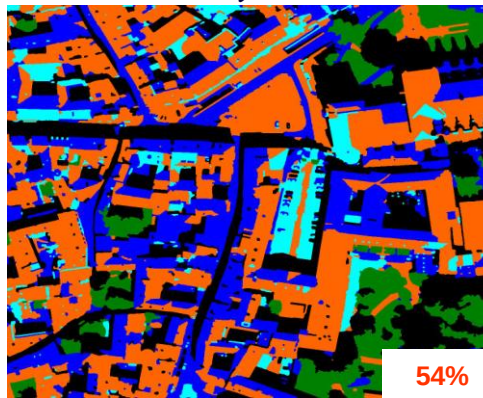


[Polidoro et al, 2003]:

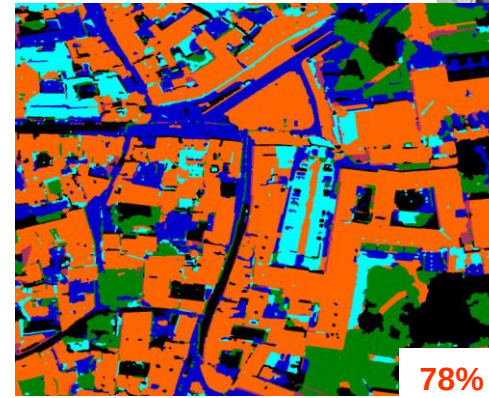
- (a) Original aerial color image
- (b) Hue blue-violet colors only



[Lachérade, 2009]



Classification with Flat surface assumption



Classification taking into account the DEM

Forte variabilité spatiale (peu de pixels purs [Heiden, 2007] < 50%)

- unmixing : modèle de mélange linéaire peu adapté (cf présentation SFTH I. Meganem)

... pour caractériser le type de matériau

En terme de

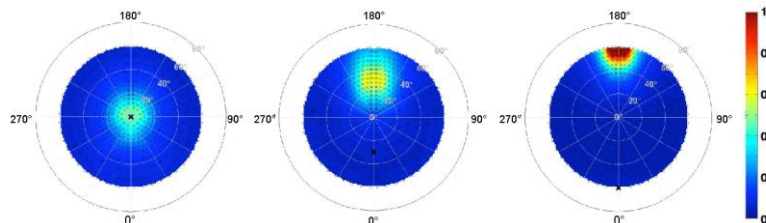
- Composition chimique [Ben Dor, ...]
- D'usage [Lachérade, 2005]
- D'altération en surface : pollution, lichens...[Lu, 2009]

Des bases de données de réflectances spectrales existent

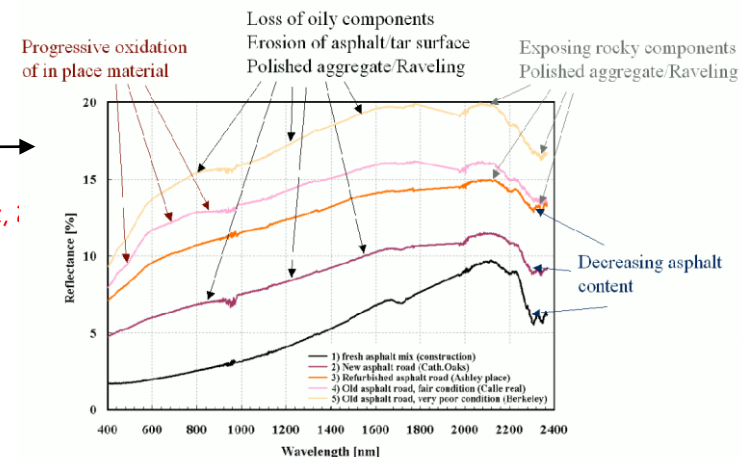
- [Price, 1995], ASTER, [Ben Dor, 2001] sur Tel Aviv, [Herold, 2004] : bitume (dégradation de l'asphalte avec le temps)
- [Heiden, 2007] sur Dresdes, [Launeau, 2010] : ANR VEGDUD sur Nantes
- MEMOIRES (ONERA) sur Toulouse <http://www.onera.fr/dota/memoires/index.php>

Nécessité de mieux connaître :

- La variabilité intraclasses
[Heiden, 2005], [Lachérade, 2005], [Herold, 2003]
- Les effets directionnels [Lachérade, 2005] [Doz, 2009]



Ardoise, 670nm, Doz, 2009



Les atouts de l'imagerie hyperspectrale en milieu urbain

- Améliorer les performances de classification des matériaux et autres éléments du paysage urbain
- Améliorer la compréhension des formes urbaines et de la dynamique des villes (végétation, sols, matériaux)
- Enrichir les applications en milieu urbain et susciter des utilisations multicapteurs ou multisources