labex-univ-bordeaux.fr

LaScArBx

Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux

Imagerie hyperspectrale appliquée aux matériaux archéologiques

Caractérisation, altérations, taphonomie

Caméra hyperspectrale mobile
Peintures murales de San Andres de Biañez (Espagne), octobre 2013. Cl. F. Daniel

Hyperspec

Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Partenaires

- **IRAMAT-CRP2A, UMR 5060, université Bordeaux 3**

Floréal Daniel, Yannick Lefrais, Aurélie Mounier

- **PACEA, UMR 5199, université Bordeaux 1**

Catherine Ferrier, Stéphane Konik

- **Institut des Sciences Moléculaires, Université Bordeaux 1**

Sylvain Lazare, Gwenaelle Le Bourdon, Christian Aupetit, Laurent Servant

- **Université du Pays Basque (Espagne)**

Kepa Castro Ortiz de Pinedo, Silvia Fernandez Ortiz de Vallejuelo, Juan Manuel Madariaga, Maite Maguregui, Irantzu Martínez, Marco Veneranda

Objets et sites

Enluminures

- **Enluminures de la collection Marcadé**

→ *Projet Région Aquitaine (2012-2015) sur l'étude d'enluminures médiévales (F. D.).*

Peintures murales

- **Peintures du château** de Beynac ou **de Belvès** (Dordogne)

→ *Projet Faux bleus dans la peinture murale médiévale : Réalité physique et perception psychologique*

- **Espagne : Eglise de Biañez**, Karrantza, Bizkaia. Peintures Renaissance (XVIe s.) ; Eglise de Goikolexea, Larrabetzu, Bizkaia, Peintures gothiques (XVe s.) ; …

→ *Projet CTP (2012-2014) - Echanges de matériaux, de savoirs et de techniques à travers les Pyrénées*

Grottes ornées

- Font-de-Gaume et/ou Rouffignac ? ; carrière expérimentale de **Lugasson** (Gironde)

→ *ESPACE Grotte : Etats de Surface et Phénomènes d'Altération des Calcaires dus à l'Environnement en Grotte (AAP2-LaScArBx, Catherine Ferrier)*

→ *ITHEM : Les traces de feu de la grotte Chauvet : Des Impacts Thermiques sur les parois à la caractérisation des feux, Expérimentation et Modélisation (AAP1-LaScArBx, Pierre Guibert)*

Imagerie multispectrale

Imagerie in situ de la Fluorescence des liants

Caméra multispectrale Artist (Art Innovation) avec capteur CCD, équipée d'une lampe de longueur d'onde d'émission 365nm. *(Critt DIAC, Castres)*

Traces de dorures retrouvées sur les auréoles des personnages dans la chapelle de l'ancien logis abbatial de Moissac où des fluorescences jaunes ont été observées (photos ci-dessus).

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux

Appareillage – caméra multispectrale

Capteur CCD
- 2448x2048
- domaine spectral: 300 - 1100 nm (N-UV, VIS, N-IR)
- roue à filtres (6)
  - 2 dans l'IR
  - 3 dans le visible
  - 1 dans l'UV

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Imagerie spectrale

"l'imagerie hyperspectrale est définie par l'acquisition d'images dans des centaines de bandes spectrales contigües et identiquement géo-référencées, telles que l'on peut dériver un spectre de réflectance complet pour chaque élément d'une image".

Goetz, A. (1985). **Imaging spectrometry for earth remote sensing**. *Science*

Consiste à mesurer le spectre de réflectance ou d'emission avec une résolution spectrale suffisamment faible pour identifier les matériaux.

Multispectral : 8 - 10 bandes

Hyperspectral : centaines de bandes

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Spectro-imagerie
Information spatiale et spectrale

Domaine spectral
400-1000 nm

Séquence d'images acquises à
des bandes spectrales contiguës

Ensemble des courbes de réflectance
stockées dans un cube de données
(~20 Go)

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Appareillage – caméra hyperspectrale, système fixe

Caméra	CCD, 1600 x 840 pixels, 400-1000 nm
Focale	23 mm
Système de translation	1.30 m (contrôlé par logicel IDAQ) Caméra horizontale ou verticale
Lumière	- Deux lampes halogène - Rampe de diodes UV (exc. 365 nm), 30 cm
Traitement	ENVI 5.0

labex-univ-bordeaux.fr
LaSCArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux

Application aux peintures murales – système mobile

Table de translation (1m30) pilotée par PC

Sources halogène ou UV

Poids : ?

Pas encore testé (stabilité lors de la translation, qualité des images en fonction de la profondeur de champ et de l'état de surface de la paroi,…)

Constitution d'une base de données

- Manipes de laboratoire (Fluorimétrie, FORS,…)
- Constitution d'une collection de matériaux de référence
  - Vieillis artificiellement ou non
  - Mélangés entre eux
- Manipes *in situ* et croisement des résultats par d'autres méthodes
- Vérification de l'innocuité de la méthode à l'égard des objets

Un exemple d'application sur un fac simile d'enluminure médiévale

- Cinabre + blanc de plomb
- Azurite
- Cinabre
- Lapis Lazuli

labex-univ-bordeaux.fr
LaSCArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Traitement des données - imagerie

RGB
R: 700 nm; G: 550 nm; B: 448 nm

Fausses couleurs infra - rouge
R: 900 nm; G: 650 nm; B: 540 nm

Calcite
Blanc de plomb
Orpiment
Jaune de plomb et d'étain
Azurite
Cochenille
Ocre rouge
Minium
Cinabre
Lapis-lazuli
Bleu égyptien

Calcite
Blanc de plomb
Orpiment
Jaune de plomb et d'étain
Azurite
Cochenille
Ocre rouge
Minium
Cinabre
Lapis-lazuli
Bleu égyptien

(source halogène)

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Traitement des données - ACP

En raison du grand volumes de données d'une image hyperspectrale et de leur grand degré de redondance, la réduction de dimension est une partie intégrante de l'analyse des images hyperspectrales. Des techniques sont appliquées (ACP) pour réduire les dimensions spatiales et spectrales.

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode permettant de réduire les données stockées en un sous espace plus petit, sans perdre trop d'informations.

L'ACP considère toutes les projections possibles de données et choisit la projection avec la variation la plus grande dans le premier composant, la seconde la plus grande dans le deuxième composant, etc...
Dans l'exemple ci-dessous, les deux premiers vecteurs propres représentent 88 % de la variation totale des données.

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Traitement des données - ACP

La projection des données sur les deux premiers vecteurs propres (PCA), donne une sorte de **signature spectrale** de l'image.

On peut y délimiter des zones. A chacune des zones peut être assignée une couleur qui peut être associée à l'image originale, donnant une nouvelle image caractéristique des clusters déterminés par l'ACP, qui dans notre exemple correspondent à des couleurs de pigments et, plus finement, à des natures de pigments.

labex-univ-bordeaux.fr
LaSCArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Traitement des données – comparaison de spectres

Base de données de spectres de référence.
Pour l'instant une vingtaine de pigments organiques et inorganiques employés à l'époque médiévale et préparés au labo en fonction de recettes anciennes.

Legend:

azurite
lapis-lazuli;
cinabre,
cochenille sur cinabre
orpiment
Blanc de plomb

Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux

Imagerie sous UV

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Applications :
Peintures murales (15e s.) du château de Belvès (Dordogne)

Projet « Faux bleus » médiévaux (PEPS IDEX)

Les « neuf preux »

43-45 rue Jacques Manchotte (XVe s.), Belvès (Dordogne)

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Applications :
Peintures murales (15e s.) du château de Belvès (Dordogne)

Images fausses couleurs IR

RGB

FCIR

Vierge noire

RGB

FCIR

Tête de cheval

Hyperspec

Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
labex-univ-bordeaux.fr
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
CNRS

Applications :
Peintures murales (16e s.) de l'église San Andres de Biañez

Projet CTP

M, Irazola, M. Olivares, K. Castro, M. Maguregui, I. Martínez-Arkarazo, J. M. Madariaga, 2012, In situ Raman spectroscopy analysis combined with Raman and SEM-EDS imaging to assess the conservation state of 16th century wall paintings, J. Raman Spectrosc., 43, 1676–1684

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
Hyperspec
Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

Applications :
Peintures murales (16e s.) de l'église San Andres de Biañez

Hyperspec

Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

Applications :

Feux expérimentaux en milieu confiné, carrière de Lugasson

Projet ITHEM (LaScArBx)

RGB

Hyperspec

Imagerie hyperspectrale et spectrofluorimétrie appliquées aux matériaux archéologiques

labex-univ-bordeaux.fr
LaScArBx
Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX