

Des spectres dans la basilique et des bronzes dans les temples



Patrick Callet

laboratoire MICS, CentraleSupélec

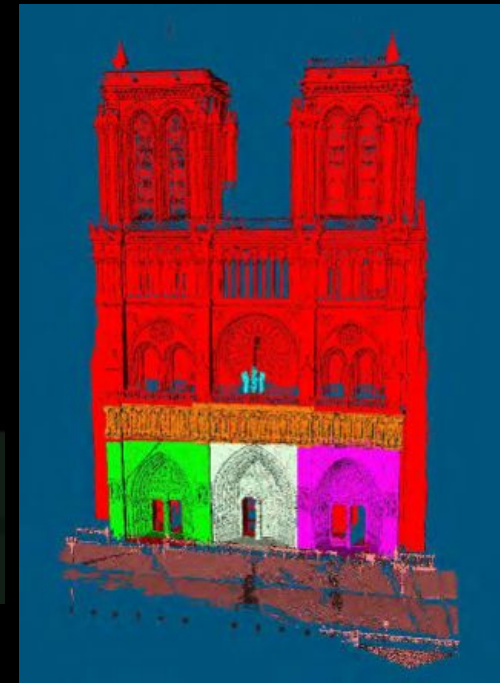
CAOR-Centre de robotique, Mines ParisTech,

Président du Centre Français de la Couleur



Οπτική αναίτιση της χάλκινης
πινάκας του Ιθαλίου (Κύπρος)
που ανακαλύφθηκε γύρω στο 1850.
Φαιματική περιουσιακή από Vincellum
Τμήμα νομισμάτων και μετάλλων.

Εθνική Φιλολογική Γραμματεία
0 210 37 41 11



Sommaire (très sommaire)

Introduction et historique de quelques projets

- **Métallurgie réelle et virtuelle : sculptures**
- **Polychromie : sculpture médiévale, quelques minéraux de la couleur à découvrir**
- **La cathédrale est nue**
- **Restitution 3D de l'église abbatiale de Royaumont :**
Les matériaux, la lumière naturelle, l'acoustique musicale réelle et virtuelle

Introduction et bref historique

Collaborations antérieures avec :

- Musée du Louvre : étude d'un vase taureau parthe ou séleucide, métallurgie des alliages argent-plomb (Mésopotamie)
- Musée Guimet : Tête de bouddha afghan du IVe-Ve siècle ; statuette de cheval chinois, période des royaumes combattants
- Basilique de Saint-Denis et Centre des Monuments Nationaux : gisant polychrome de Philippe Dagobert
- Bibliothèque Nationale de France : Tablette d'Idalion (avec Chypre)
- Fondation Royaumont

Films vidéo sur les projets

Caractéristiques de la démarche scientifique

- Equipes pluridisciplinaires (informatique, chimie, physique, histoire de l'art, vidéo, centre de langues, métallurgie, fondeurs d'art, conservateurs, médiévistes, etc.) associant des élèves ingénieurs et des chercheurs
- Numérisation 3D sans contact
- Mesurages spectrophotométriques sans contact
- Ellipsométrie spectroscopique
- Formulation d'échantillons : peintures, alliages
- Production d'un film vidéo sur chaque projet en plusieurs langues
- Logiciel libre de simulation spectrale : **Virtuelium**

Les matériaux de l'art ne sont pas que de la matière façonnée : danger d'anachronisme (chaque exemple le souligne)

La classification périodique des éléments, très abstraite...virtuelle ?

Des données vraiment intrinsèques

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H 1.008																	2 He 4.0026
2	3 Li 6.94	4 Be 9.0122											5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.085	15 P 30.974	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.948
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.63	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.96	43 Tc [97.91]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.32	* 71 Lu 174.97	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po [209.08]	85 At [209.99]	86 Rn [222.02]
7	87 Fr [223.02]	88 Ra [226.03]	** 103 Lr [262.11]	104 Rf [261.12]	105 Db [261.13]	106 Sg [271.13]	107 Bh [270]	108 Hs [277.13]	109 Mt [276.15]	110 Ds [281.16]	111 Rg [280.16]	112 Cn [285.17]	113 Uut [284.16]	114 Fl [289.19]	115 Uup [288.19]	116 Lv [293]	117 Uus [294]	118 Uuo [294]
*Lanthanoids			* 57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [144.91]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05		
**Actinoids			** 89 Ac [227.03]	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np [237.05]	94 Pu [244.06]	95 Am [243.06]	96 Cm [247.07]	97 Bk [247.07]	98 Cf [251.08]	99 Es [252.08]	100 Fm [257.10]	101 Md [258.10]	102 No [259.10]		

L'alphabet de l'univers beaucoup plus réaliste bien que virtuel

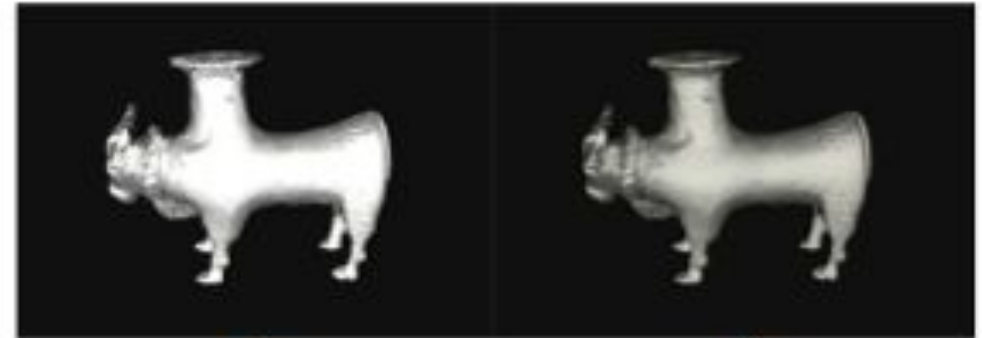


Musée du Louvre, métallurgie virtuelle et réelle des alliages argent-plomb et généralisation (haute joaillerie)

Z	Symbole	ppm Alliage gris	ppm Alliage jaune
28	Ni	112075	42
29	Cu	144683	153665
30	Zn	32965	0
47	Ag	0	85189
79	Au	712430	763055

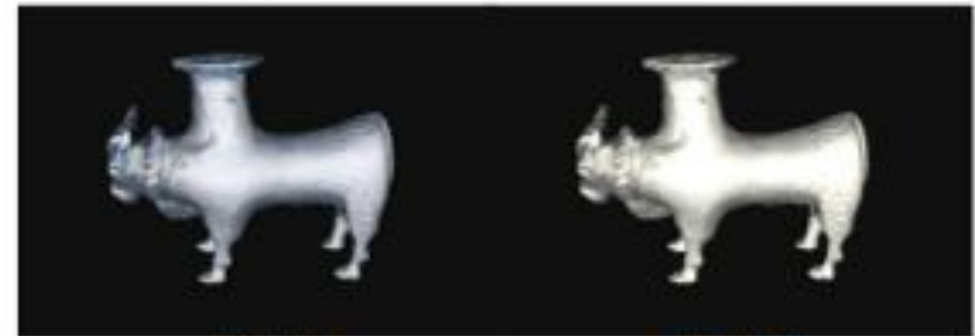
Simulation of the Visual Appearance of Metals and Alloys

Application to Archaeology - Study of a small statuette (Louvre Museum collections)
(Sakimayyah, Irakion Kurdistan, IIrd century BC- IIrd AC)



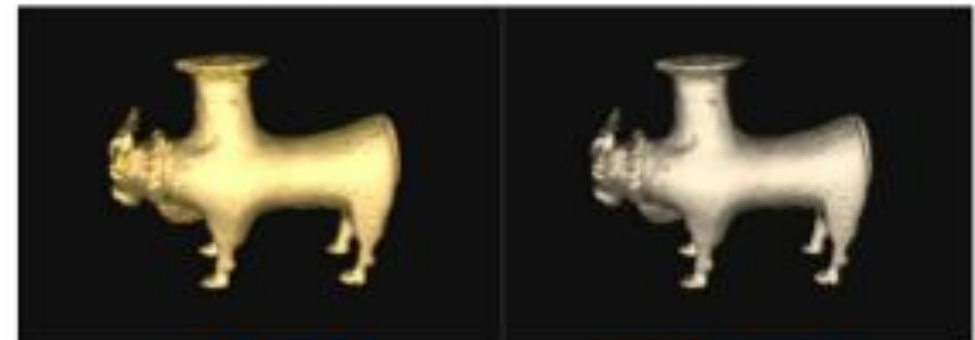
Ag

Pb



Ag30Pb70

Ag60Pb40



Au76Cu15Ag9

Au71Cu14Ni11Zn4

CIE D65 Illuminants - CIE 1964 Supplementary Colorimetric Observer (19°)

Uniform Optical Roughness - 3D Digitization by optical capture in structural light

Rendered in Parallel Spectral Ray-Tracing

Patrick Collet

Applied Mathematics and Systems Laboratory

École Centrale Paris - France

patrick.collet@ecp.fr

Color plate composed in: march 2003



Musée Guimet – Ecole Centrale Paris – Afghanistan Demain



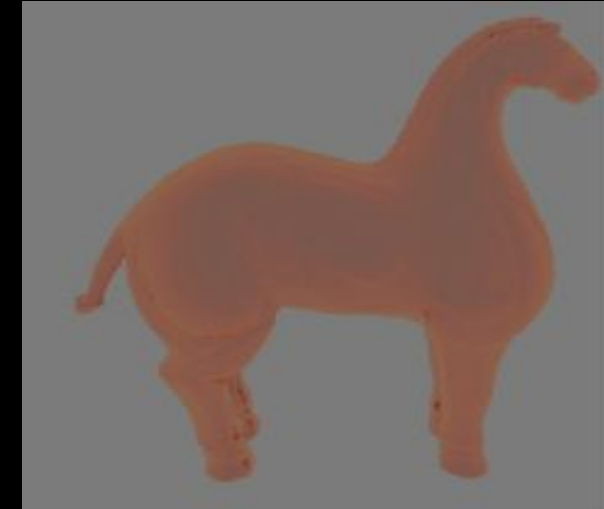
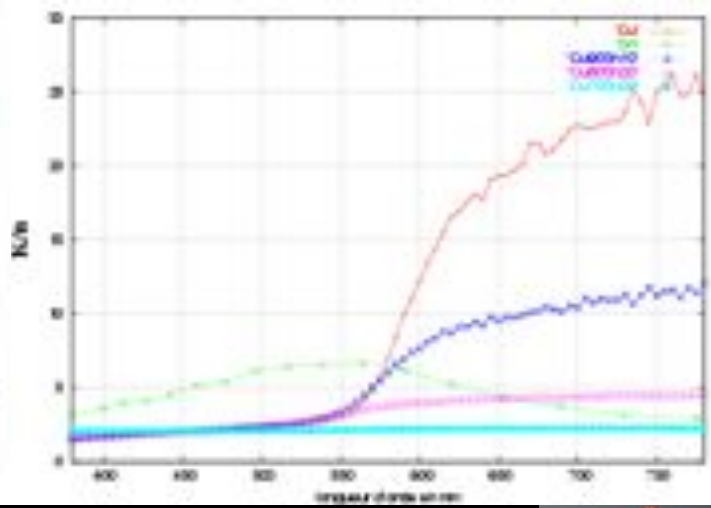
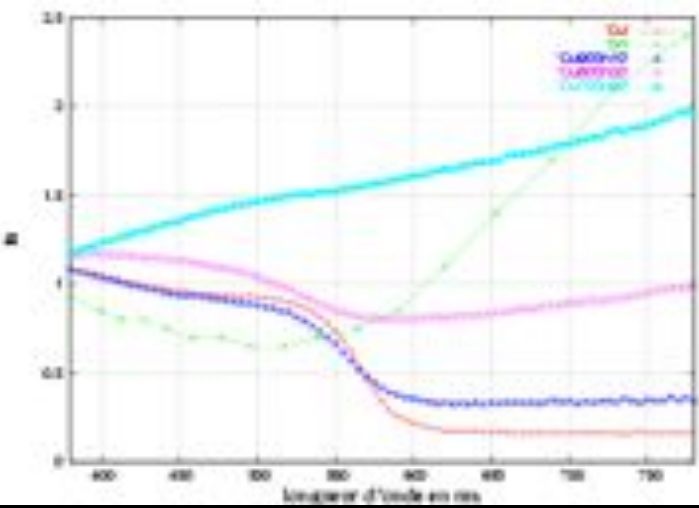
- Numérisation 3D, prototypage rapide en résine stéréolithographique (2003)
- Reproduction d'une tête de bouddha, région de Hadda (près de la frontière avec l'actuel Pakistan)
- Association Afghanistan Demain
Les reproductions sont vendues au seul profit de l'association
- Musée Guimet, département Afghanistan-Pakistan
- Ecole Centrale Paris, MAS, LGI, LGPM, AAVEC



Musée Guimet et métallurgie virtuelle

- Numérisation 3D
- Réplique virtuelle de la statuette dans son état d'origine d'après sa composition métallurgique, sans prélèvements
- Répliques physiques par prototypage rapide en plâtre, patinées, métallisées et qui vieillissent tout de même !
- Simulation de n'importe quel bronze basé sur la composition





Sn

Sn 30 Cu 70

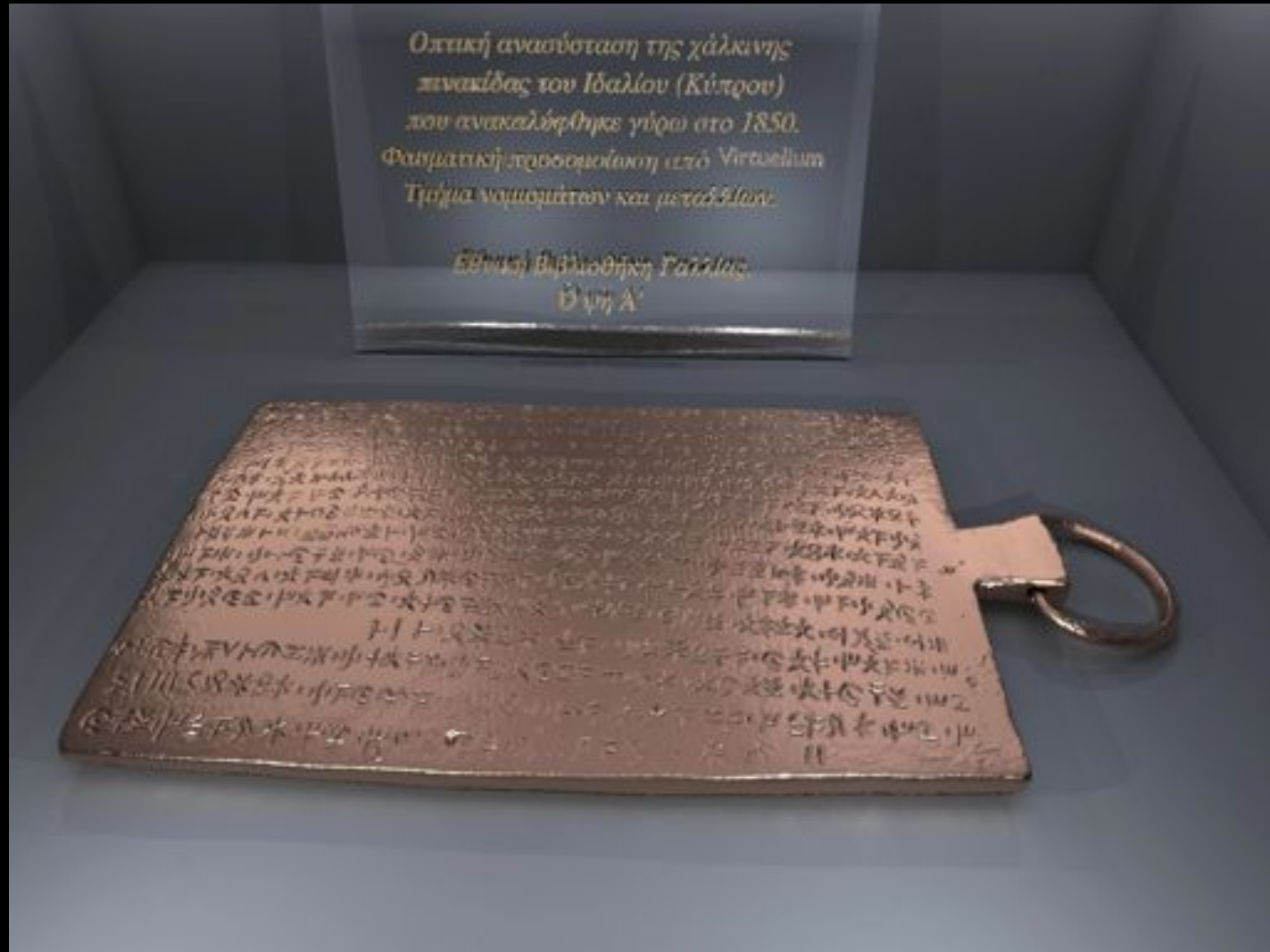
Sn 20 Cu 80

Sn 10 Cu 90

Cu

France-Chypre : La tablette d'Idalion (BNF)

Un i-pad en bronze (4 % Sn) âgé de 25 siècles

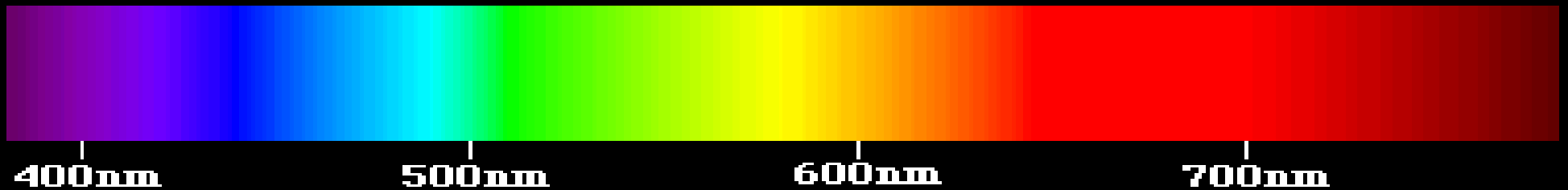


Classification des couleurs dans la culture européenne médiévale : les couleurs sont les minéraux de l'esprit

Classification par la clarté, des ténèbres à la lumière.



Depuis Newton, classification spectrale, par longueurs d'onde croissantes



Classification par les matières : bois, pierre, verre, métal

Association semblable en musique :

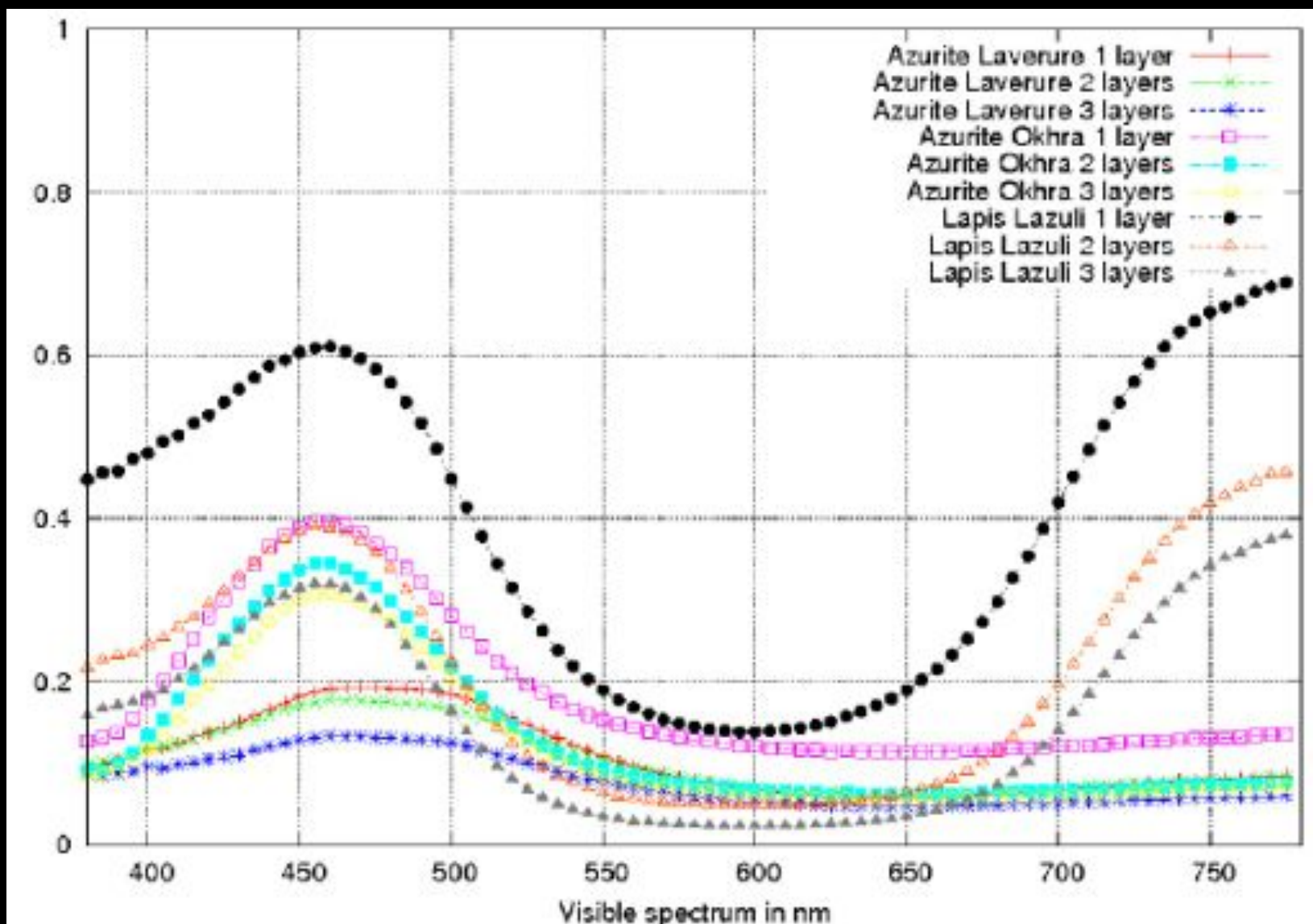
- Basses = voix terrestres (d'hommes),
- Aigus = voix célestes (femmes, enfants, castrats et anges !)



Des spectres dans la basilique

couleur-lumière, couleur-matière

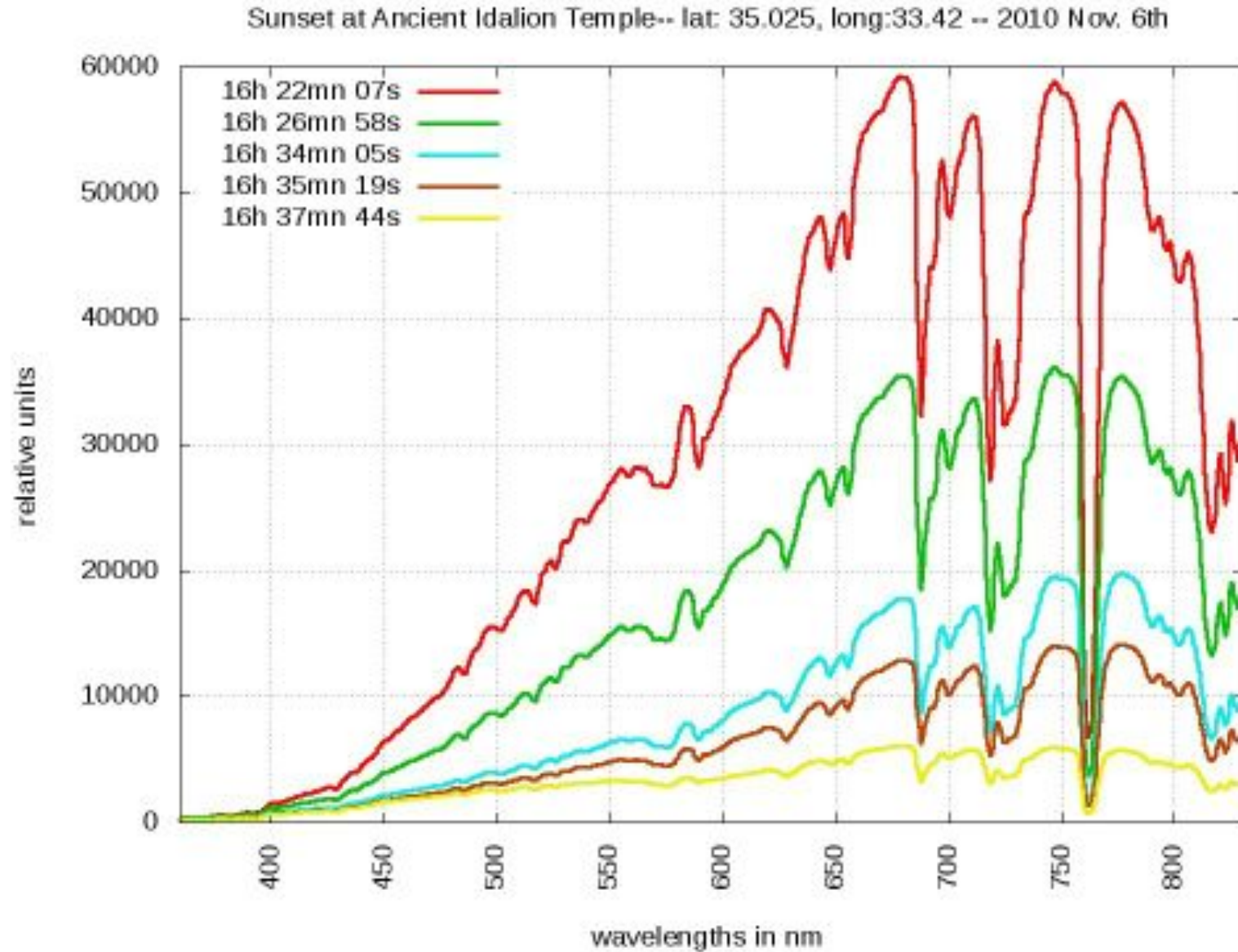
importance de l'éclairage à la flamme pour distinguer azurite et outre-mer naturel (lapis-lazuli)



Des spectres de la lumière solaire directe

MAYA 2000 spectrophotometer – Ocean Optics Inc.

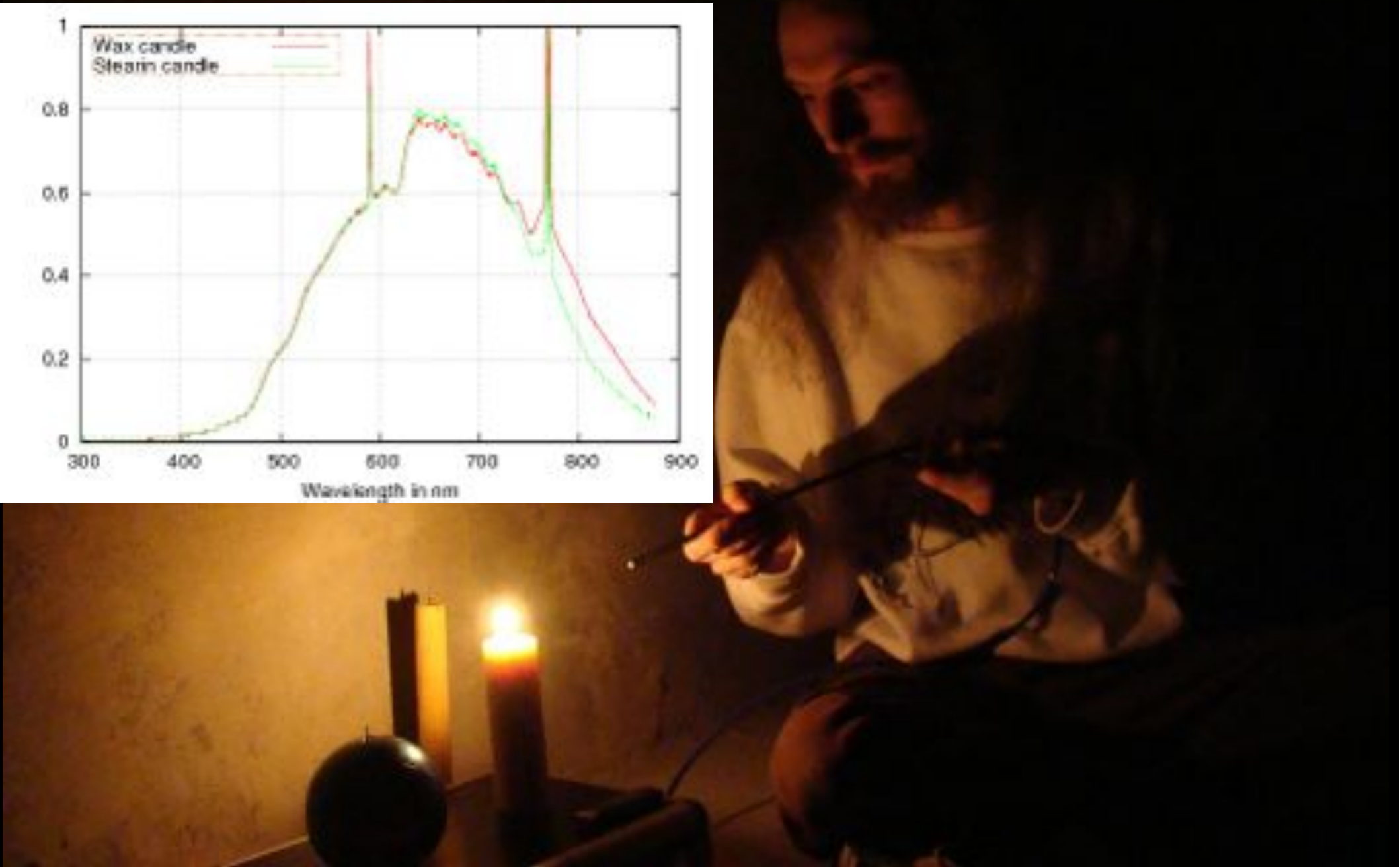
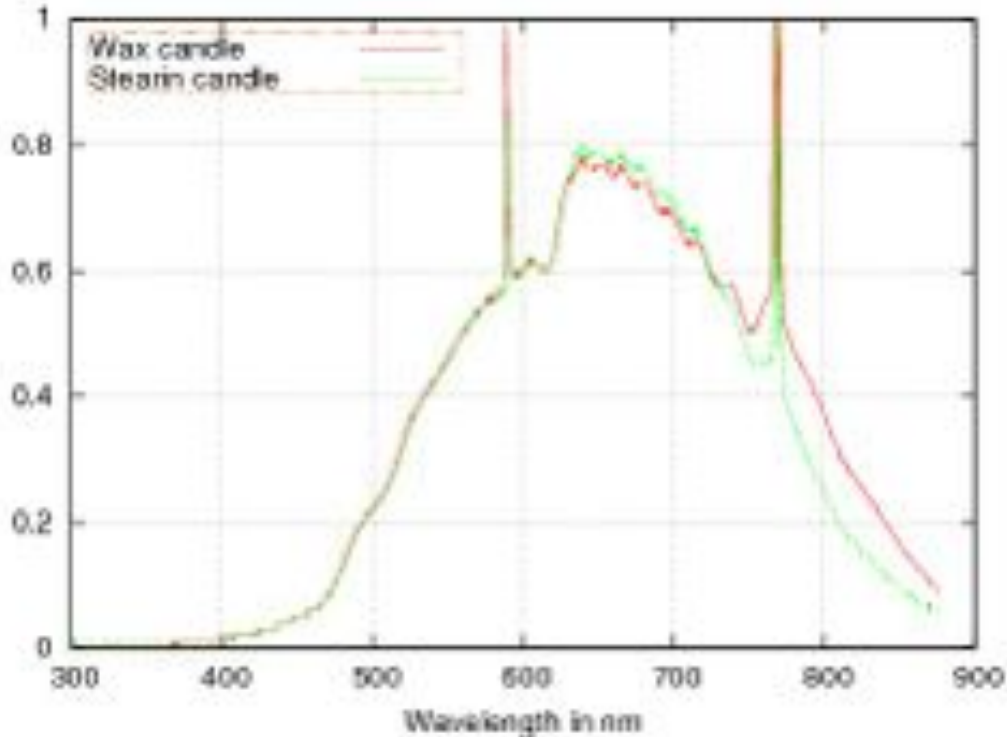
Acknowledgements: *Solomon Kountouris* for his precious help for *in situ* measurements



Des spectres dans les églises

mesurage au spectrophotomètre :

chandelle de cire d'abeille et bougie de stéarine



Le gisant de Philippe-Dagobert (1222-1235) avec « demi-baldaquin » ; basilique de Saint-Denis. Eclairage à la chandelle de cire d'abeille



La matière, la forme, la lumière naturelle et la conception médiévale d'icelle

- L'échelle de clarté est associée à la lumière (on dirait source de lumière secondaire aujourd'hui)
- Lumière, matière, forme et espace (ébrasement des baies)
- Ombre propre, ombre portée
- Ombres « dures » et ombres « douces », pénombre
- La transparence et la translucidité des verrières : lumière incidente/émergente directionnelle ou diffuse
- Le côté obscur de la...
- Diatribe de Bernard de Clairvaux contre Hugues de Semur (et les clercs obscurs de Cluny) ; la lumière et l'ombre, le clair et le brillant, selon Saint-Bernard ou Suger, le bling-bling et le sobre d'aujourd'hui

Les verres

- Composition, histoire, propriétés, fabrication

(Marie-Hélène Chopinet, Saint-Gobain ; Juliette Rollier, Stéphanie Castandet, équipe Gunzo Arts & métiers ParisTech)

Pour nous, ce qui importe en simulation spectrale,
c'est l'indice de réfraction complexe, l'épaisseur, le nombre de
couches de matières et leur nature, l'état de surface, etc.

- Mesures optiques caractéristiques
 - Spectrophotométrie en transmission et en réflexion (grisailles)
 - Ellipsométrie spectroscopique (verre proprement dit)
 - Profilométrie (rugosité)
- Modèles pour la simulation spectrale (agrégats métalliques nanoscopiques, *continuum*, *discontinuum*, etc.), calcul de la fonction diélectrique complexe, des BTDF, BSSDF, etc.

Le verre, un matériau exceptionnel !

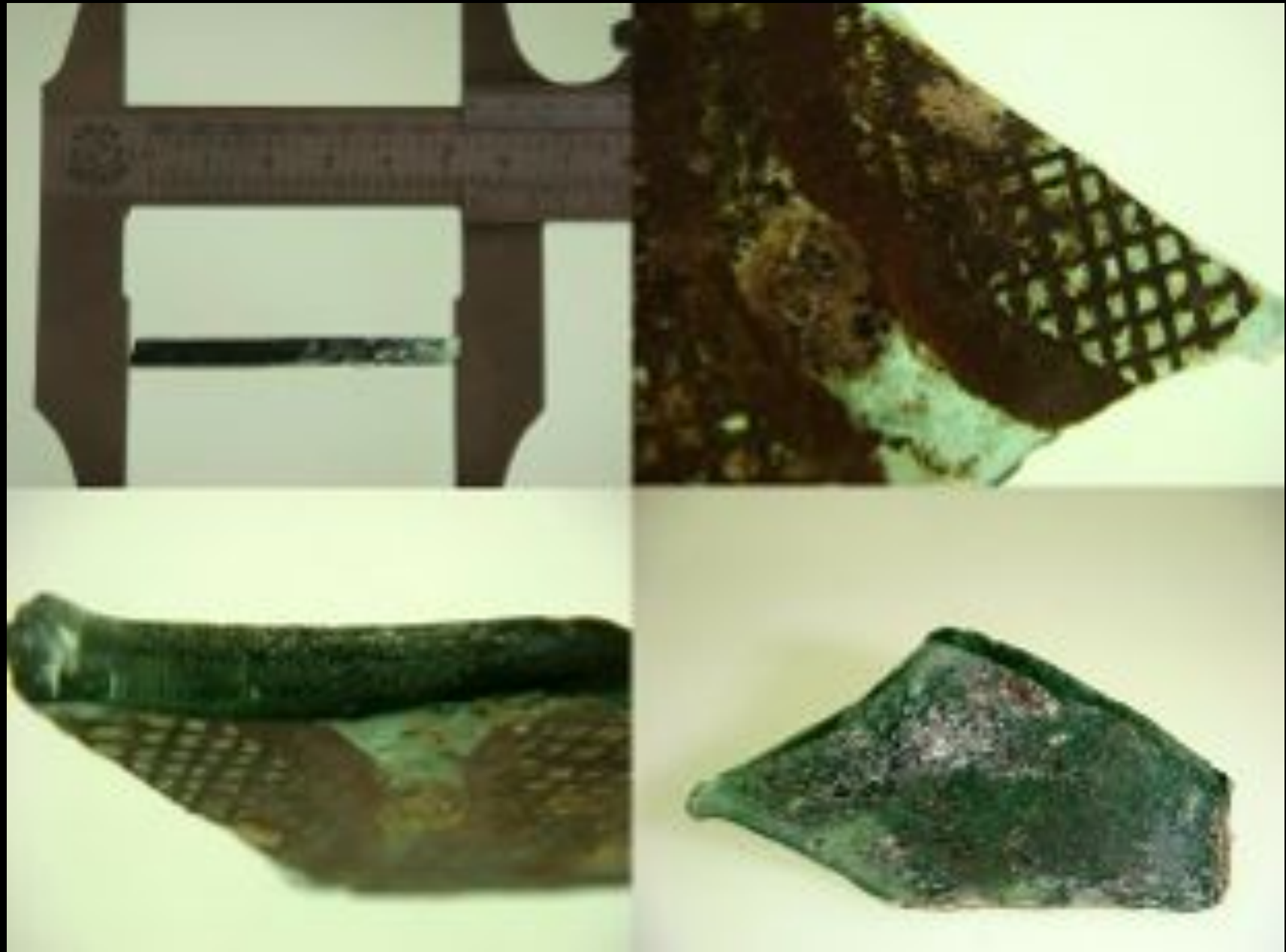
Un médiateur des deux mondes

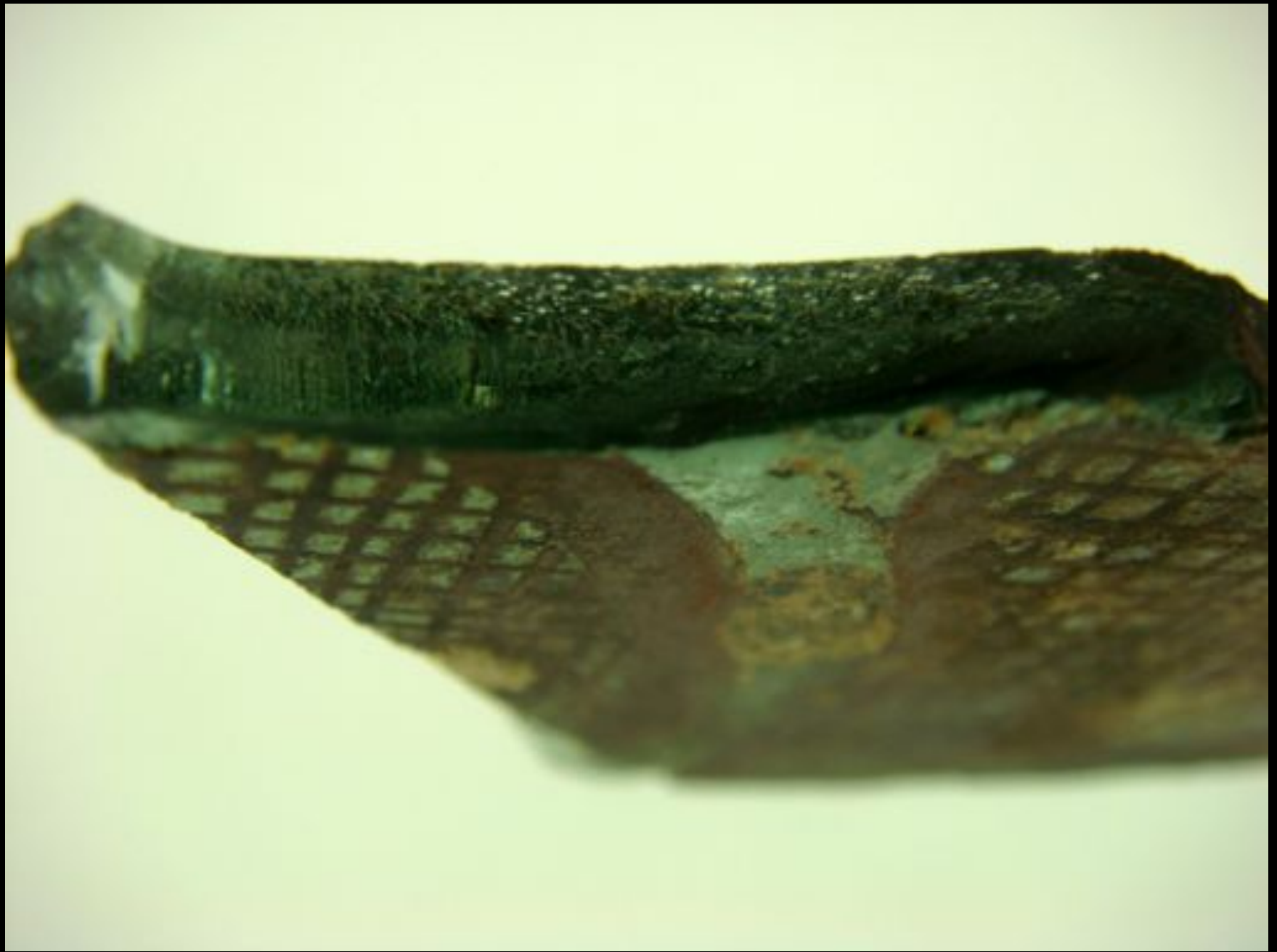
(mesurage en transmission sur un verre du XIIIe siècle)



Un traitement particulier du verre et de la lumière ?

Pièce de verre de l'abbaye de Maubuisson, XIIIe siècle





La zone de très fines bulles (1mm d'épaisseur). Artifice ou accident ?

La forme diffuse la lumière

- L'architecture cistercienne combattante de l'ombre
- La clarté oui, le brillant non ! (Bernard de Clairvaux)
- L'enveloppe interne : le bâti réel et le bâti figuré
hypothèses pour une reconstitution de l'église abbatiale de Royaumont
- Quelle représentation donner, de quelle époque ?
- Mesurer, matières et lumières...
- Calculer, modéliser, simuler, etc.

Ce qui fut fait et reste à faire

- Reconstitution d'une maquette 3D de l'église
- Recherche sur les matériaux (vitrage, sol, couverture)
- Recherche sur le mobilier
- Recherche sur la lumière naturelle et artificielle
- Recherche algorithmique (accélération des calculs d'image)
- Recherche acoustique (à faire !)
- Une équipe très interdisciplinaire

L'architecture, la reconstitution 3D



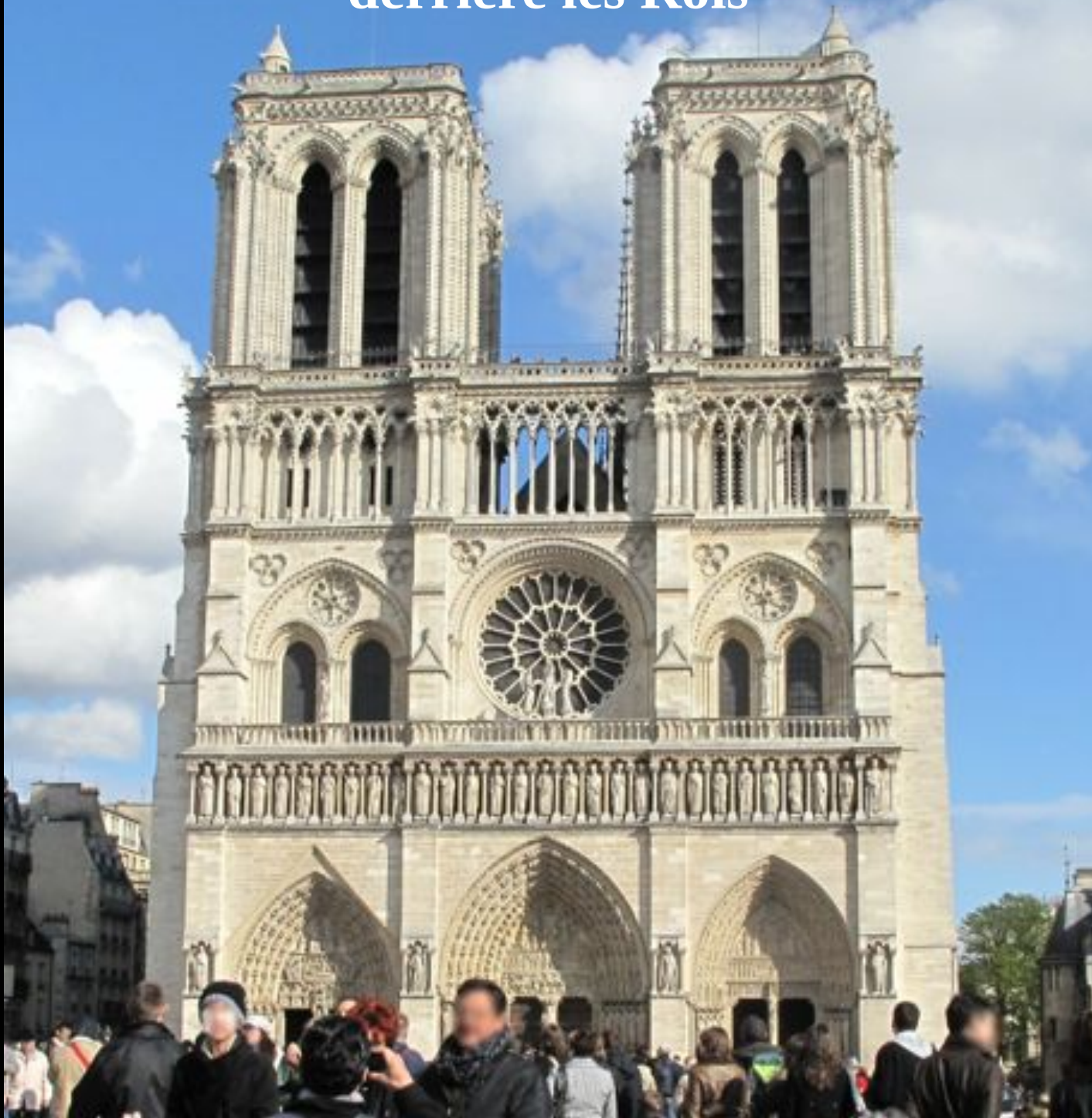


Royaumont 3D

Diaporama-Film vidéo

7mn

Lumière d'aujourd'hui : ombres dures derrière les Rois



2010, the Sun-Day : sunset at 21:58 (local time, (solstice d'été, 21 juin)
AMDG



20:36



20:37



21:01



21h:05



21:22



21:26



21:35



21:40



21:43



21:52



Ce qu'ont vu Eugène
Viollet-le-Duc et
Jean-Baptiste Lassus en
restaurant la cathédrale
à la fin du XIXe siècle

(extrait de la monographie sur
Notre Dame de Paris,
présentation de Jean-Michel
Leniaud)

Notre-Dame de Paris :
Expériences de restitution de
polychromie monumentale
médiatisées, scientifiquement
très discutables (mars 2011).

Nombreuses présentations similaires à
Amiens, Chartres, Poitiers, etc.

Palettes de couleurs médiévales et
dorures

L'interaction optique est différente de celle de la lumière solaire
(plutôt jaune-orangé pour un éclairage de face qui ne peut être
visible en mars mais en juin-juillet) illuminant la pierre apprêtée
et peinte. A l'évidence, l'effet est plaisant surtout parce qu'il se
déploie sur le monument réel à l'échelle 1. On note également
l'ombre très dense dans les arcatures au-dessus des têtes des
Rois de Juda et d'Israël.



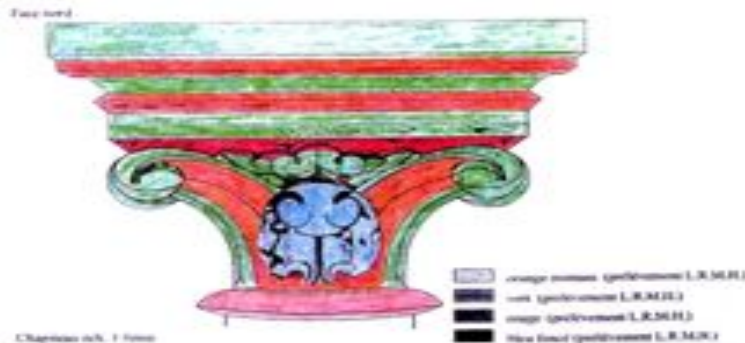
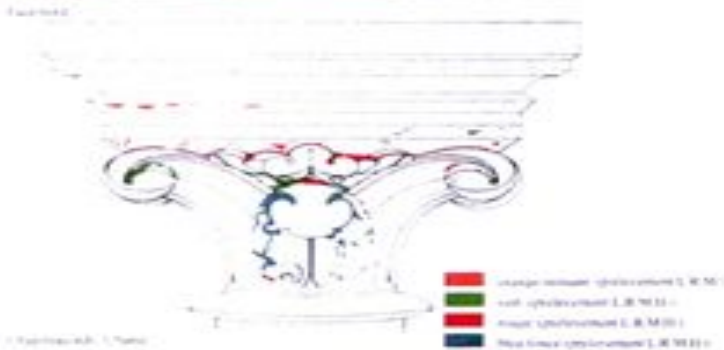


Fig. 33. Galerie des Rois, relevé de polychromie sur les chapiteaux et 19

D'après « Traces de la polychromie sur les portails et la galerie des Rois de Notre-Dame de Paris », Bernard Fonquernie. Actes du colloque d'Amiens, « La couleur et la pierre », 2000

Traces de couleur rouge-rose, ci-dessous, relevées sur l'intrados des arcatures supérieures de la galerie des Rois. Une « non-couleur », c'est du bole, pas du symbole. Une assiette nous attend...

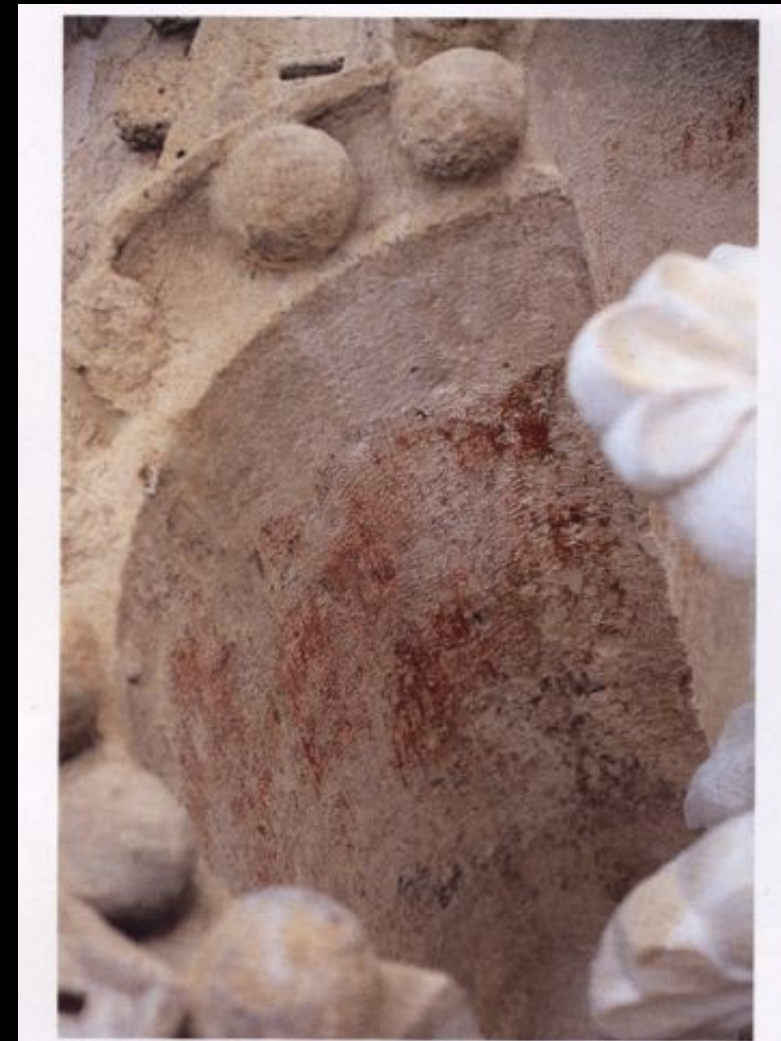
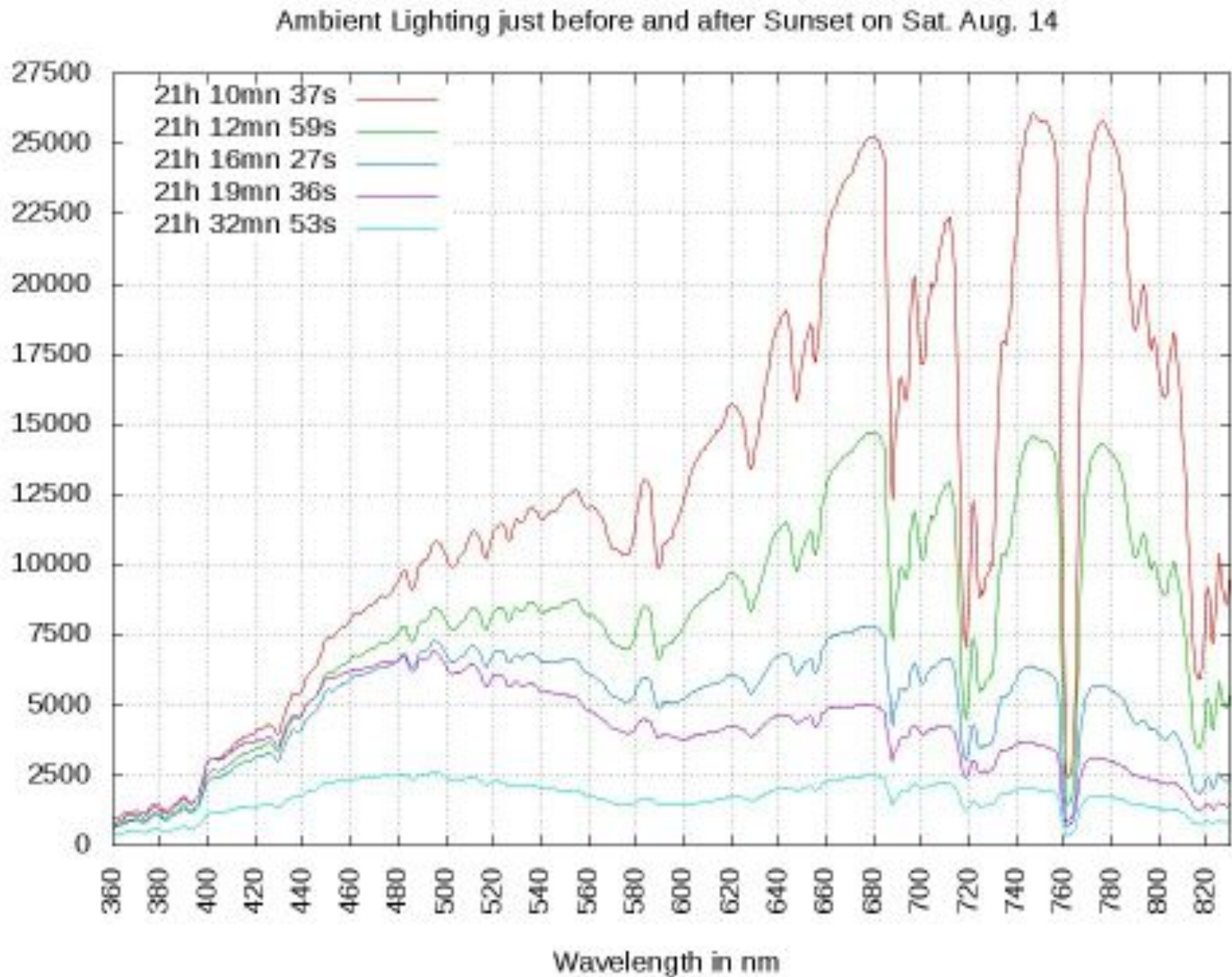


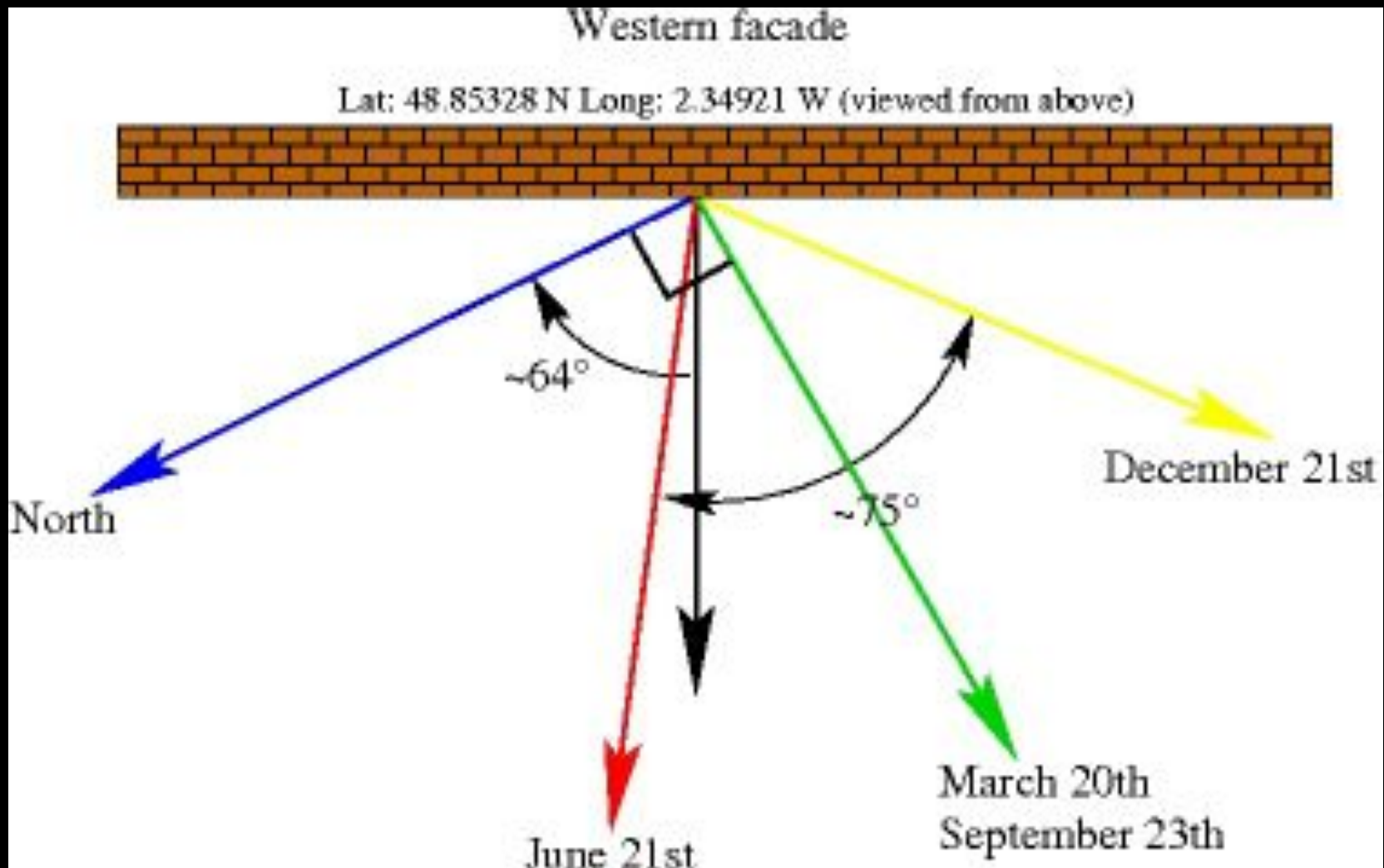
Fig. 10. Galerie des Rois, restes de polychromie sur l'intrados des arcatures abritant les statues des Rois.

Eclairage solaire direct et éclairage ambiant

Domaine visible (Pointe de Trévignon, Bretagne, 2010)



Orientation de l'édifice et lumière solaire vue schématique de dessus

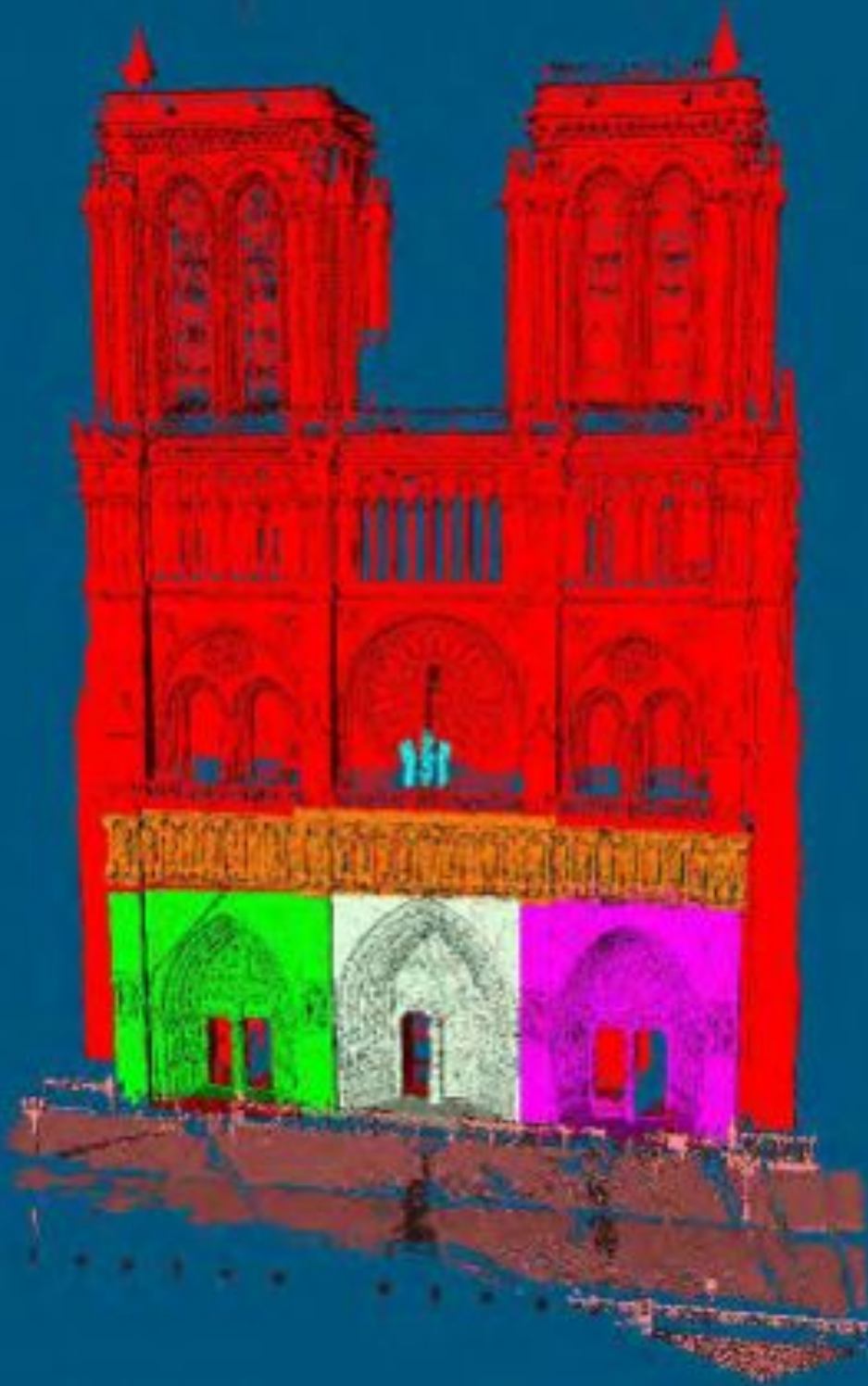


La lumière reçue au XIIIe siècle aux mêmes dates qu'aujourd'hui n'est pas la même (pollution médiévale bien supérieure, précession des équinoxes, brume de la vallée de la Seine)

Simulations

Acquisitions 3D au laser depuis le sol et à différentes résolutions

5mm au mieux pour la Galerie des Rois



Restitution: Premières hypothèses (avec l'Ecole du Louvre)



Direct solar lighting on 2009 July 15th 21:09

Rétro-éclairage médiéval, le principe

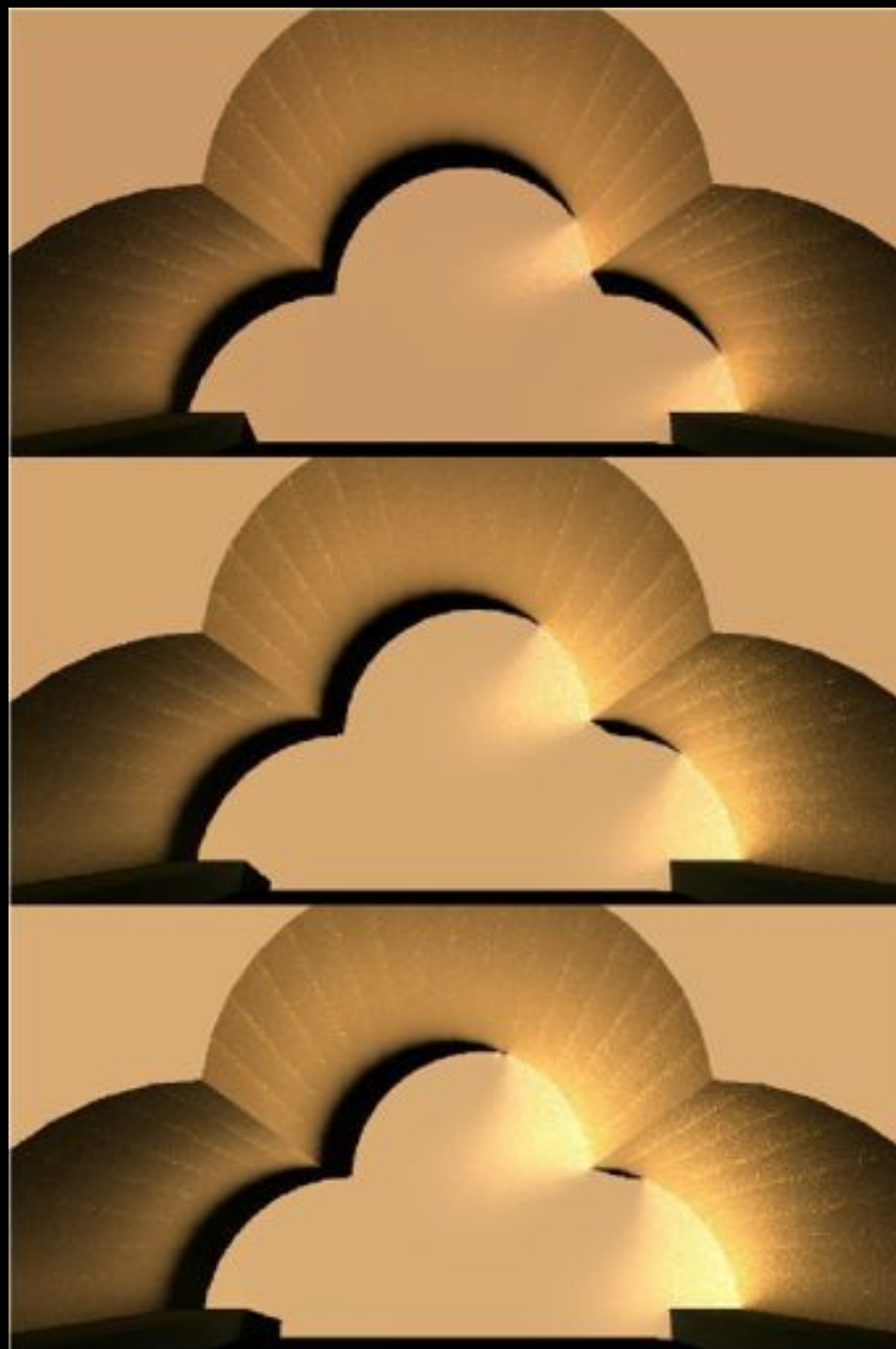
Simulation de caustiques par réflexion sur les dorures en illumination globale (assiette : céruse + ocre rouge + minium 50%).

Adhésif : eau ou *clara ovorum*.

Restitution impossible par des algorithmes classiques (lancer de rayons seul, etc.)

Effet visuel impossible à obtenir par projection de lumière colorée sur la pierre nue.

(différence avec les présentations monumentales nocturnes d'Amiens, Chartres, Poitiers, etc.).



21 juin 2012

20h58



21 juin 2012

21h04



21 juin 2012

21h10



21 juin 2012

21h16



21 juin 2012

21h28



21 juin 2012

21h37



21 juin 2012

21h43



21 juin 2012

21h49



21 juin 2012

21h55





Merci !!!



Le miracle de la
lux perpetua
enfin expliqué

Offuscation

L'édifice d'en face occulte
la lumière de l'édifice au culte.

Situation similaire avec la *Sainte-Chapelle*
et le *Palais de Justice* de Paris

Visitez aussi :

www.centrefrancaisdela couleur.fr

sur DailyMotion : chercher Lutopix



Transmission de la lumière
Transmission des connaissances



Centre Français de la Couleur

2018

En route pour Avignon AIC-2020

Couleurs naturelles

Couleurs numériques



Projet **Pavage** – Le pont d'Avignon : archéologie, histoire, géomorphologie, environnement, reconstruction 3D
Programme Sciences humaines et sociales : Cultures, arts, civilisations (Blanc SHS 3), 2010
Établissement coordinateur : CNRS – Délégation régionale Provence

Partenaires :

CNRS - DR12 - MAP - délégation régionale Provence
CNRS DR12 - CEREGE - délégation régionale Provence
CNRS - LA3M - délégation régionale Provence
CNRS - CIHAM - délégation régionale Rhône – Auvergne