



# *La couleur des vitraux*

*Laurence Galois*



# La couleur un aspect attractif du verre



me de Paris, France



èque en obsidienne  
e la Americas,  
Spain



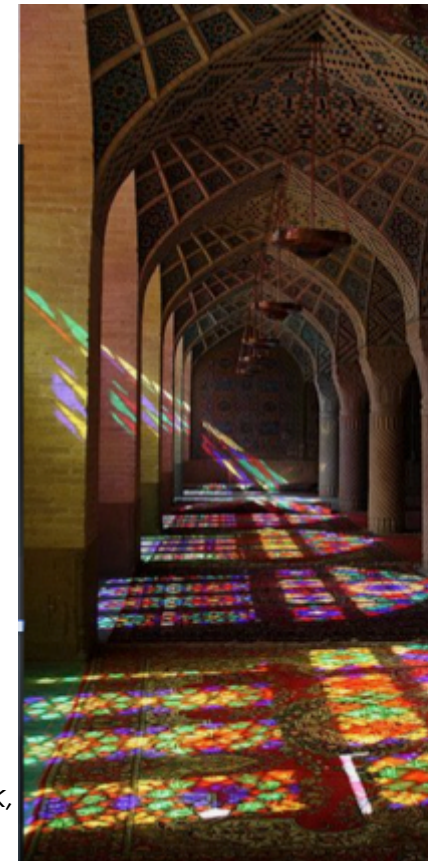
Stephen Rolf Powell, Teaser,  
Autumn Jealous Cleavage,  
Verre soufflé



Cathédrale de Chester, UK  
Mosquée Nasir-ol-Molk,  
Shiraz, Iran



Pendentif au scarabée  
Tutankhamon,  
Verre lybique



# Les vitraux

**Éléments de verre**, sertis dans un **réseau de plomb (malléable)** ⇔ verrière laissant passer la lumière dans un édifice construit en matériaux opaques (pierres, béton...).

**Éléments de verre** d'épaisseur contrôlée et teintés dans la masse ou bien peints

Présentation des détails (dessin, rendu des plis, des drapés et autres accessoires...)

Utilisation de la **grisaille** (oxydes métalliques noirs: fer ou cuivre)

*Guilde des fourreurs et drapiers  
(Cathédrale de Chartres)  
Vitrail de St Jacques le Majeur 1210-25*





cathédrale de Reims (N. Capobianco)

# Éléments colorants des vitraux

Première série des métaux de transition (3d)

Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu

**Sans éléments colorants, un verre est incolore**



# La spectroscopie d'absorption optique

Informations apportées par la couleur



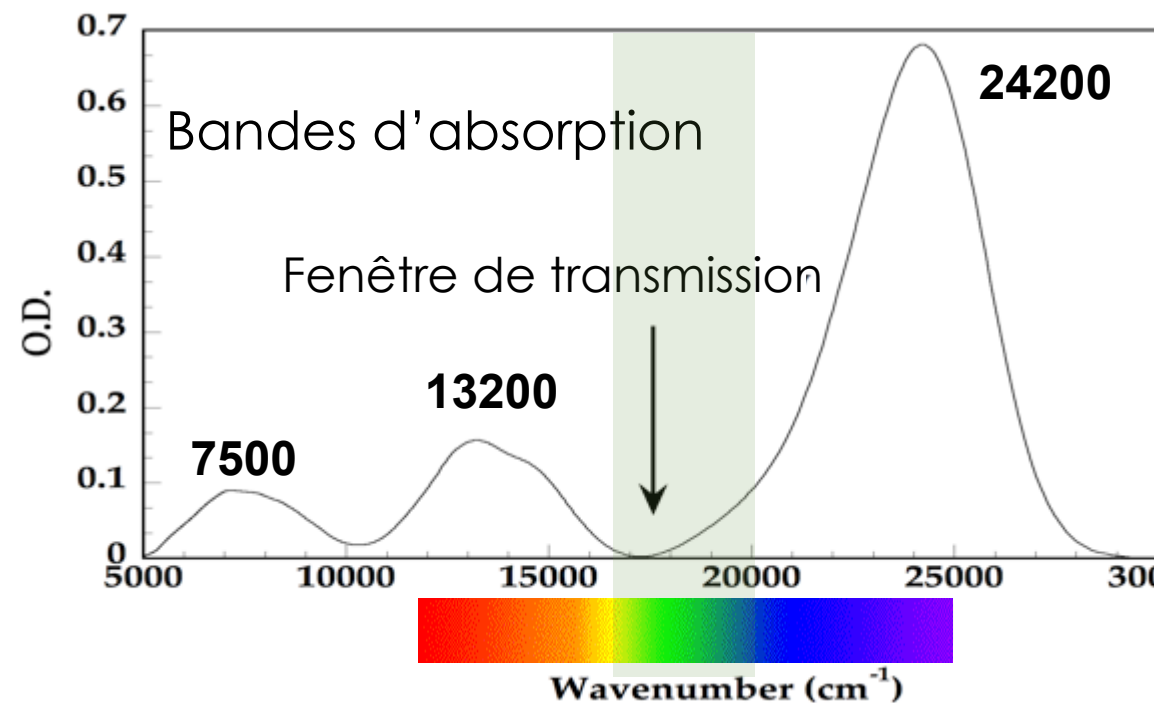
$\text{Ni}^{2+}$

Verre + élément colorant



L'ensemble des longueurs d'onde **visibles** constitue la lumière blanche

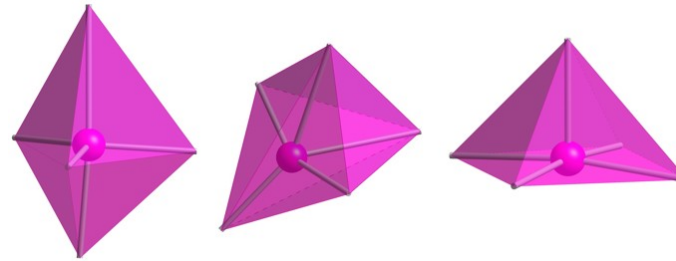
La couleur visible transmise à l'oeil est complément de la lumière absorbée par l'élément colorant dans le verre



# Les « sites » du Verre

Les ions de transition sont incorporés dans la structure du verre

Tetraèdres  $\pm$  distordus  
( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ )



Sites de coordinence 5 ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ...)



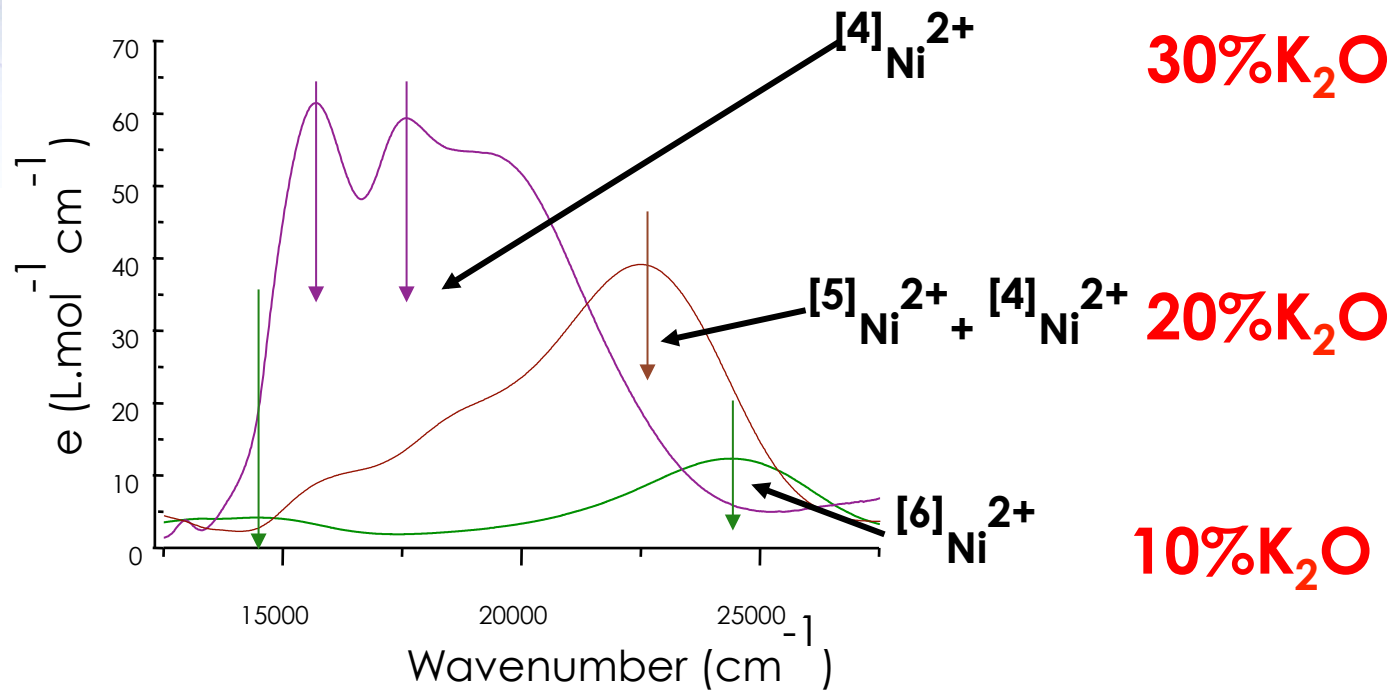
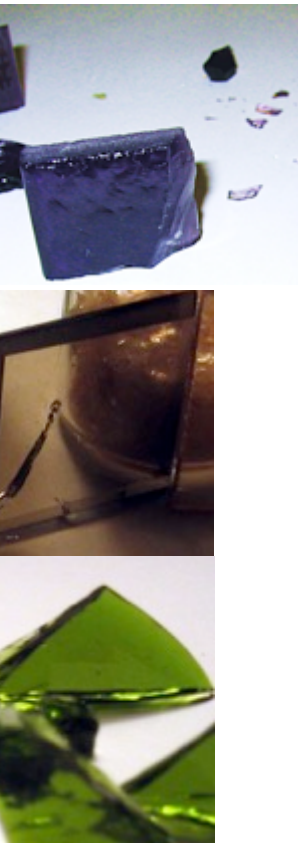
Octaèdres ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ )



Octaèdres distordus  
( $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ )

# Spectres optiques de verres au Ni<sup>2+</sup>

Une couleur pour un type de site donné



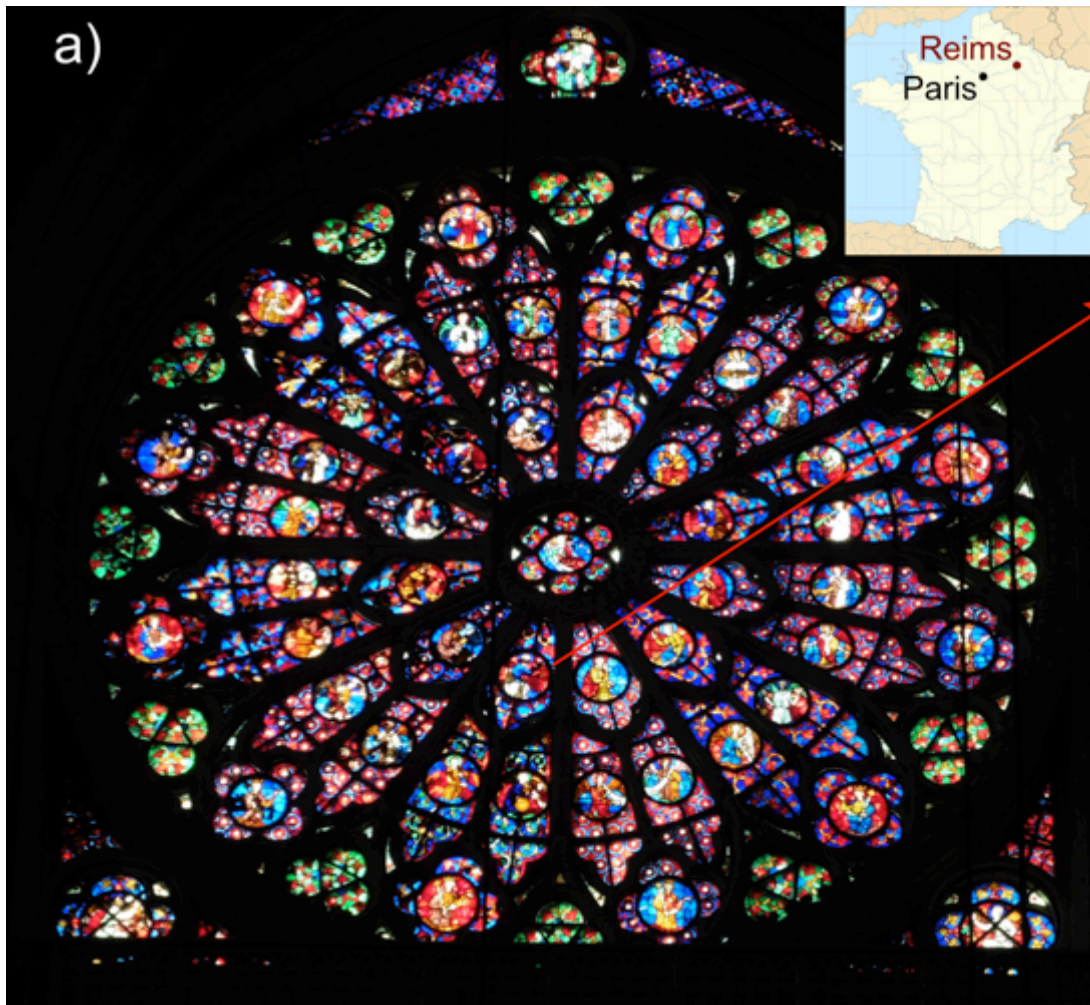
la teneur en alco  
modifie les s  
disponibles pour le  
et de  
la couleur du ve

## La couleur apporte des informations

Nature du colorant, composition du verre, site occupé et état redox de l'élément colorant, structure globale du verre, mélange de colorants et interactions...

# Les couleurs des vitraux de la Grande Rose de la Cathédrale de Reims

(Thèse Natan Capobianco 2016)



Un contrôle important de  
conditions de synthèse du v



# La cathédrale gothique de Reims (1211-1516)

UNESCO Cultural Heritage Monument



Bombardée pendant la  
1<sup>ère</sup> guerre mondiale

1500 m<sup>2</sup> de vitraux ont été  
épargnés sur les 3900 m<sup>2</sup>  
qui existaient encore au  
début du 20<sup>ème</sup> siècle



Grande Rose, 13<sup>ème</sup> Siècle  
**Campagne de restauration  
2014-2016**

# Mesure de la couleur des vitraux

nécessité d'un instrument adapté

spectrophotomètre optique  
**portable**

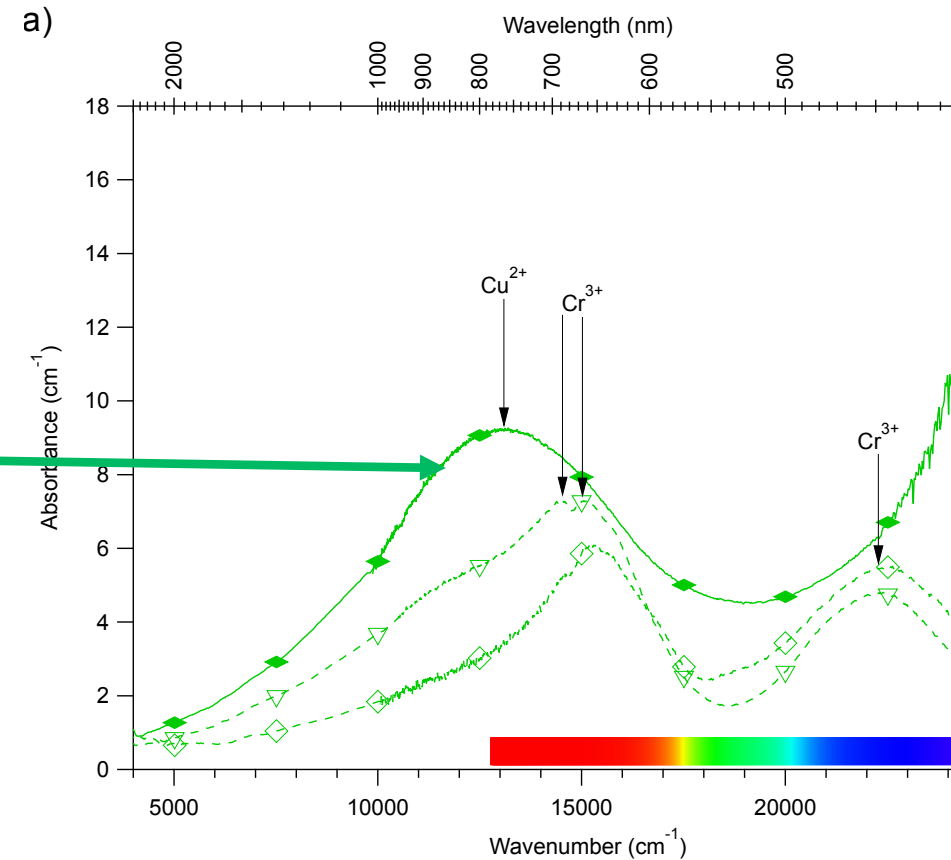
réalisé au point par Myrtille Hunault,  
Matteo Capobianco et Théo  
Caroff



dessin modèle des portiques-supports  
anneau de la Rose de Reims en place  
source et lentille incidente  
source et lentille collectrice

# La couleur verte

## $[6]Cu^{2+}$ et $[6]Cr^{3+}$



non utilisé au 13ème Siècle (découvert au 19ème Siècle) remplace  $Cu^{2+}$  lors des restaurations

13th	20th century	
◆	◇	$Cu^{2+}$
▽	◇	$Cr^{3+}$ & $Cu^{2+}$
◇	◇	$Cr^{3+}$

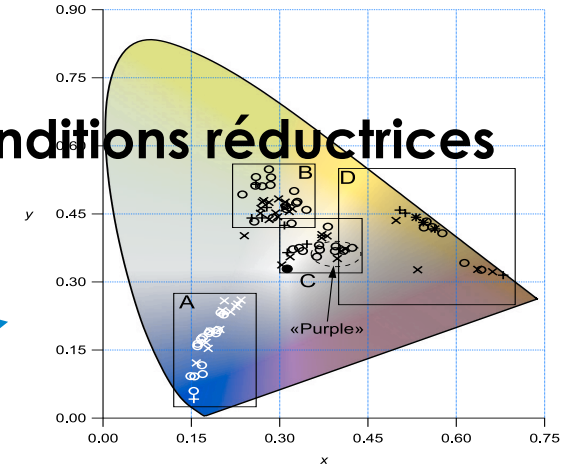
# Les couleurs bleues

$[4,5]Co^{2+}$ ,  $[4,5,6]Fe^{2+}$  et  $[6]Cu^{2+}$

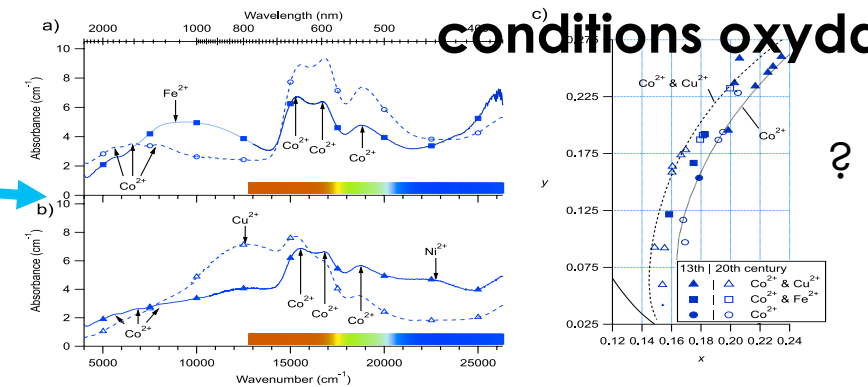
Variations de teintes



## Conditions réductrices



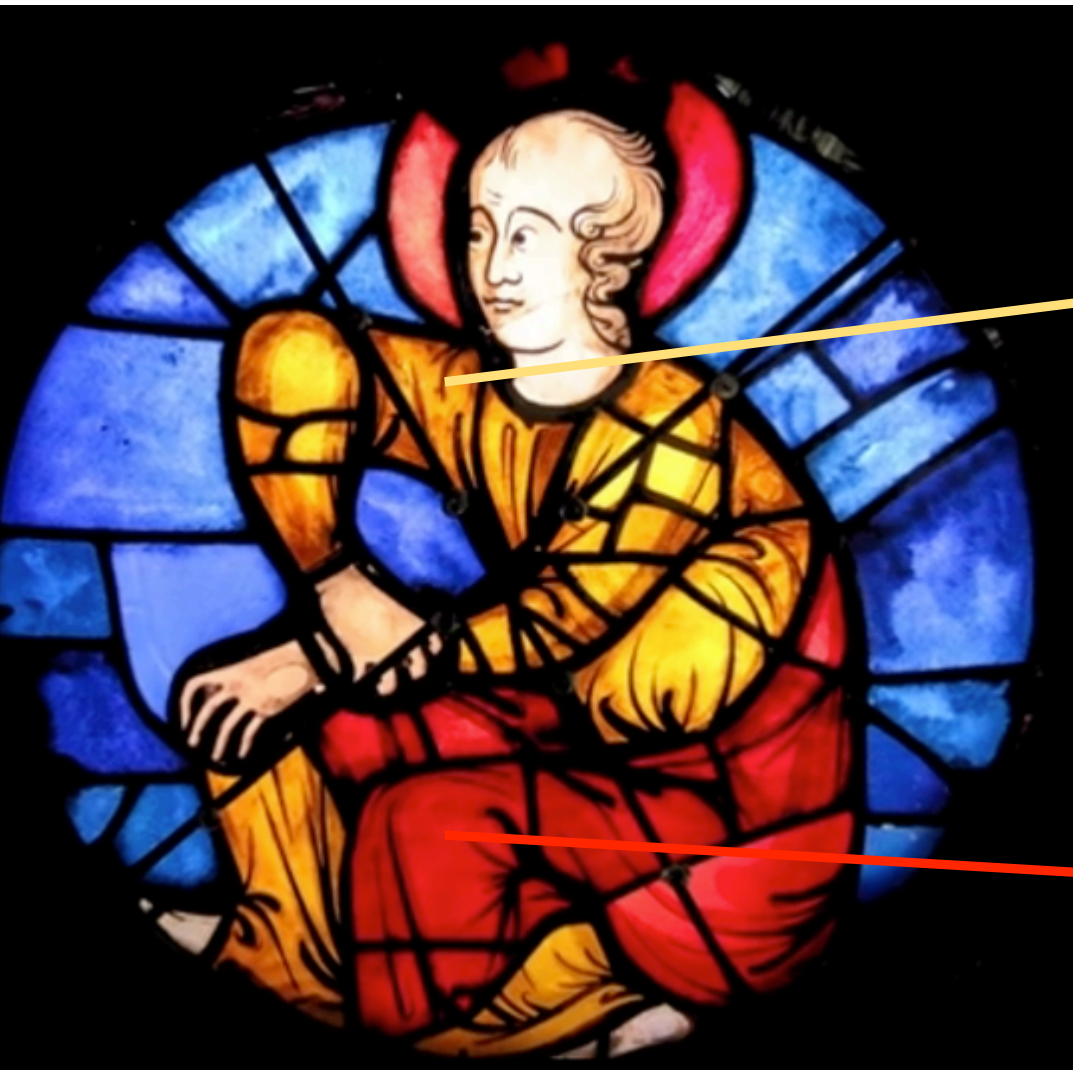
**Figure 3.** CIExy chromaticity diagram of the colour of all the studied samples.  $\circ$ : modern glasses,  $\times$ : medieval glasses. Blue glasses have a white marker for legibility reasons. The black line delimits the area of the plot which is accessible by any of the colours the human eye can see: monochromatic loci and the “purple” line. The black point in the centre has the coordinates of the white point of the diagram. Regions in rectangles will be zoomed in the following figures. Ellipse in region C represents colour of so-called *purple* glasses.



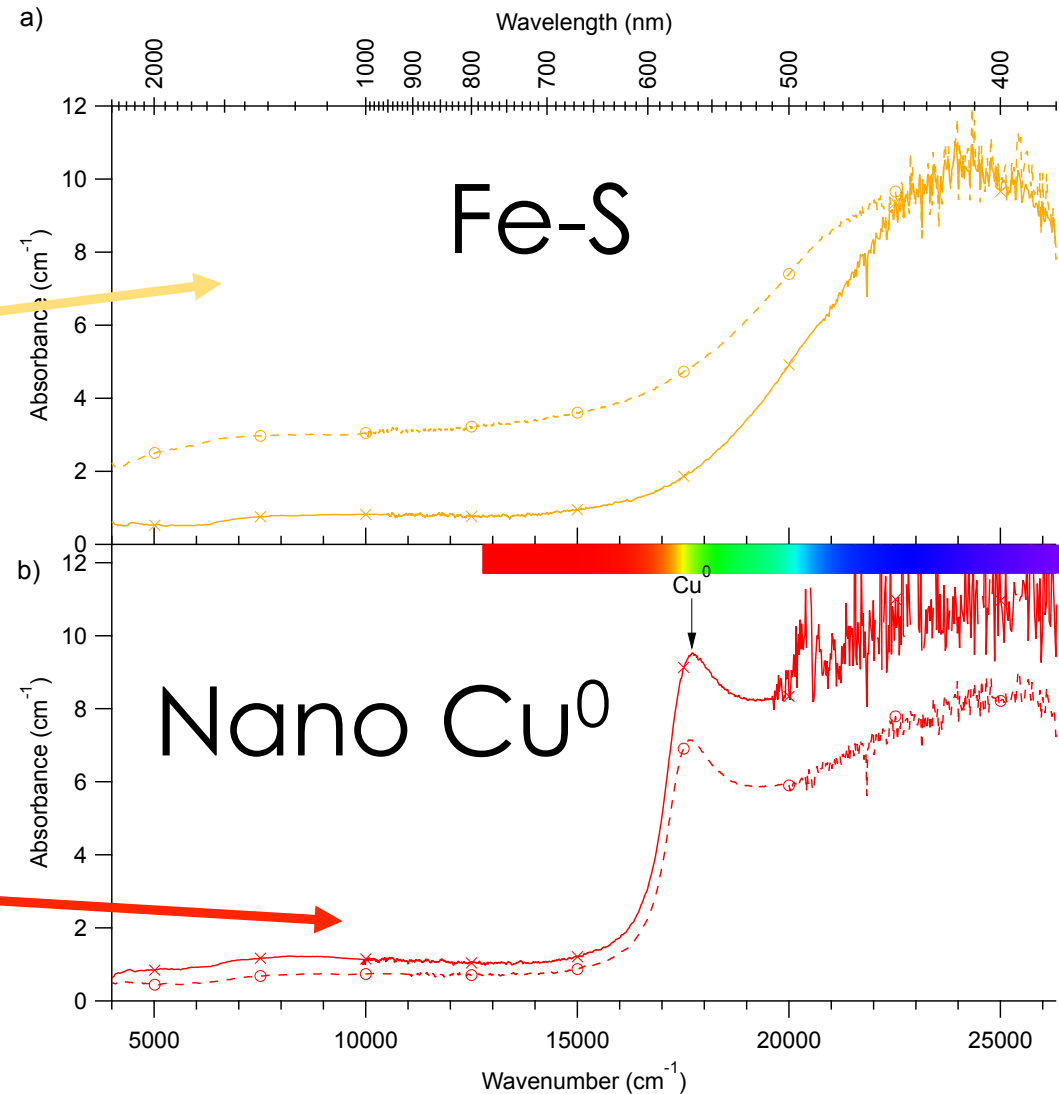
**Figure 4.** (a,b) Thickness normalised optical absorption spectra of the three main types of blue modern (dashed lines) and medieval (solid lines) glasses. Unless explicitly mentioned, spectra are not corrected nor smoothed. Markers refer to the nature of the chromophores (see inset legend of c and main text). (a)  $Co^{2+}$  alone and  $Co^{2+}-Fe^{2+}$  glasses. The lighter coloured line has been smoothed, the original spectrum is given in Supplementary Fig. S11. (b) Examples spectra of  $Co^{2+}-Cu^{2+}$  medieval and modern glasses. (c) Zoom on the CIExy chromaticity diagram for blue glasses (region A of Figure 3). Lines are Beer-Lambert trend lines calculated for spectra representative of a chromophore compositions. Their computation is explained in the methods.

13th   20th century		
▲   △	$Co^{2+}$ & $Cu^{2+}$	
■   □	$Co^{2+}$ & $Fe^{2+}$	
●   ○	$Co^{2+}$	

# Le jaune et le rouge



Complexe Fe-S et Nano Cu<sup>0</sup>  
montrant la maîtrise des **conditions**  
**réductrices** de synthèse du verre





Corpus de verres médiévaux, constitué de 17 pièces de vitraux du 13<sup>ème</sup>, représentant des visages de personnages

Grande diversité couleur carnation?

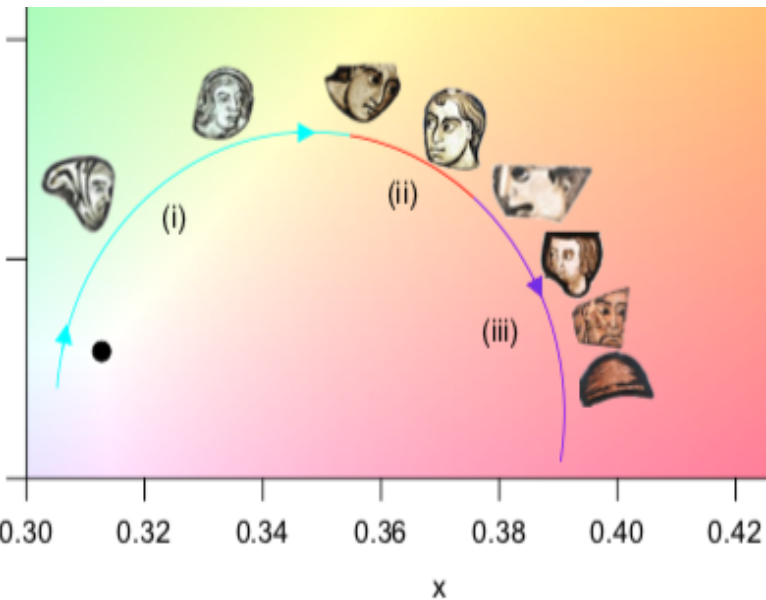
Cathédrales de Chartres, Bourges, Angers et Soissons, et Sainte-Chapelle de Paris

**Collection Dina Vierny**

# Contrôle de l'atmosphère du four

$Mn^{2+}$   $\Leftrightarrow$  très faible coloration

$Mn^{3+}$   $\Leftrightarrow$  coloration pourpre intense



Plus la proportion de  $Mn^{3+}$  est importante, plus la couleur tend vers le rose/marron

**Les maîtres verriers avaient la maîtrise de la synthèse du verre (durée, tpre)  $\Leftrightarrow$  état redox déterminant la couleur des visages**



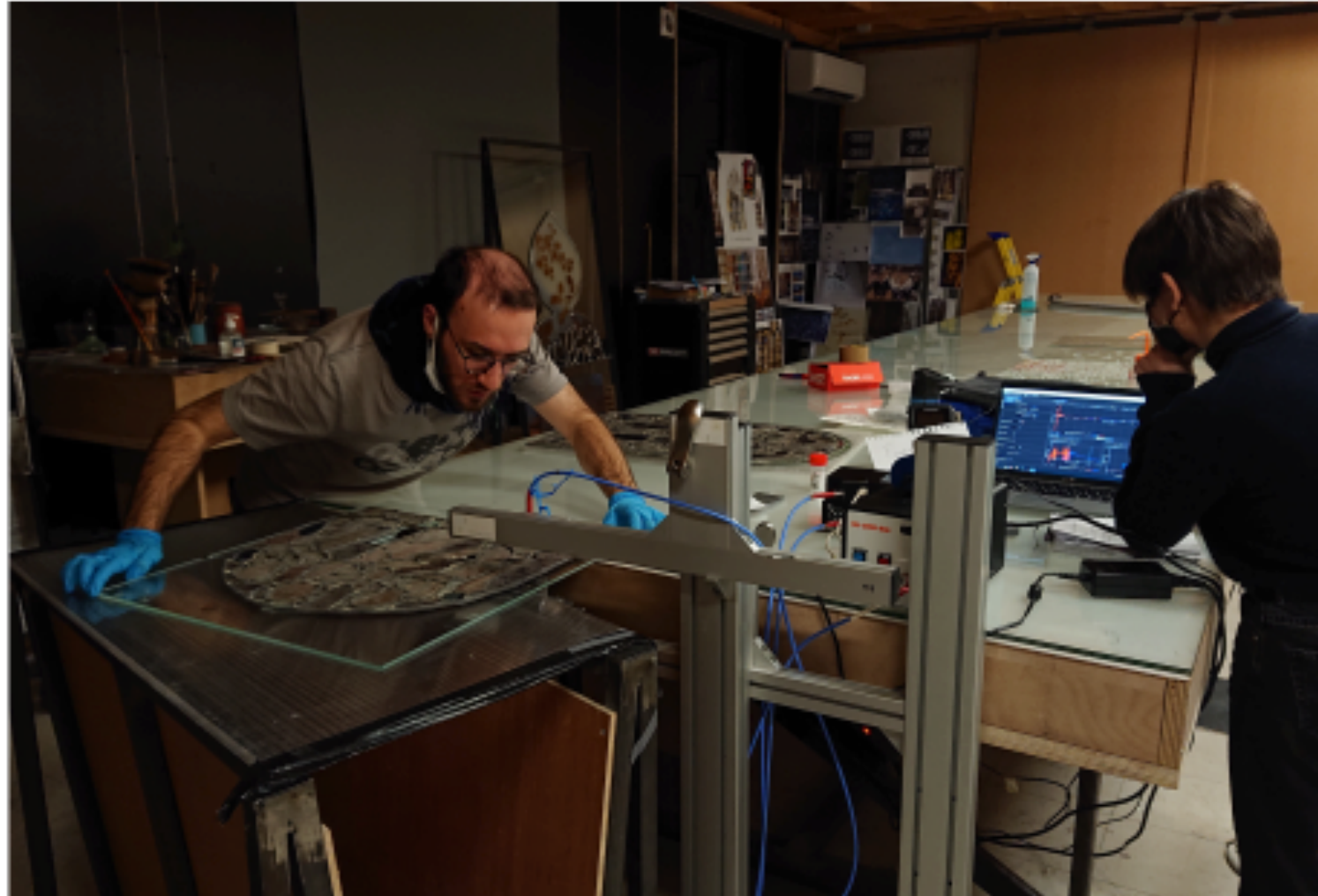
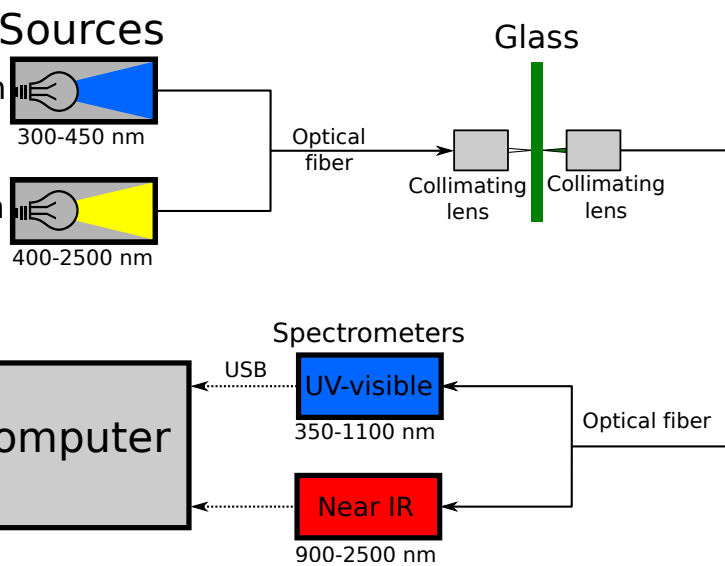
**Vitrail du 12<sup>ème</sup> Siècle  
de la cité du Vitrail  
de Troyes  
(Aube)**

**Thèse Théo Caroff**

La transfiguration du Christ (1170-1180)

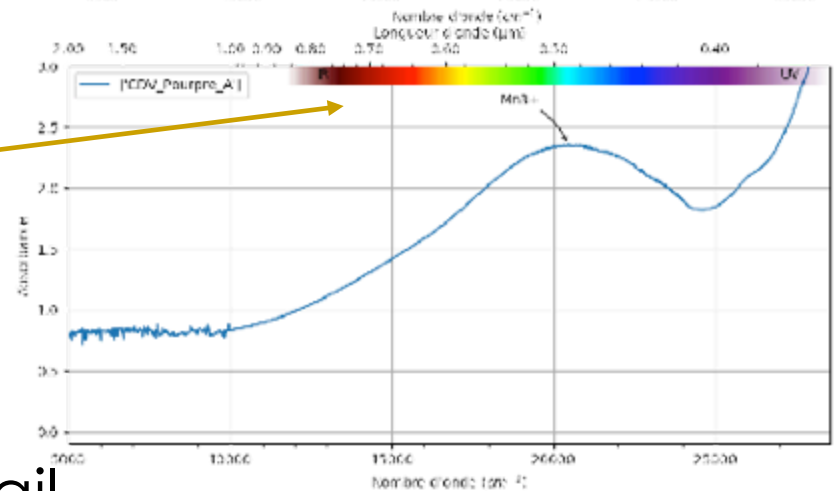
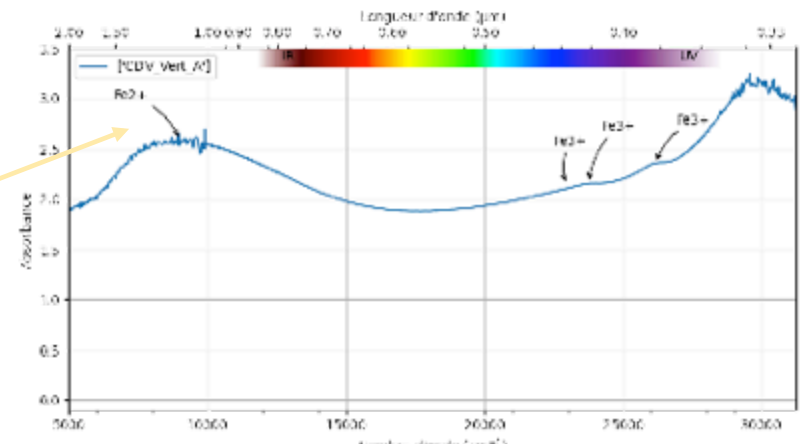
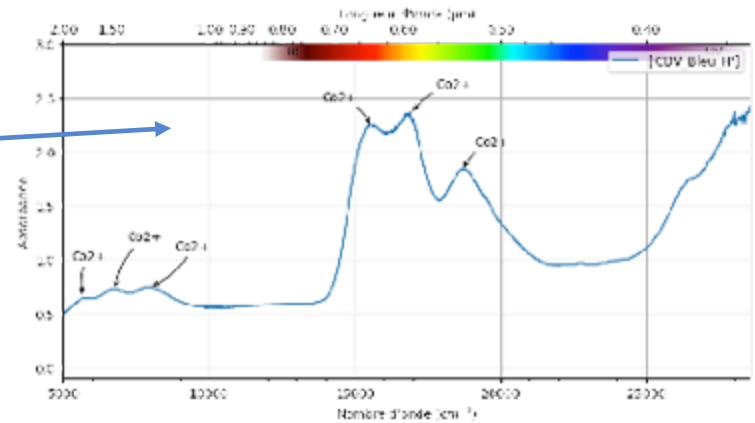


# Des mesures réalisées *in situ* à plat / sans contact





Mesure sur spot  
< 1mm<sup>2</sup>



bonne qualité du signal  
identification fine des espèces colorantes  
origine de la coloration des parties du vitrail

La coopération entre les sciences dites dures et les sciences du Patrimoine permettent peu à peu de pénétrer les mystères des technologies verrières utilisées au Moyen-Âge pour lesquelles peu de témoignages écrits sont arrivés jusqu'à nous

## gens à remercier

an Capobianco

o Caroff

ille Hunault (Synchrotron Soleil)

orges Calas

ald Lelong

rent Cormier

(Equipe PALM, IMPMC)

e-Claire Garbe (Cité du Vitrail, Troyes)

e-Sophie Murray (Cité du Vitrail, Troyes)

ie Vincent-Petit (manufacture Vincent-Petit)

udine Loisel (LRMH)

oara Trichereau (LRMH)

e Balcon Berry (Centre André Chastel)

s qui cette présentation n'aurait pu être

isée



„Mildefenster“

Cologne Cathedral

modified