

# Plage Dynamique



GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique, Hiver 2016

Jean-François Lalonde

Merci à P. Debevec et A. Efros!

# La plage dynamique



# Plage dynamique



1



1500



25,000



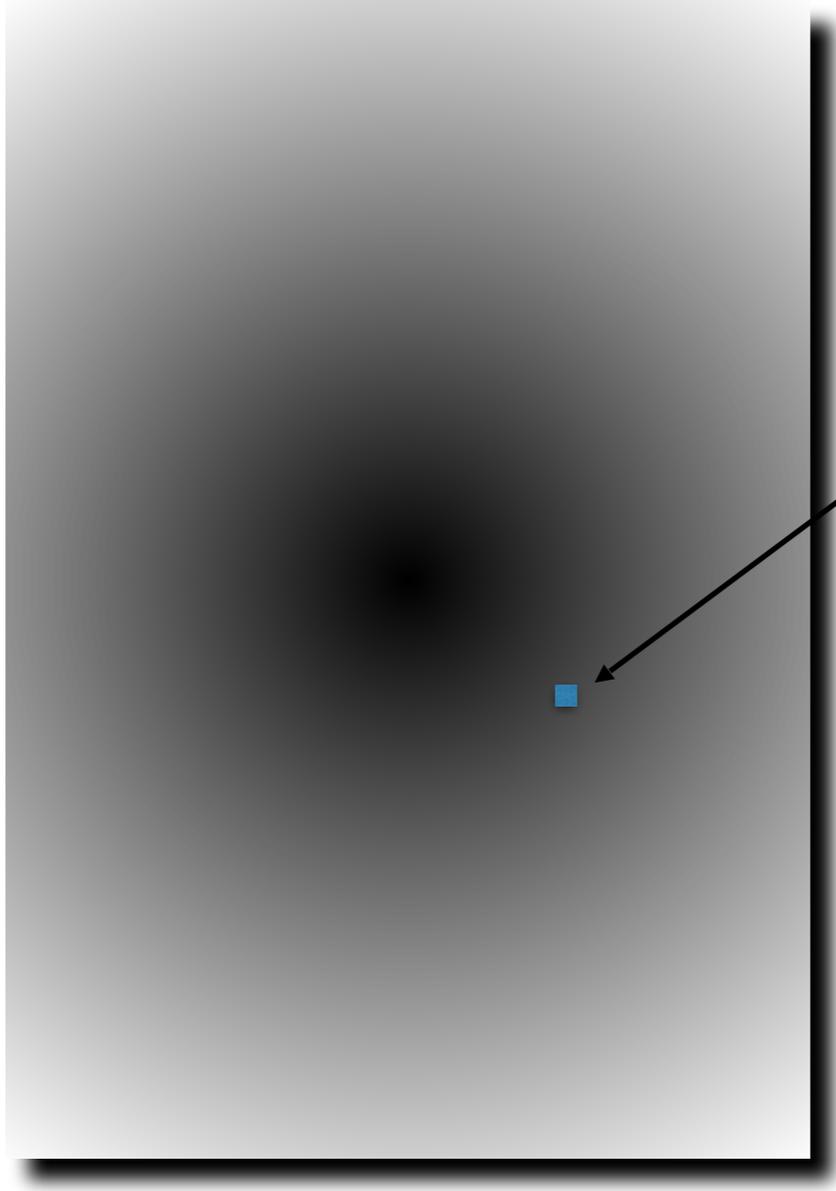
400,000



2,000,000,000

Le monde a une haute plage dynamique!

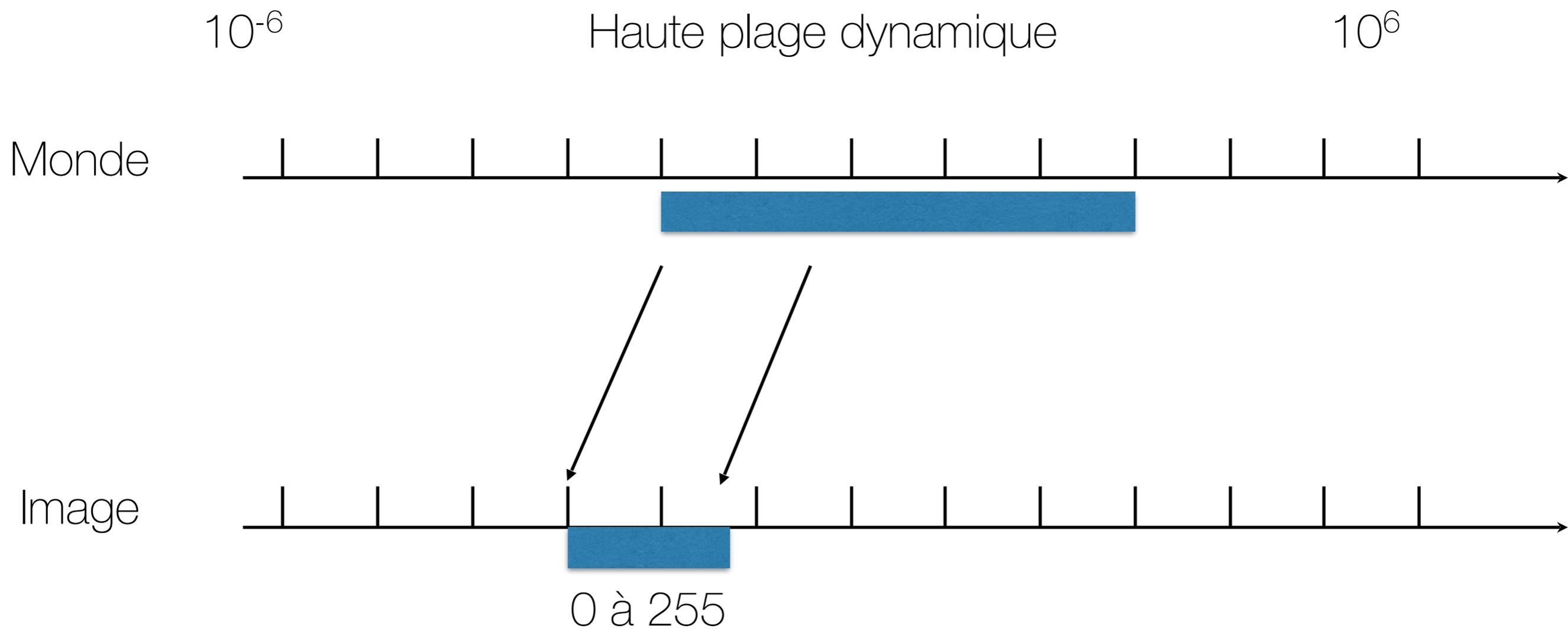
Image



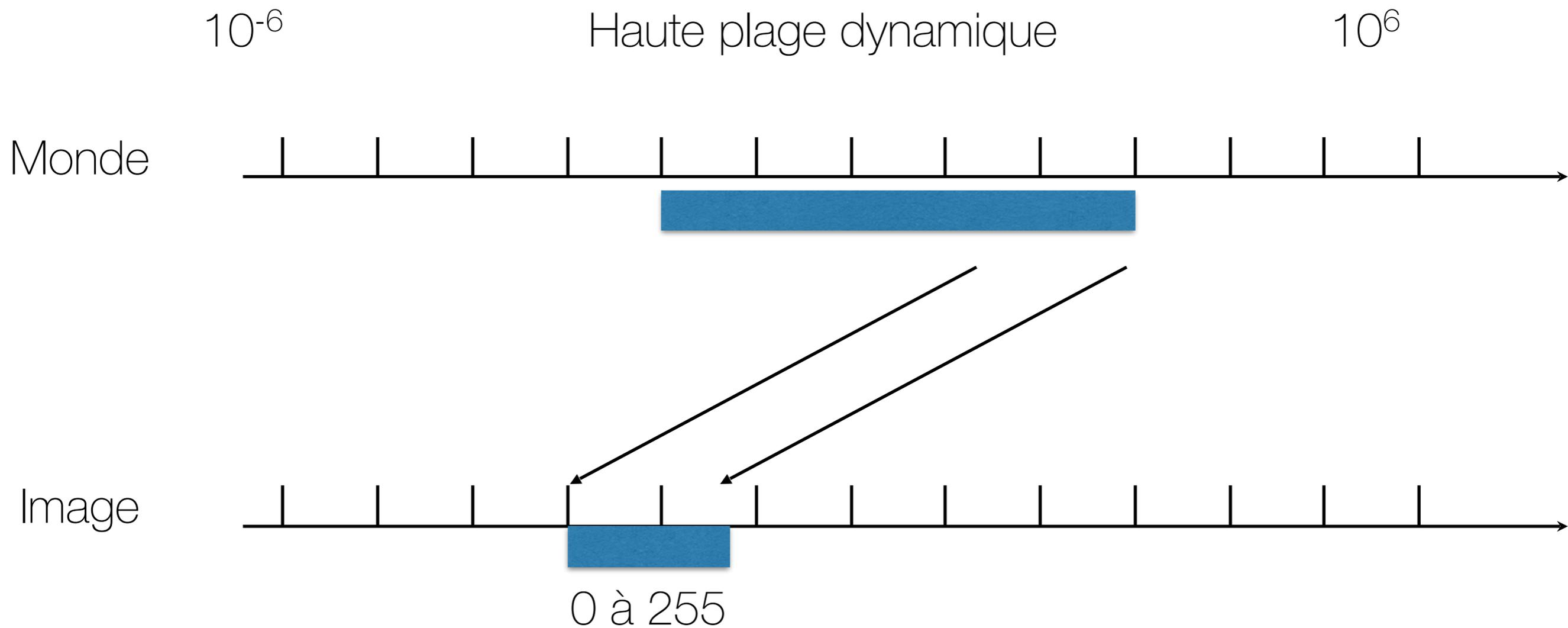
pixel (312, 284) = 42

42 photons?

# Exposition longue



# Exposition courte

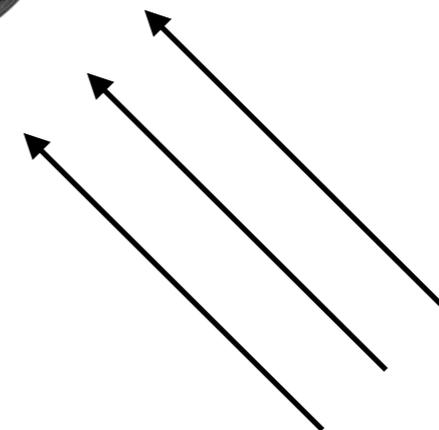


# Calibrage

- Géométrie
  - Relation entre les coordonnées en pixel et les points dans le monde
- Photométrie
  - Relation entre les valeurs d'intensité des pixels et la radiance du monde

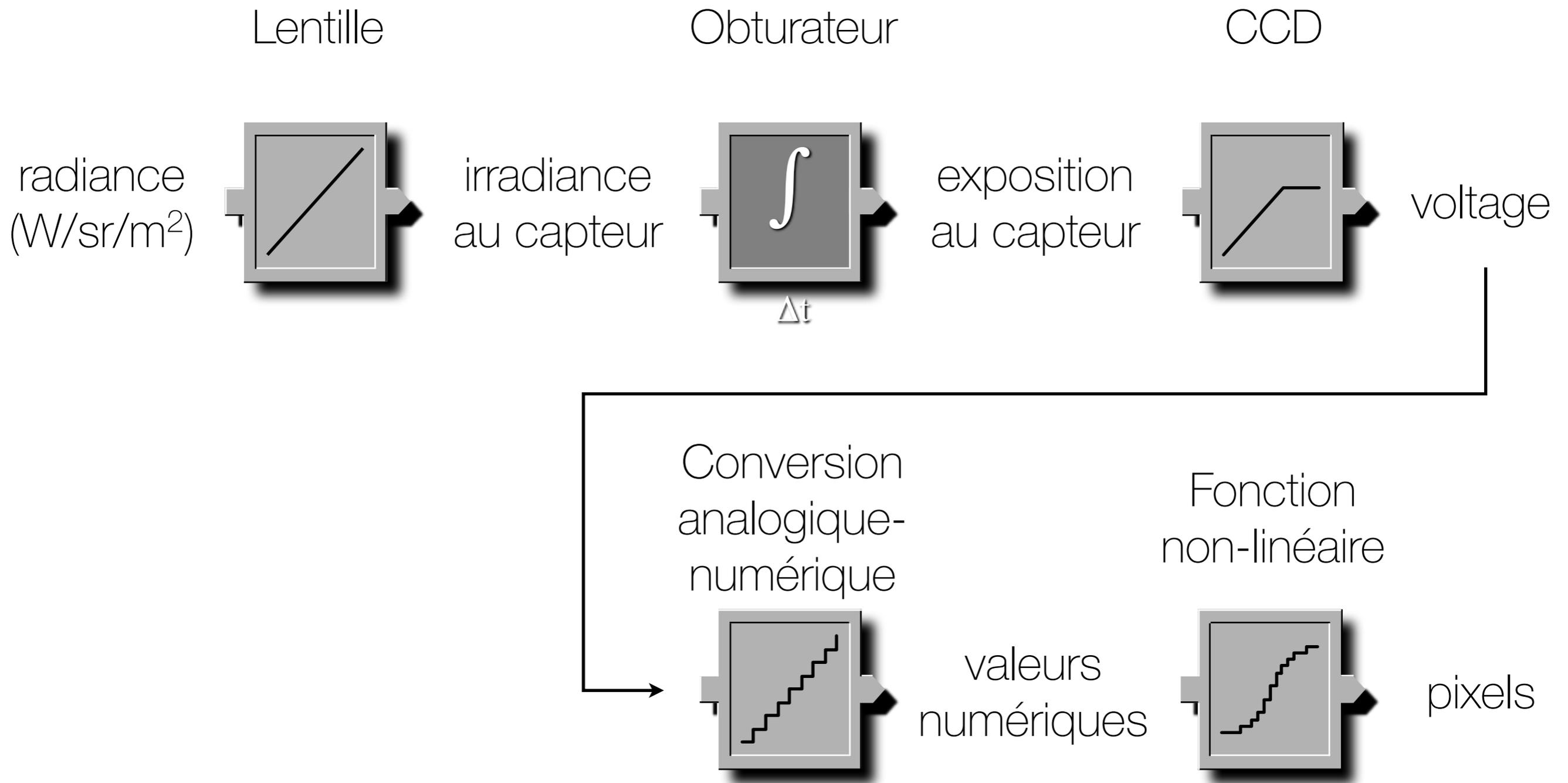
# Caméra

Image

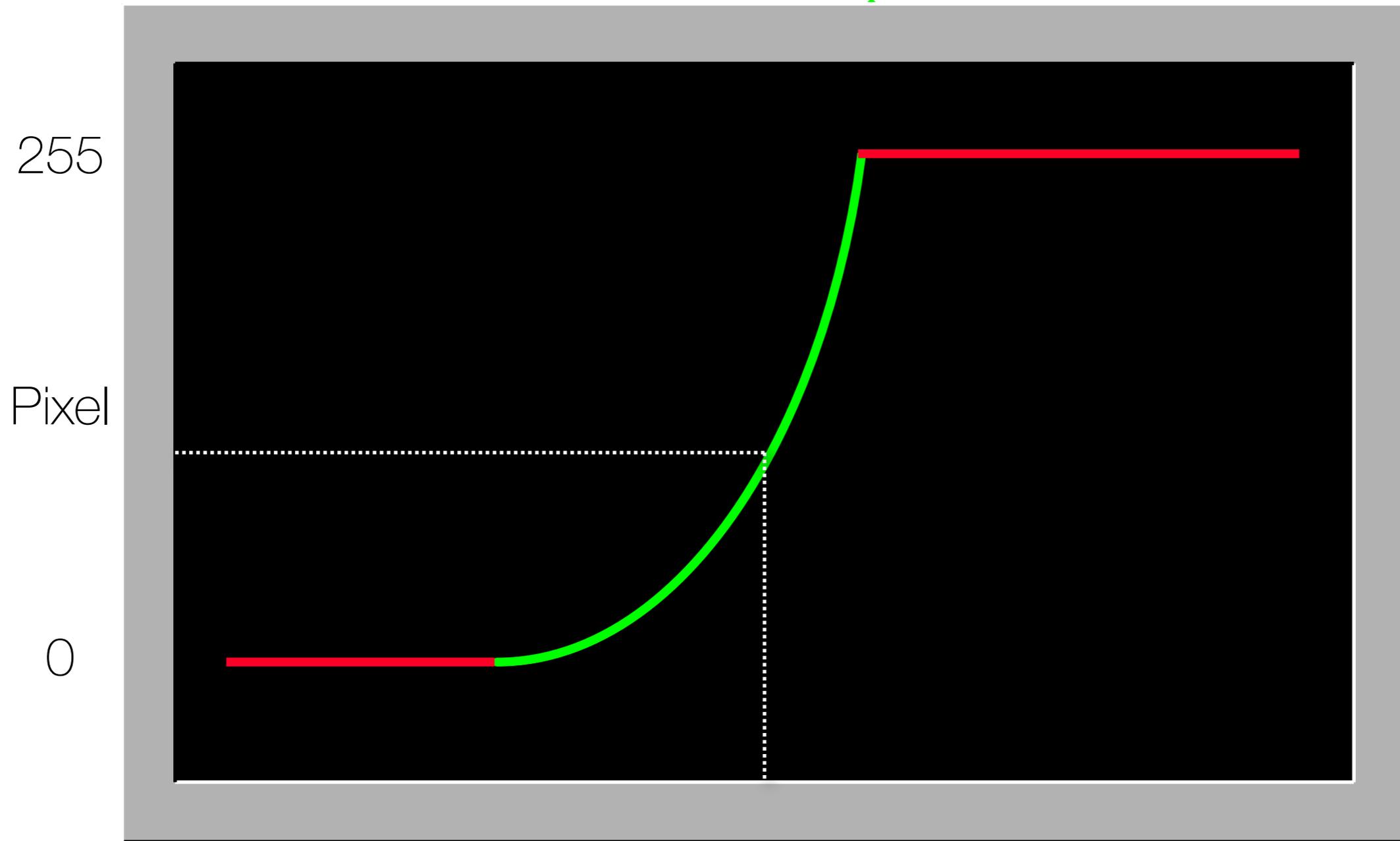


Lumière

# Modèle radiométrique

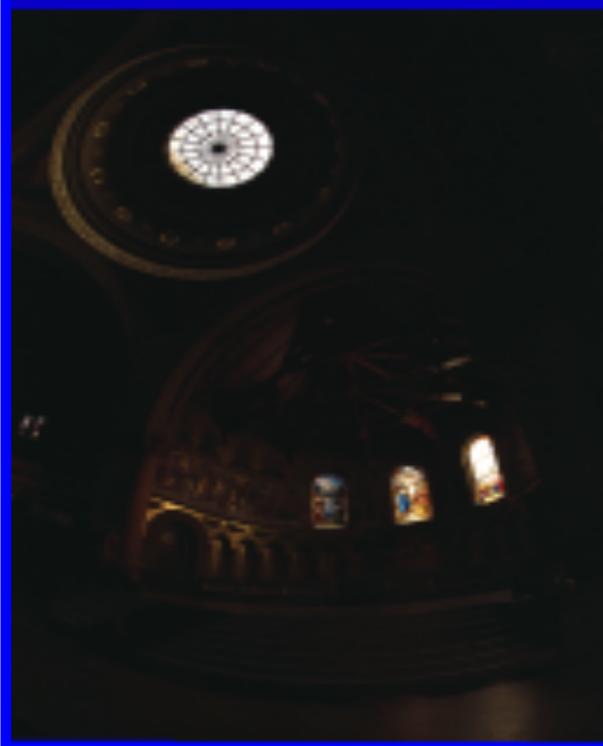
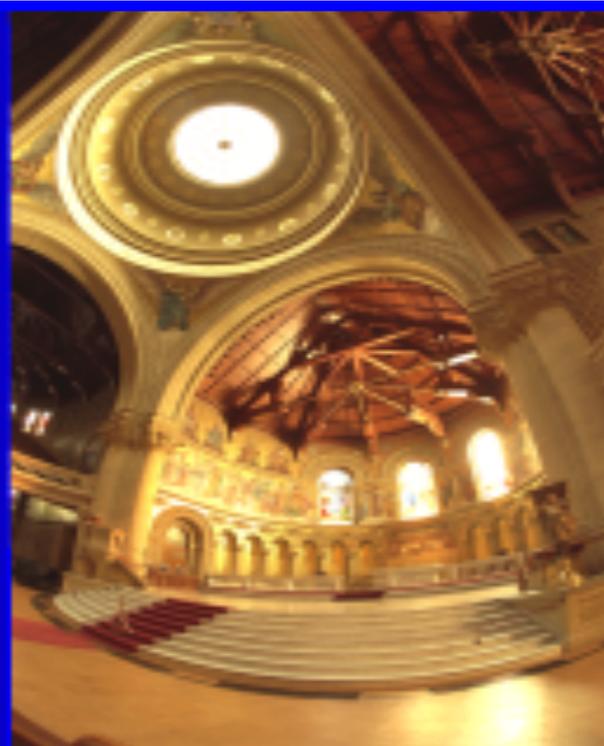


# Réponse du système



$$\log \text{Exposition} = \log (\text{radiance} * \Delta t)$$

(# photons au CCD)



# La caméra n'est pas un photomètre!

- Plage dynamique limitée
  - Photographier plusieurs expositions
- Réponse non-linéaire
  - On ne peut pas convertir directement en radiance
- Solution:
  - Estimer la réponse non-linéaire à partir de plusieurs expositions, et convertir en radiance

# Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs

SIGGRAPH '97  
Paul Debevec  
Jitendra Malik

L'article que vous aurez à implémenter pour le TP5!

# Variation de l'exposition

- Temps d'obturation
  - Quel est le problème?
- F/stop (ouverture, iris)
  - Quel est le problème?
- Filtres (densité neutre)
  - Quel est le problème?



# Temps d'obturation

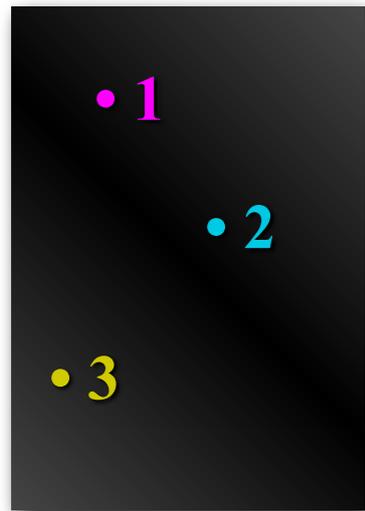
- Ranges:
  - Canon D30: 30 à 1/4,000 sec.
  - Sony VX2000: 1/4 à 1/10,000 sec.
- Avantages:
  - Varie l'exposition directement
  - Facile à répéter et assez précis
- Inconvénients:
  - Longues expositions peuvent avoir du bruit

# Temps d'obturation

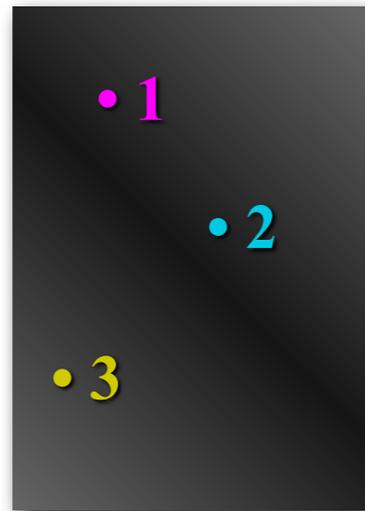
- Habituellement, à chaque “stop” on diminue la lumière d'un facteur 2
  - $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{15}$ ,  $\frac{1}{30}$ ,  $\frac{1}{60}$ ,  $\frac{1}{125}$ ,  $\frac{1}{250}$ ,  $\frac{1}{500}$ ,  $\frac{1}{1000}$  s
- Sont en fait:
  - $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{32}$ ,  $\frac{1}{64}$ ,  $\frac{1}{128}$ ,  $\frac{1}{256}$ ,  $\frac{1}{512}$ ,  $\frac{1}{1024}$ s

# Algorithme

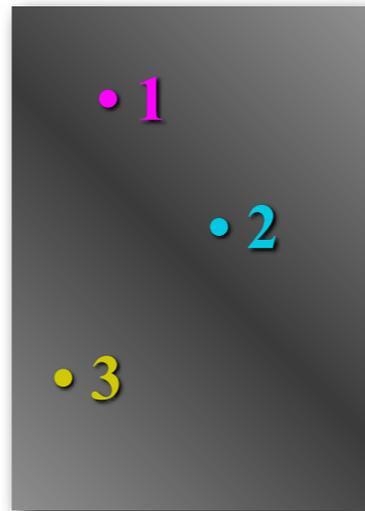
Série d'images



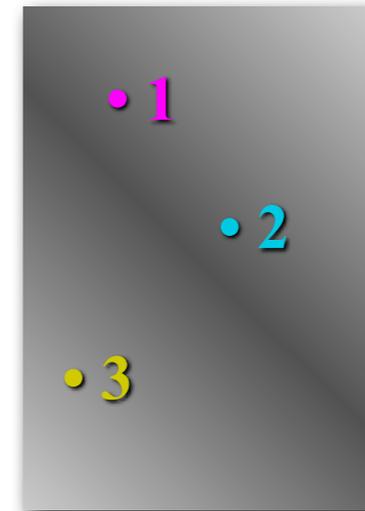
$\Delta t = 1/64 \text{ sec}$



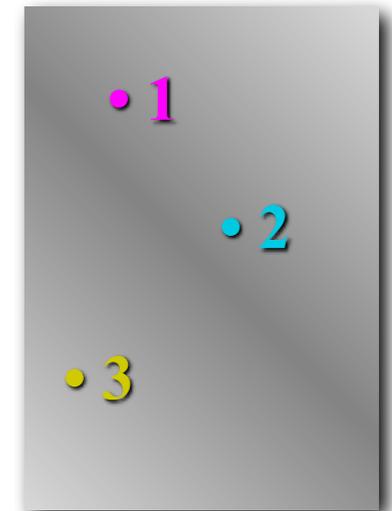
$\Delta t = 1/16 \text{ sec}$



$\Delta t = 1/4 \text{ sec}$



$\Delta t = 1 \text{ sec}$



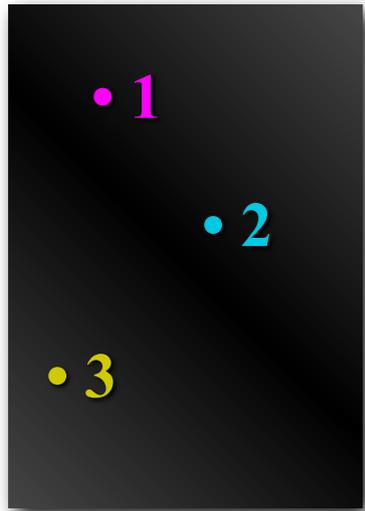
$\Delta t = 4 \text{ sec}$

$$z = f(\text{exposition})$$

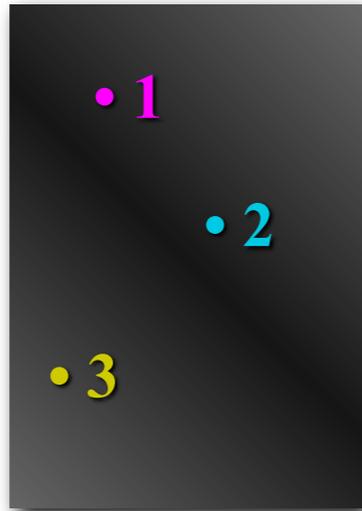
$$\text{exposition} = \text{radiance} \times \Delta t$$

# Algorithme

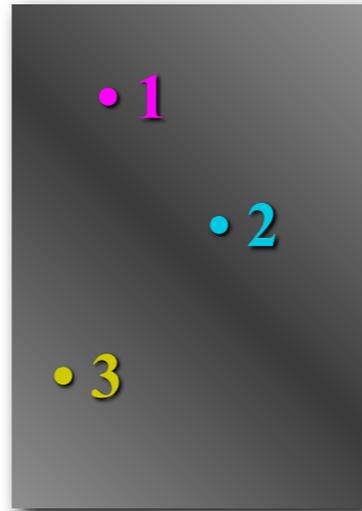
Série d'images



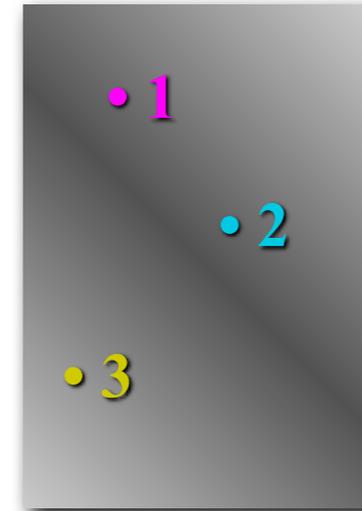
$\Delta t = 1/64$  sec



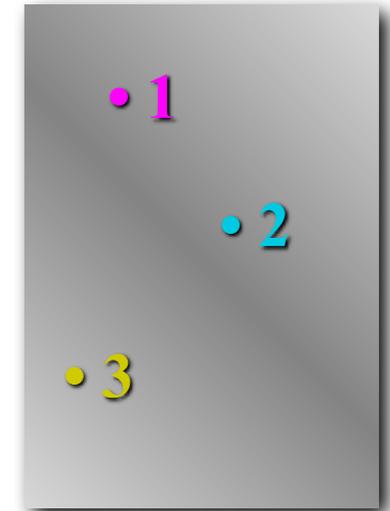
$\Delta t = 1/16$  sec



$\Delta t = 1/4$  sec



$\Delta t = 1$  sec



$\Delta t = 4$  sec

$$z_{ij} = f(\text{exposition}_{ij})$$

$$\text{exposition}_{ij} = \text{radiance}_i \times \Delta t_j$$

$$z_{ij} = f(\text{radiance}_i \times \Delta t_j)$$

$$\text{radiance}_i \times \Delta t_j = f^{-1}(z_{ij})$$

$$\log \text{radiance}_i + \log \Delta t_j = g(z_{ij})$$

# Math

- Notons la fonction inverse discrétisée:  $g(z)$
- Pour chaque pixel  $i$  dans une image  $j$ , nous avons:

$$\log \text{radiance}_i + \log \Delta t_j = g(z_{ij})$$

$$r_i + t_j = g(z_{ij})$$

- Système d'équations linéaires sur-contraint:

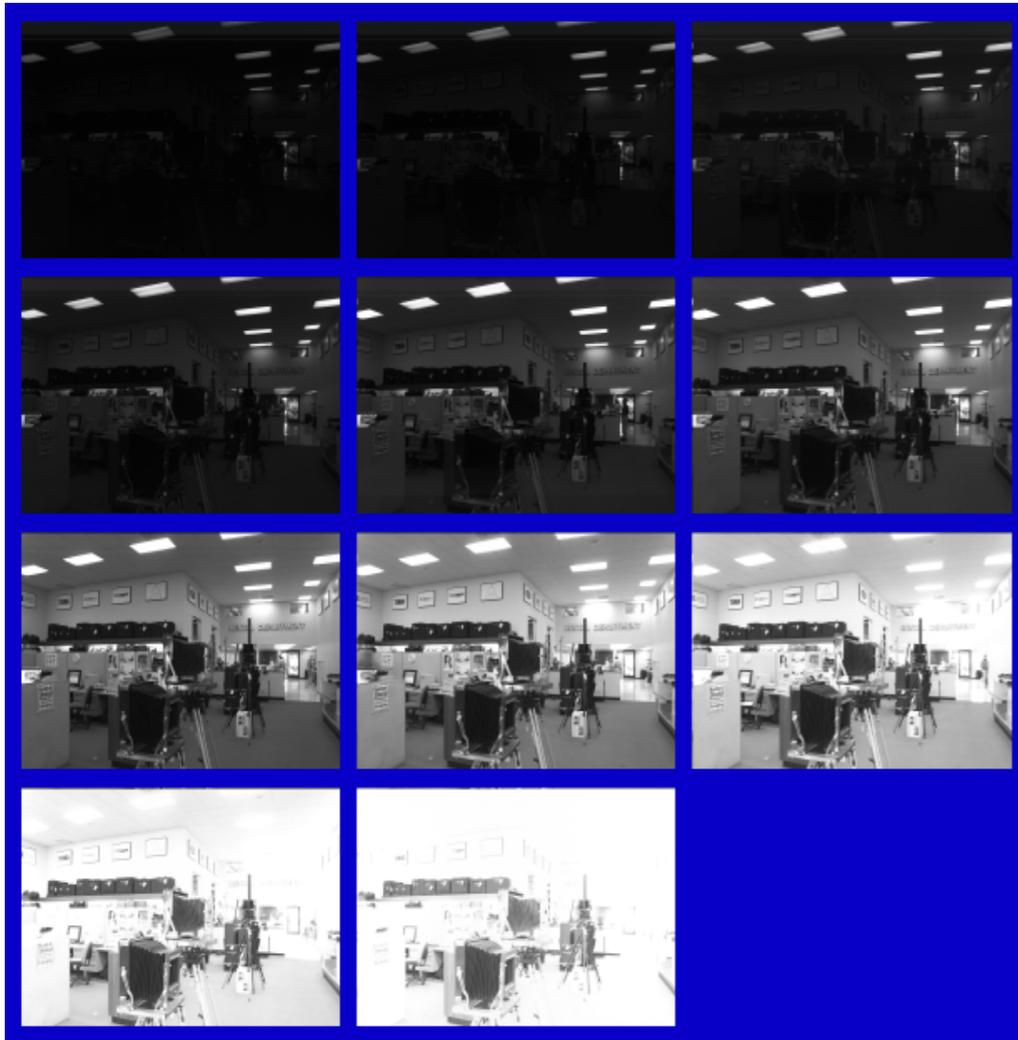
$$\sum_{i \in \text{pixels}} \sum_{j \in \text{images}} (r_i + t_j - g(z_{ij}))^2 + \lambda \sum_{z=0}^{255} g''(z)^2$$

composante pour s'assurer  
qu'on approxime les données

composante s'assurer  
que la courbe soit lisse

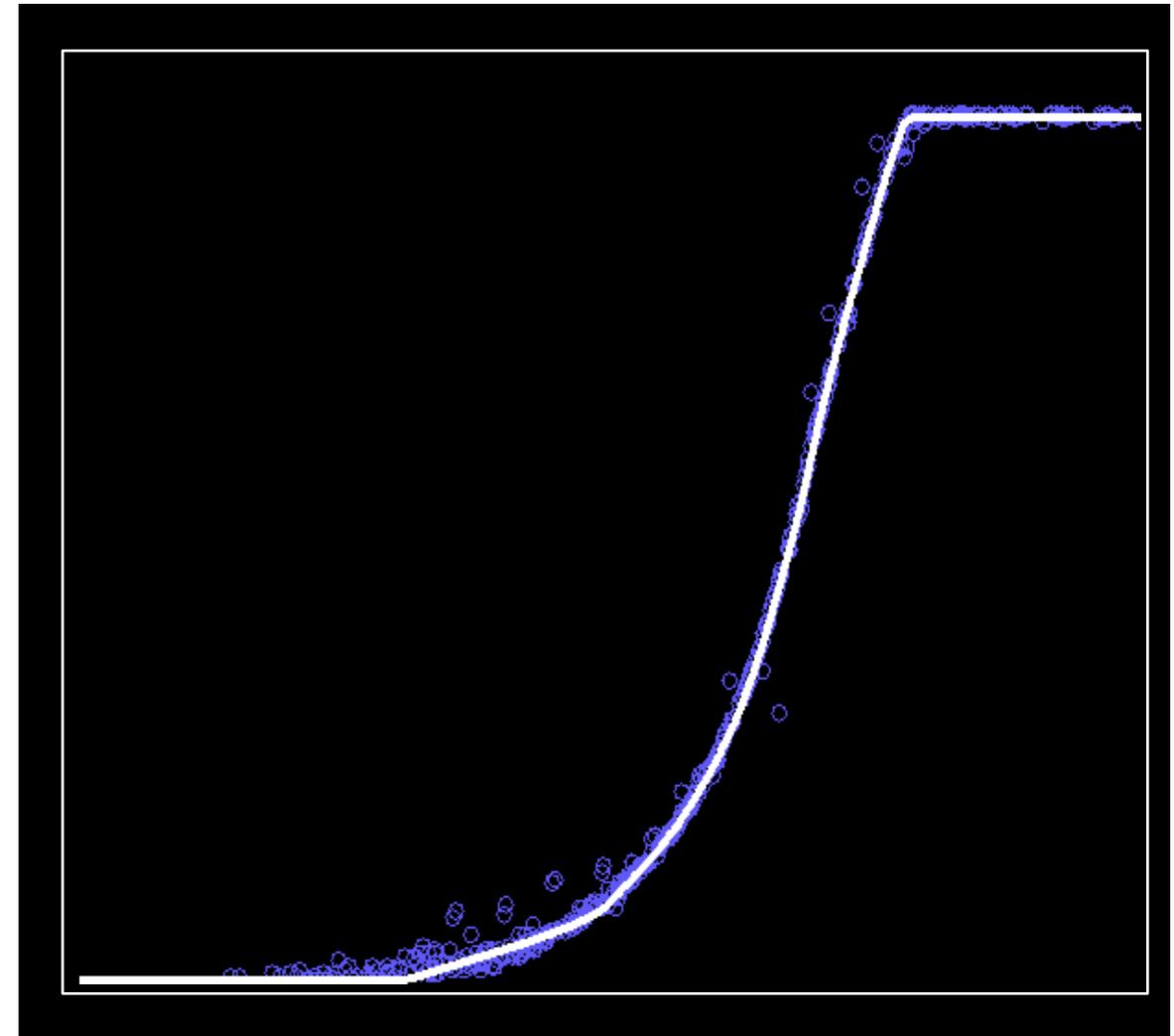
# Résultat

Kodak DCS460  
1/30 à 30 sec



Pixel

Courbe estimée

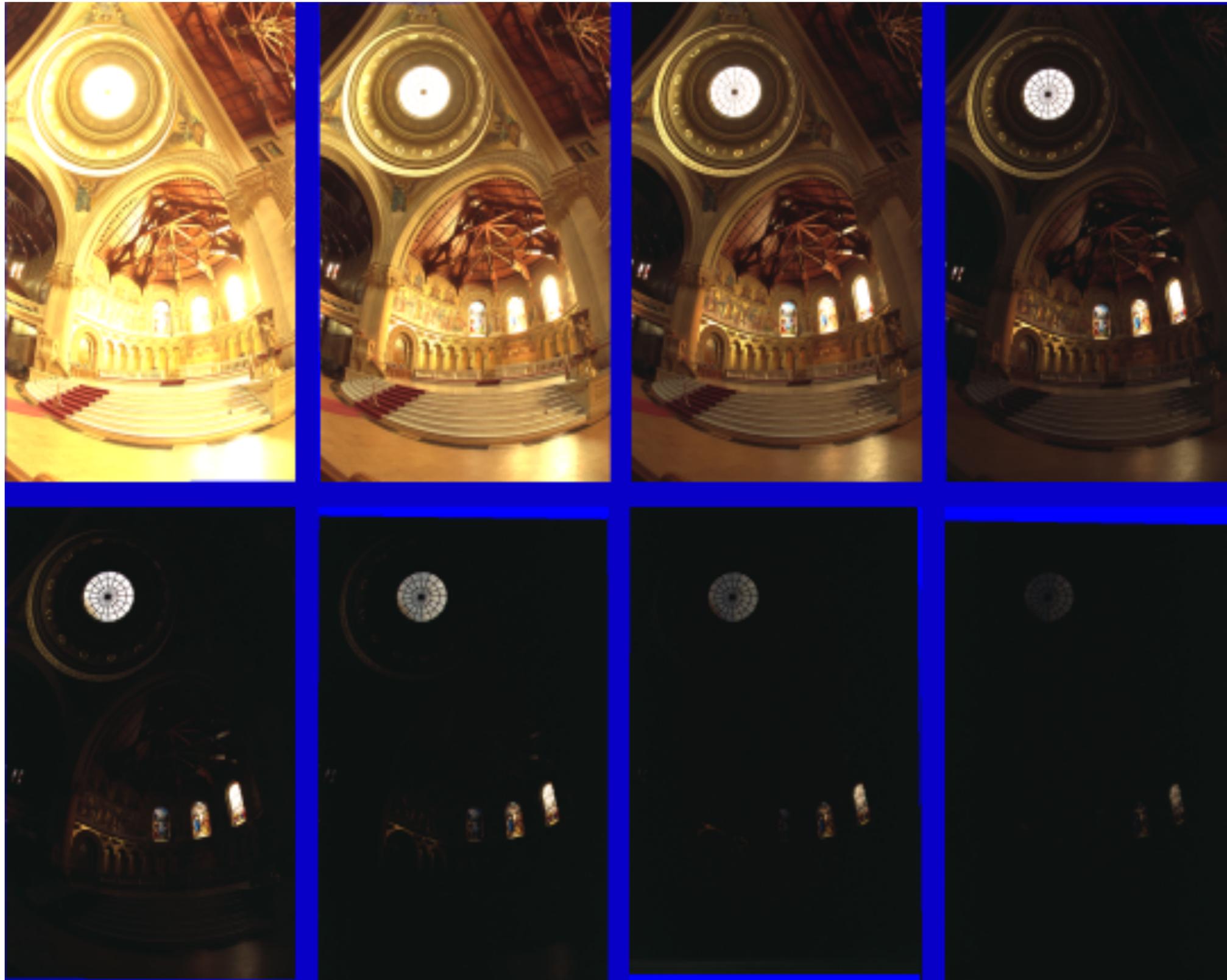


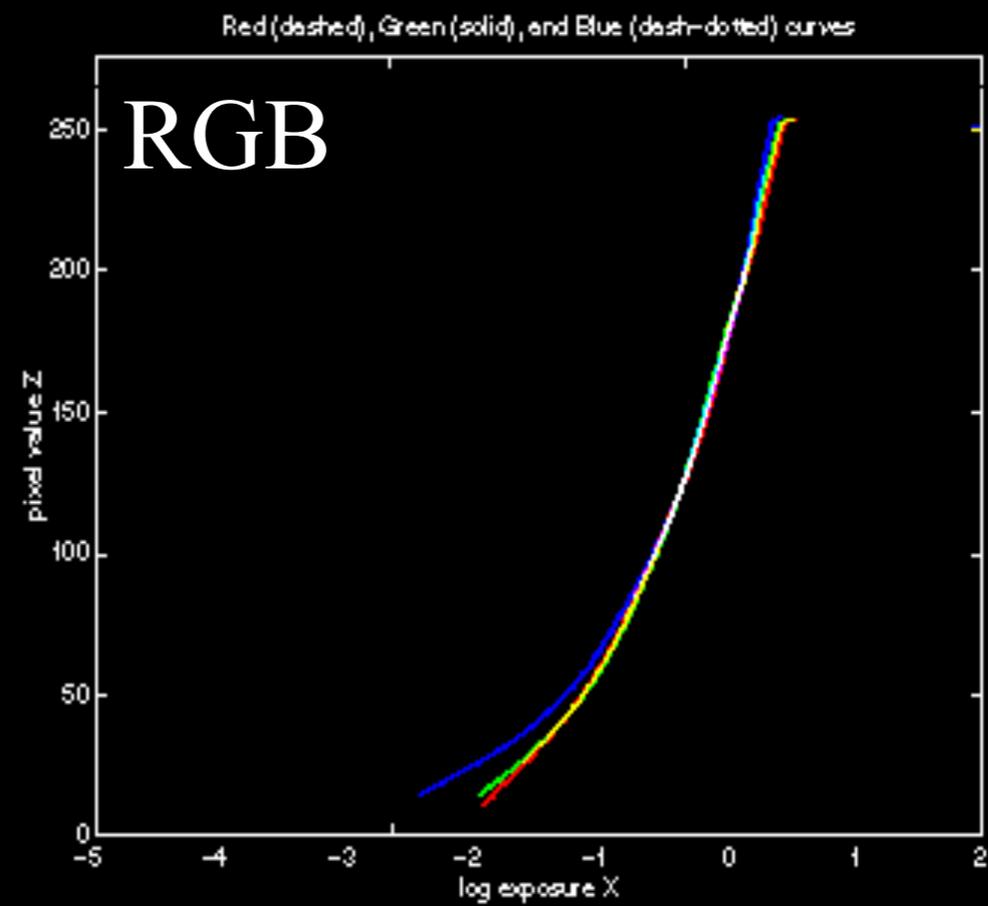
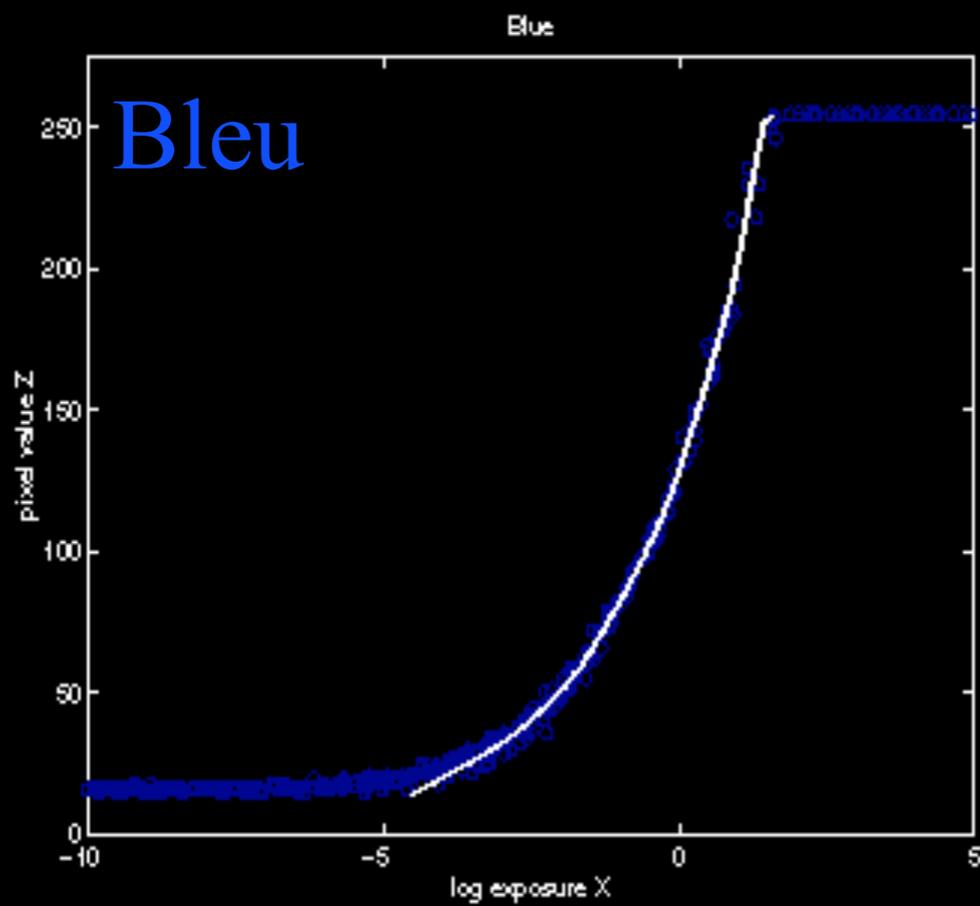
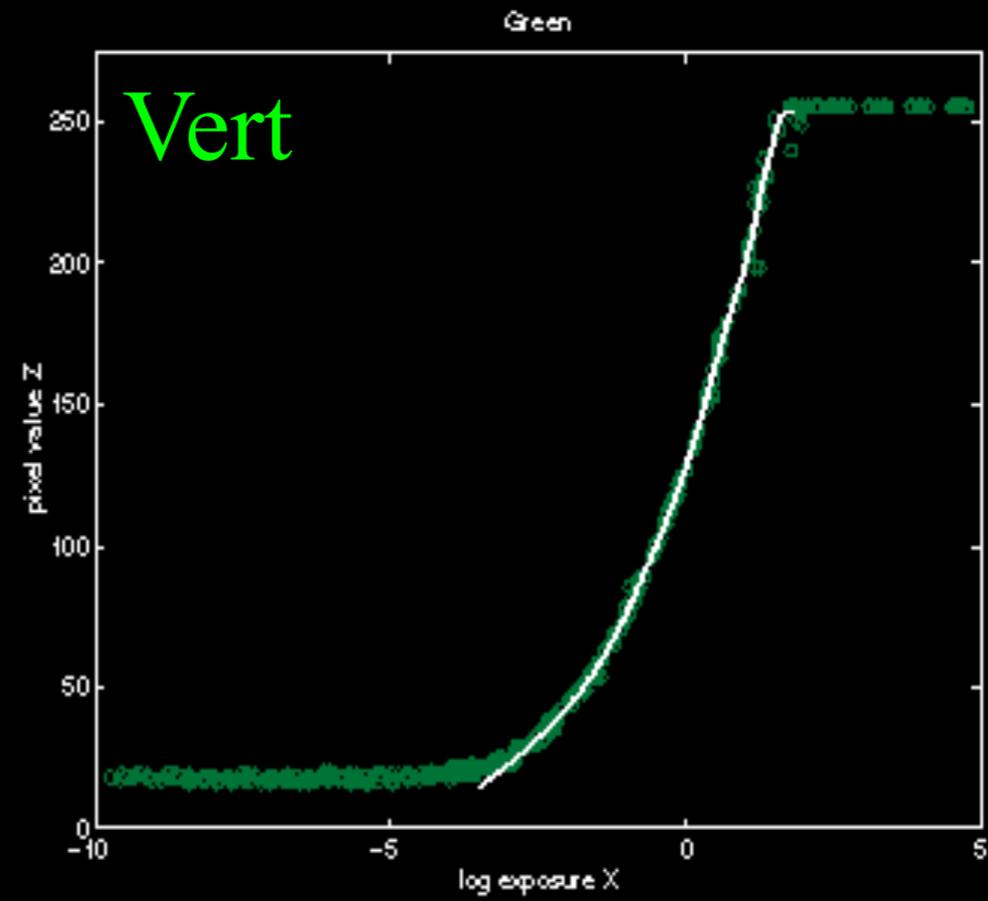
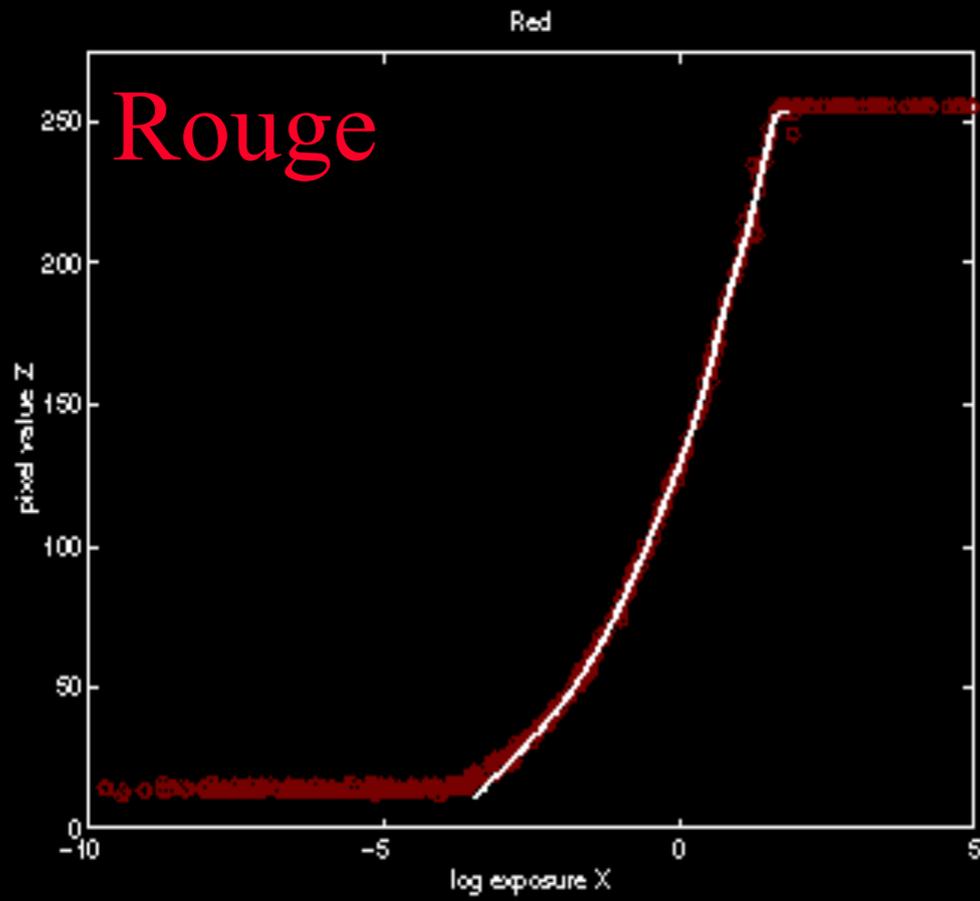
log exposition

# Radiance

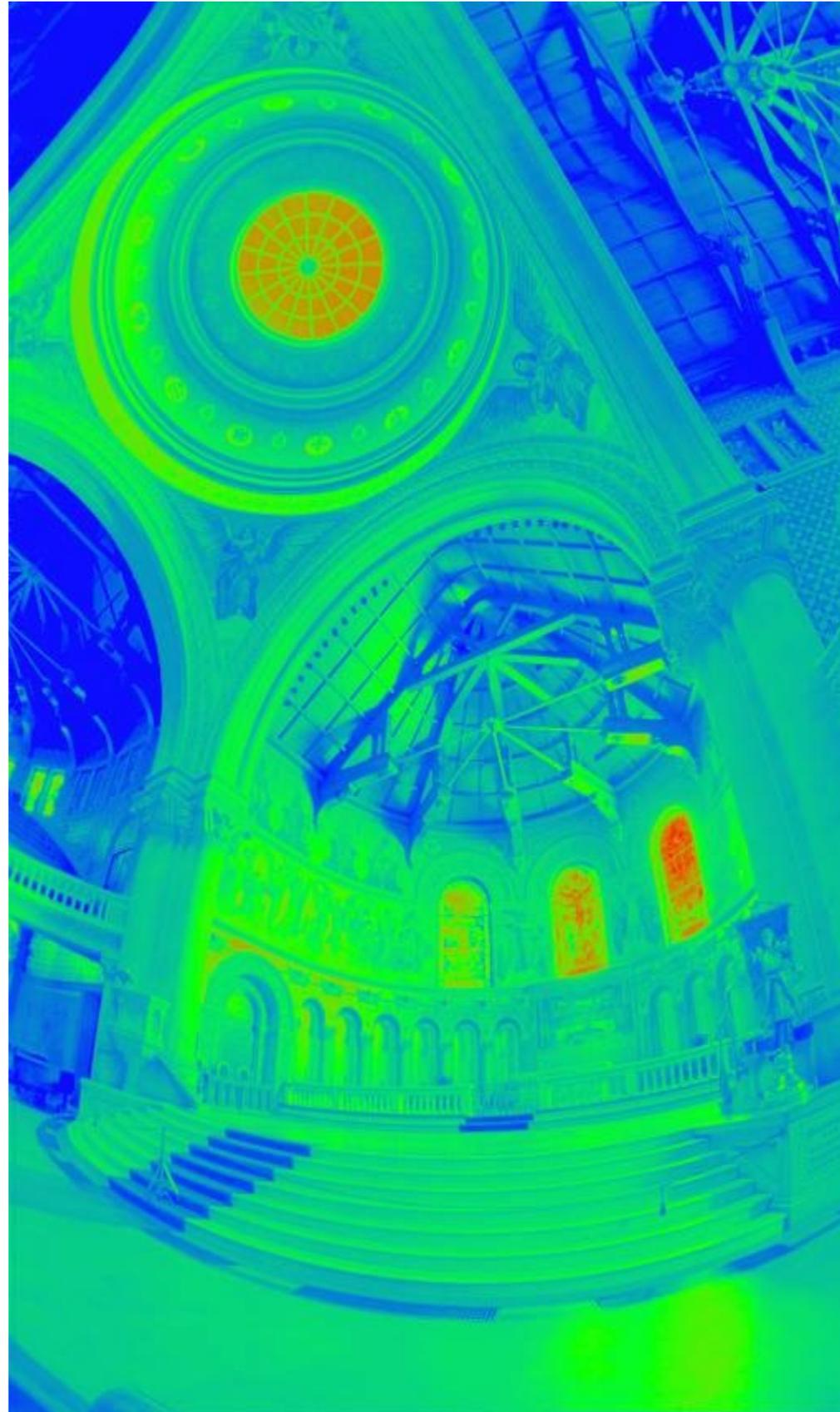


# Résultats: couleur





# Radiance



# Radiance

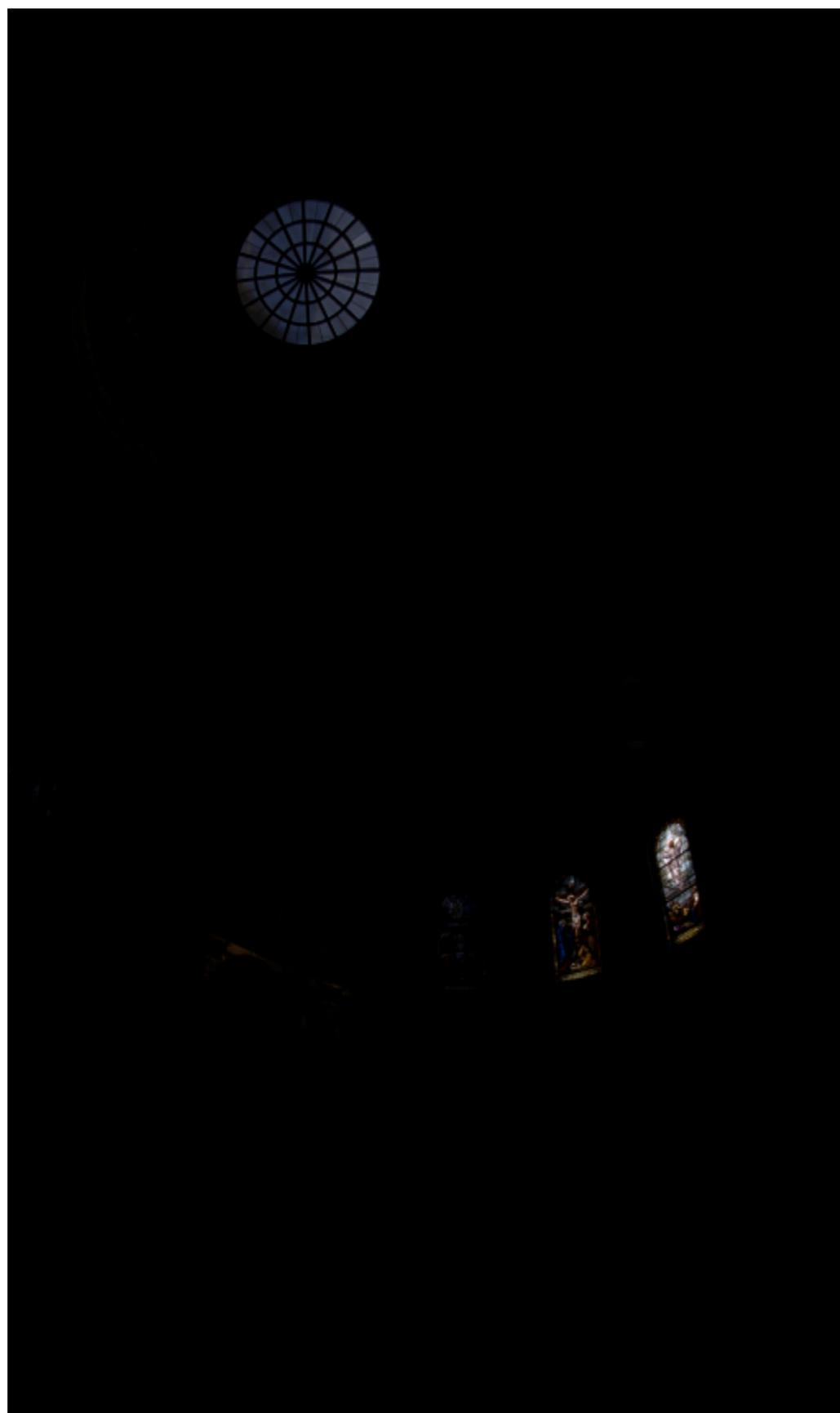
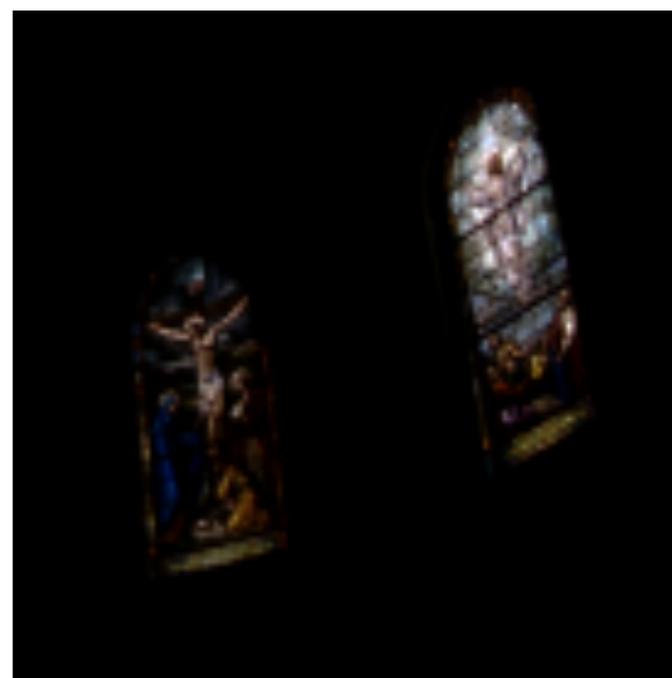
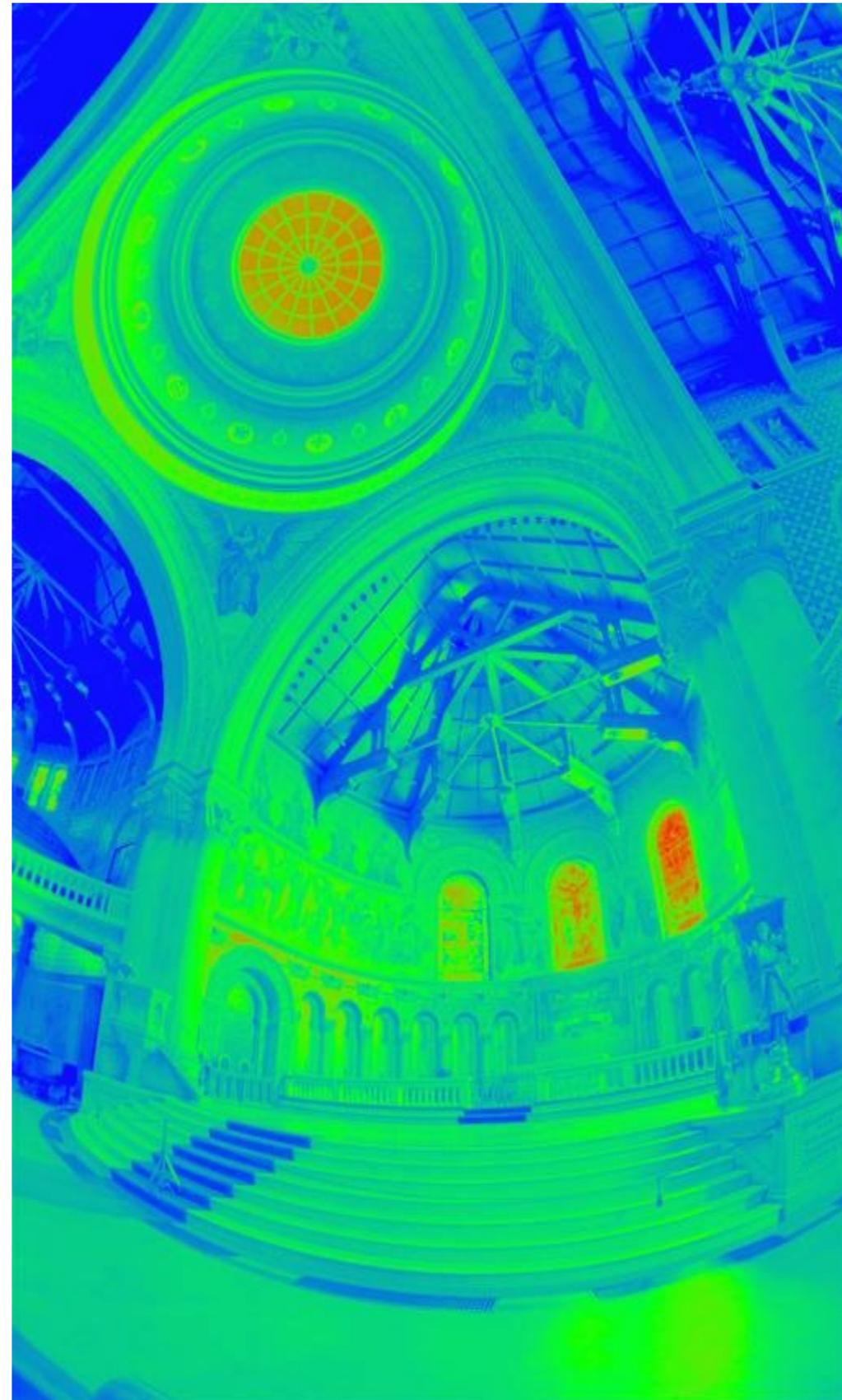


Image précédente  
entre 0 et 255

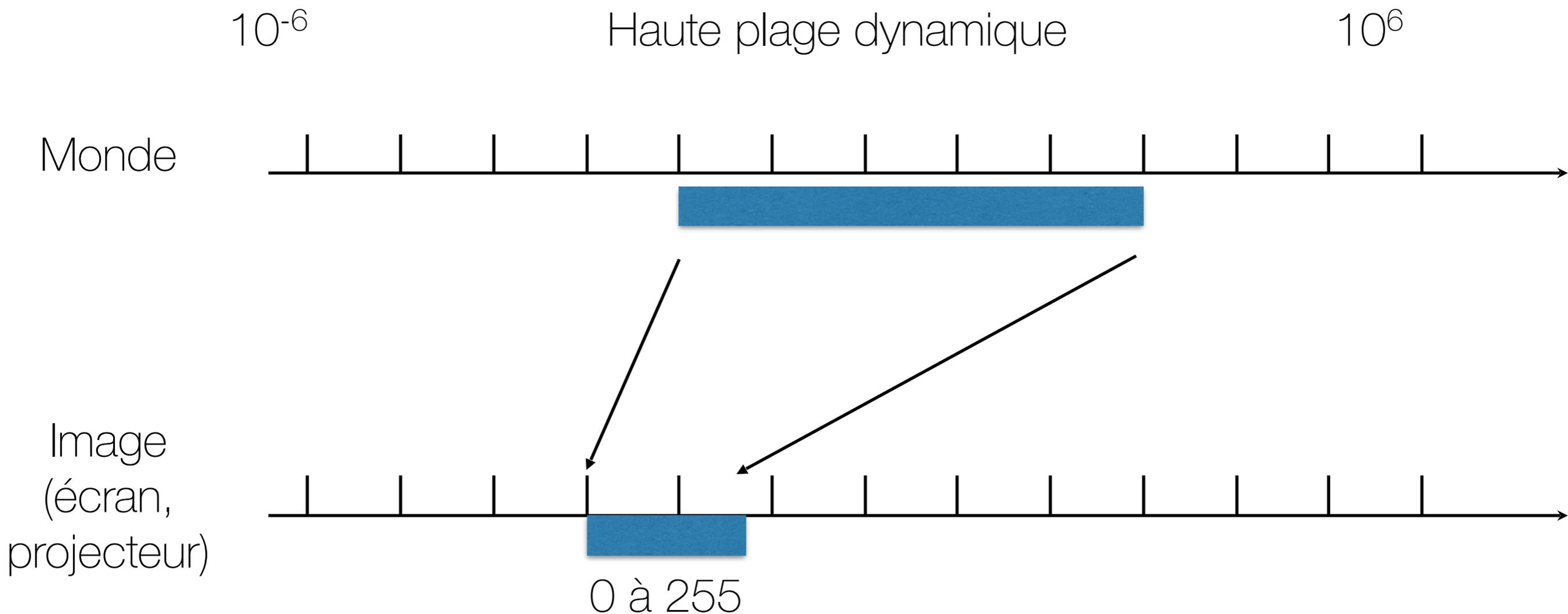


# Et maintenant?

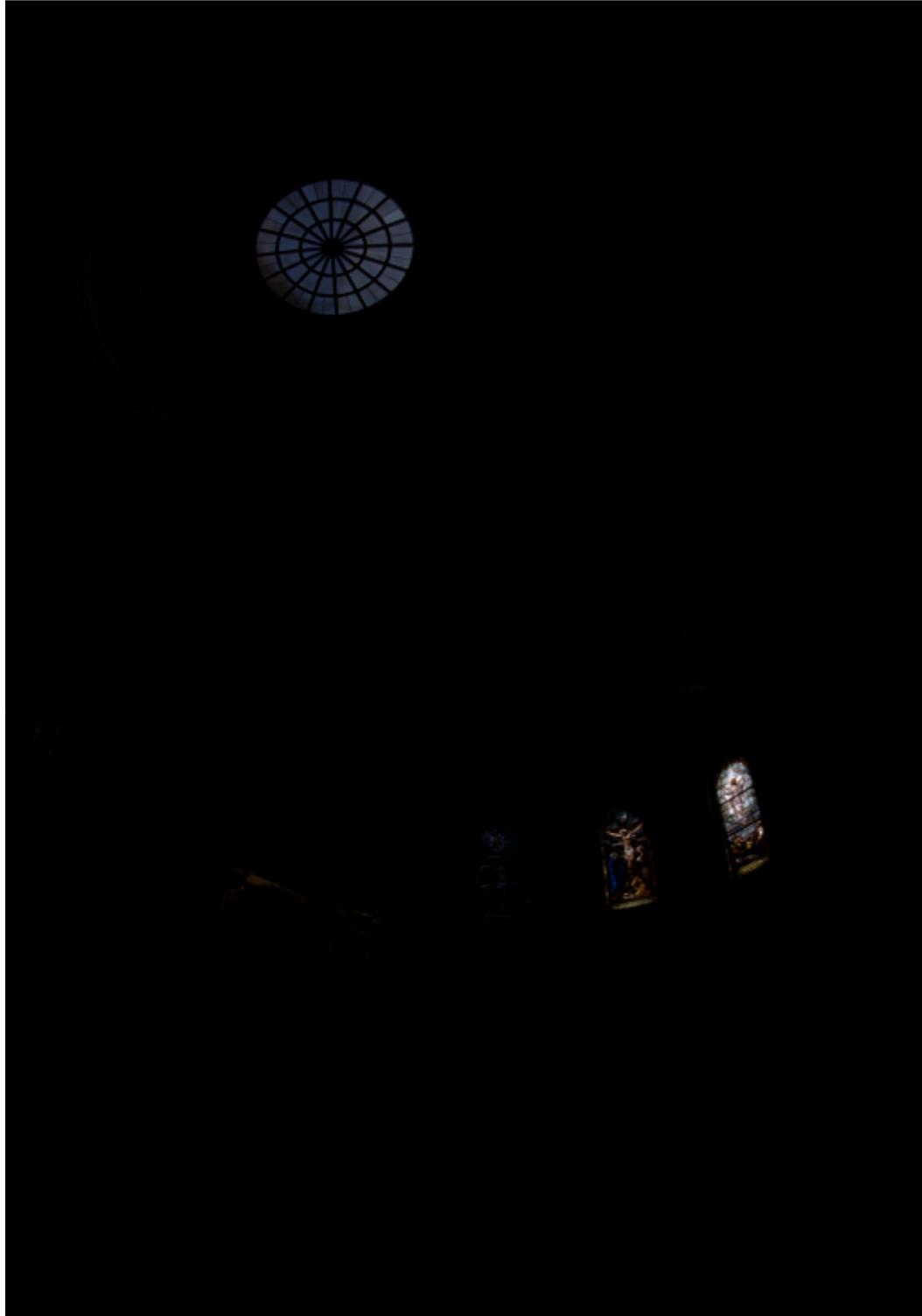


# Reproduction tonale

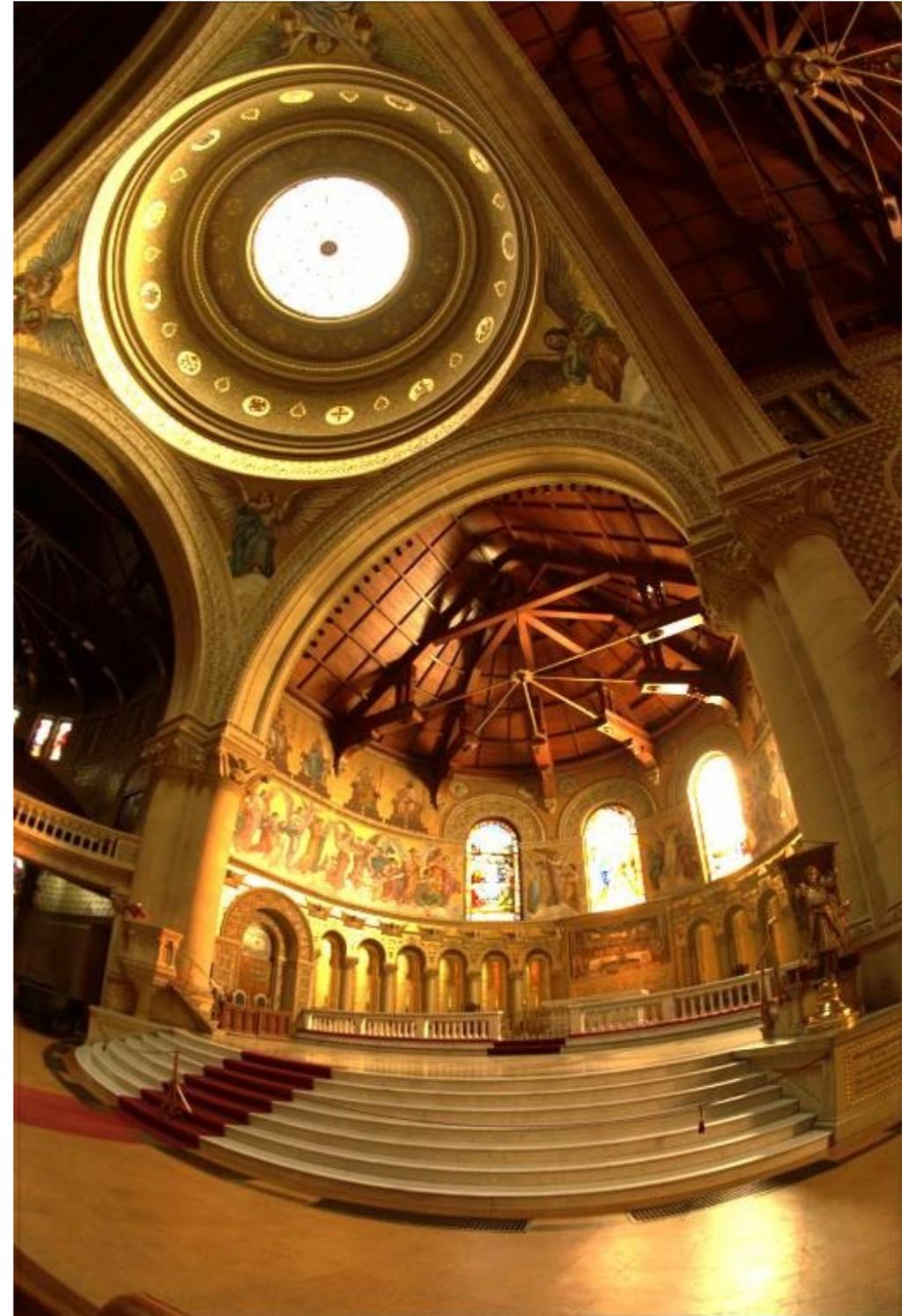
- Comment faire?
  - Linéaire? Seuil? Suggestions?



# Linéaire



En fonction des pixels  
les plus clairs



En fonction des pixels  
les plus sombres

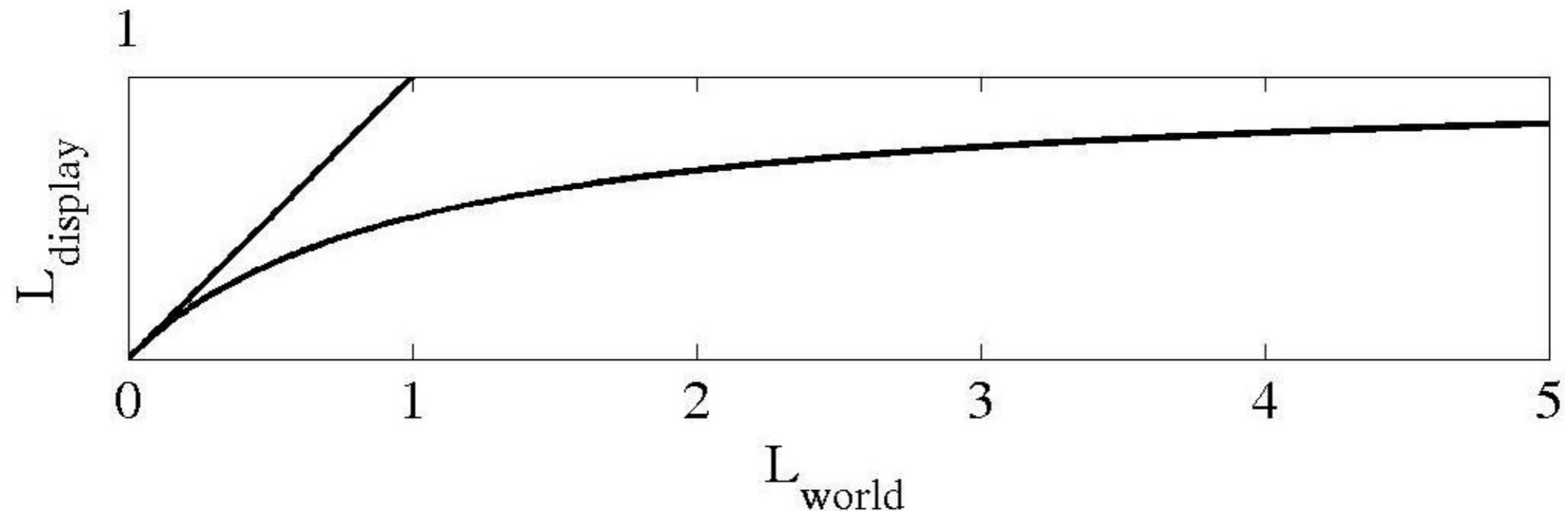
# Opérateur global

- Déterminer une courbe qui:
  - Ramène le contenu du signal HDR dans une plage qui convient à un écran ou un projecteur
  - N'augmente pas les parties sombres
- Donc:
  - Asymptote à 255
  - Dérivée = 1 à 0

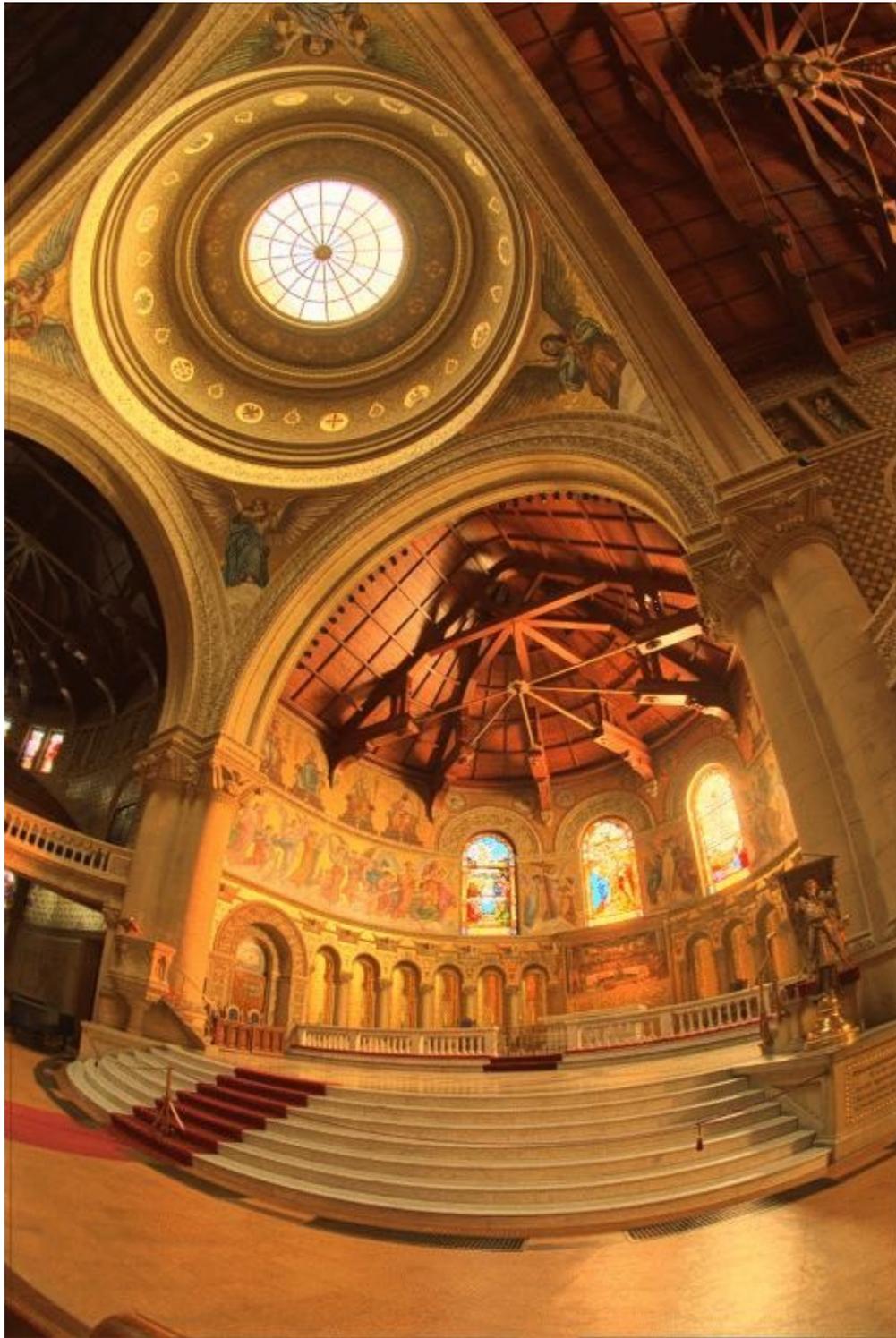
# Opérateur global (Reinhard et al.)

- Solution toute simple: utiliser une transformée non-linéaire

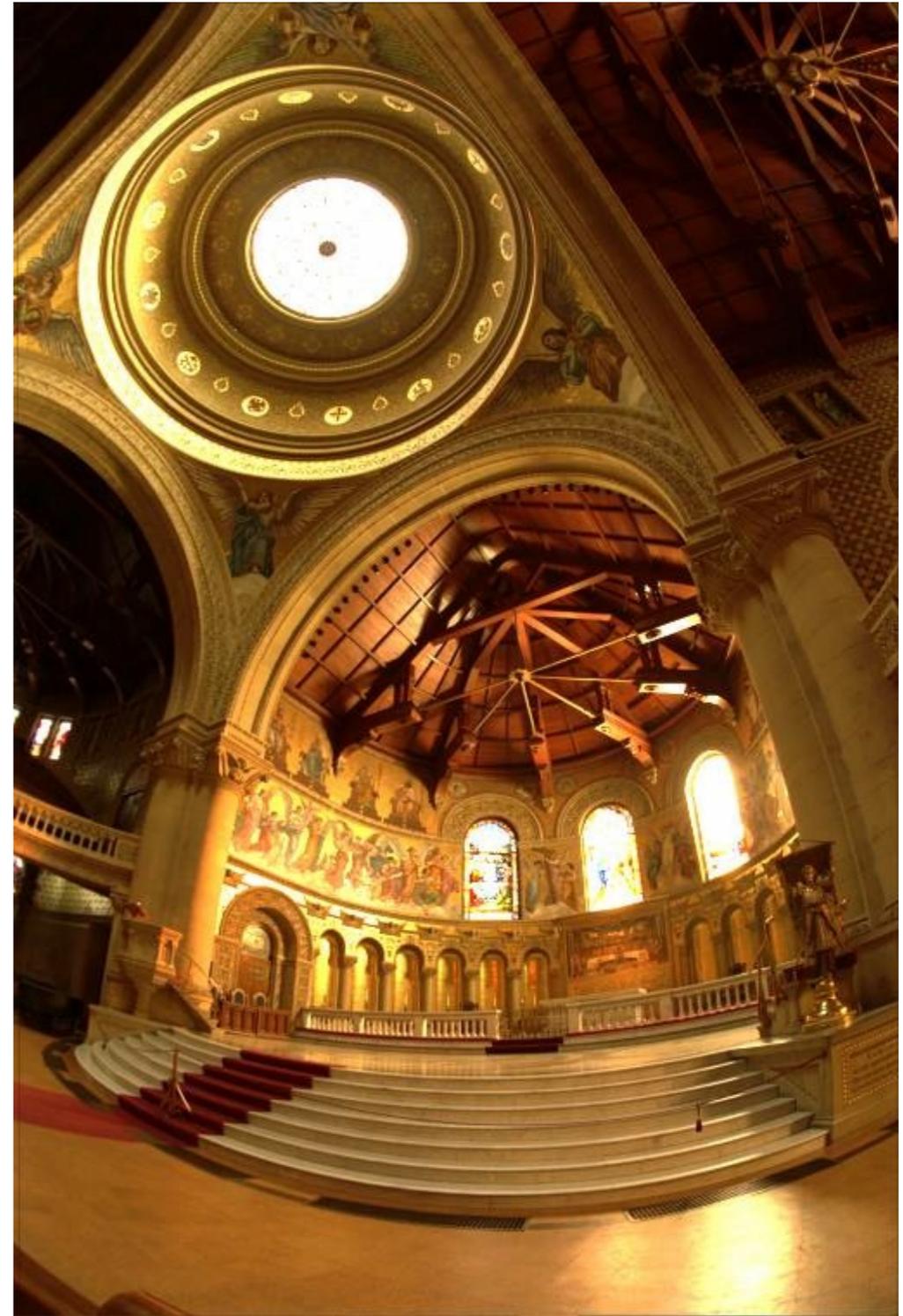
$$L_{display} = \frac{L_{world}}{1 + L_{world}}$$



# Non-linéaire



Reinhard

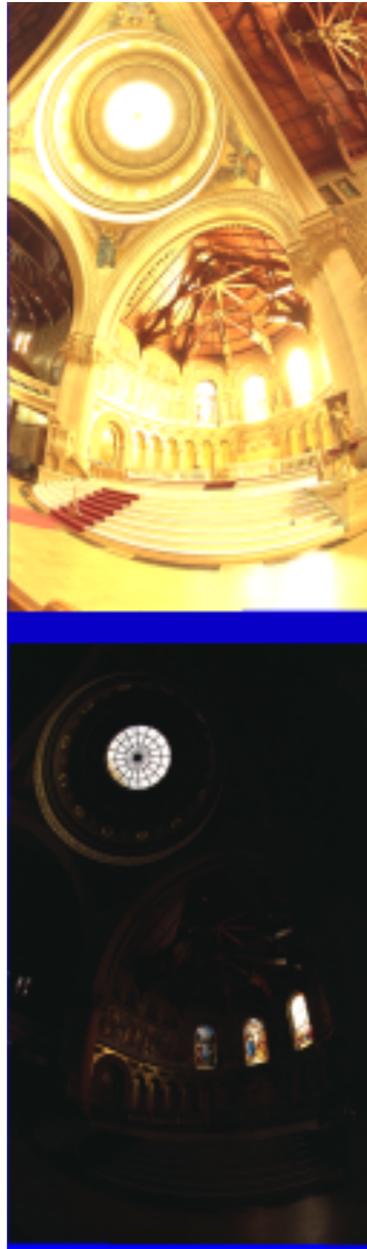


En fonction des pixels  
les plus sombres

# Opérateur global



# Qu'est-ce que nos yeux voient?



Vs.

