

Plage Dynamique



GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Merci à P. Debevec et A. Efros!

La plage dynamique



Plage dynamique

Le monde a une haute plage dynamique!



1



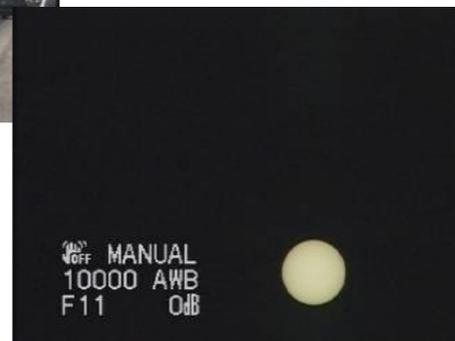
1500



25,000



400,000

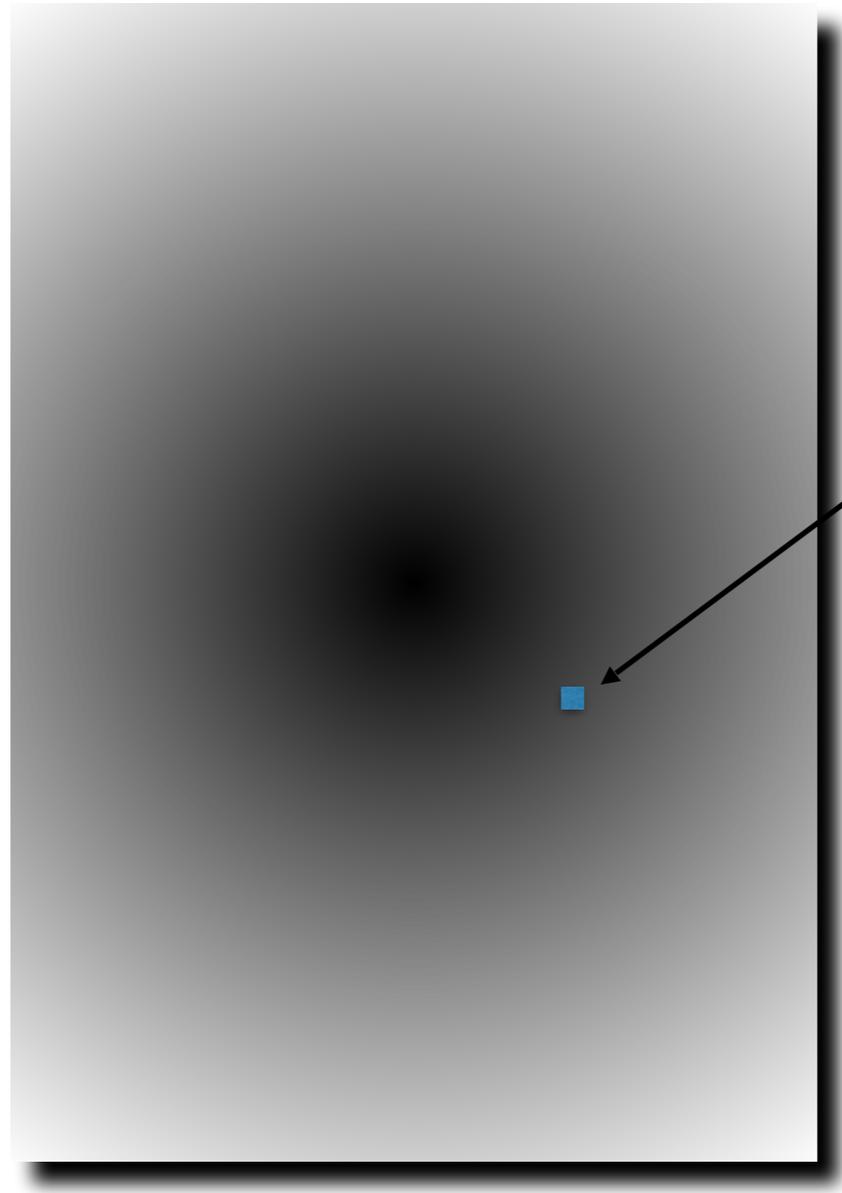


2,000,000,000

Plage dynamique

Image

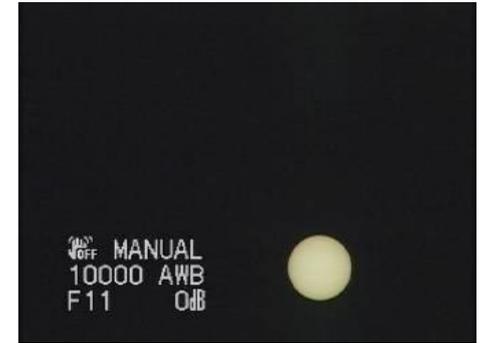
La caméra... pas autant



pixel (312, 284) = 42

42 quoi? photons?

Exposition longue



10^{-6}

Haute plage dynamique

10^6

Monde

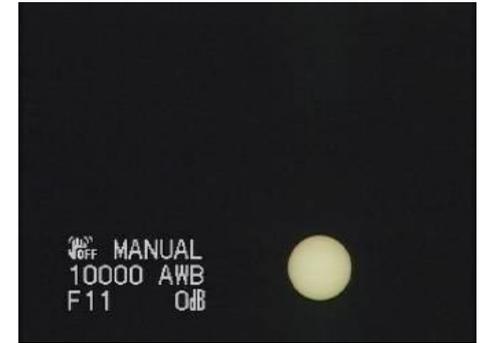


Image



0 à 255

Exposition courte



10^{-6}

Haute plage dynamique

10^6

Monde



Image



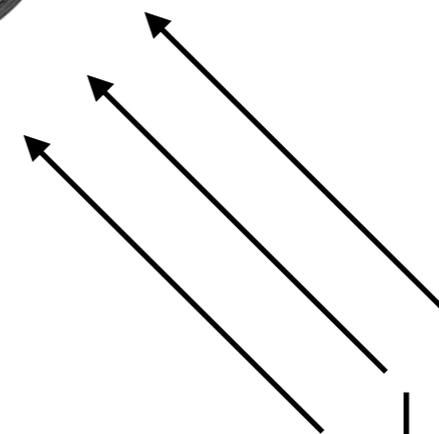
0 à 255

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 (pixels)



Lumière
(radiance)

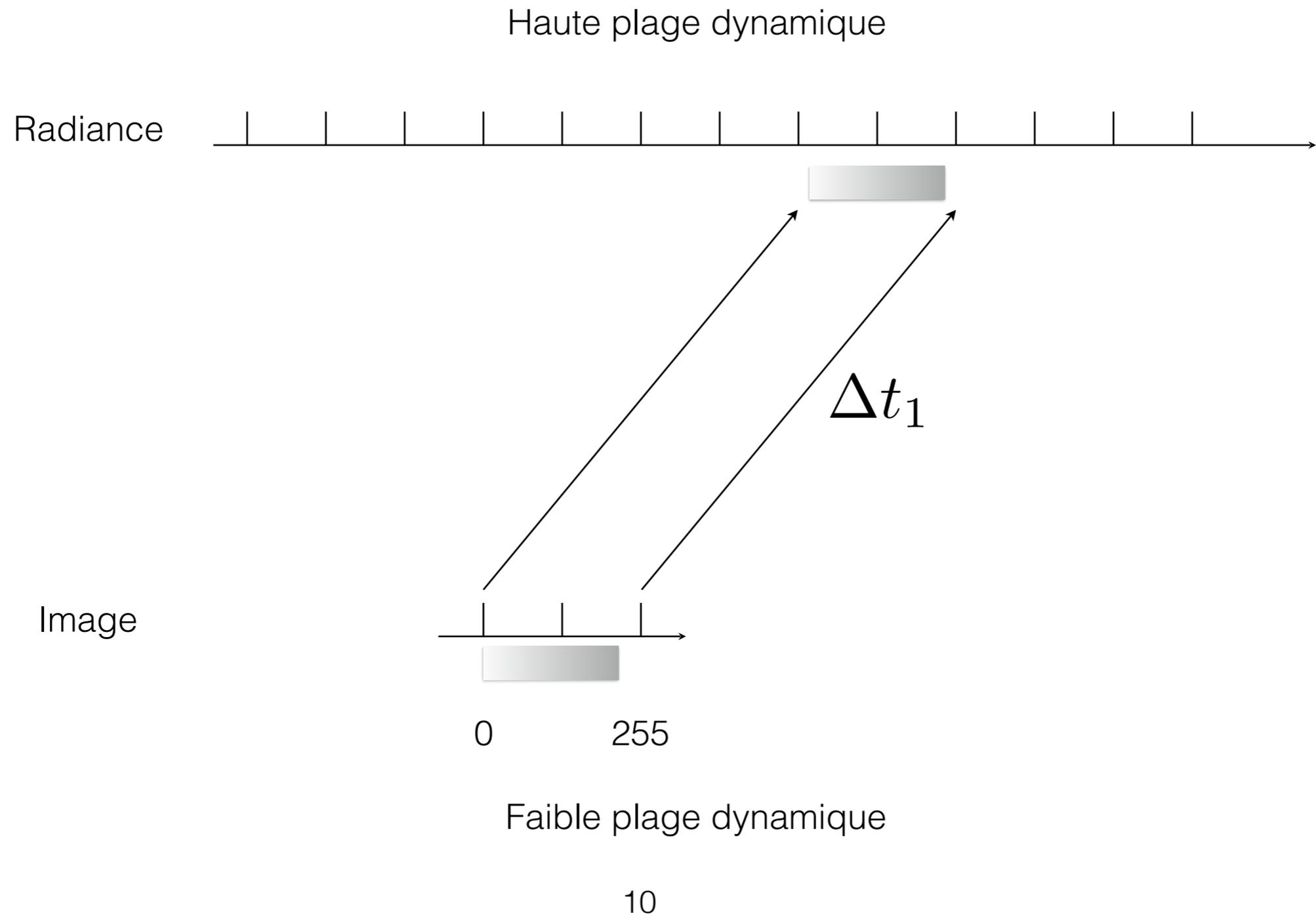
Relation entre pixels et radiance

- Assumons une caméra « linéaire » pour le moment:

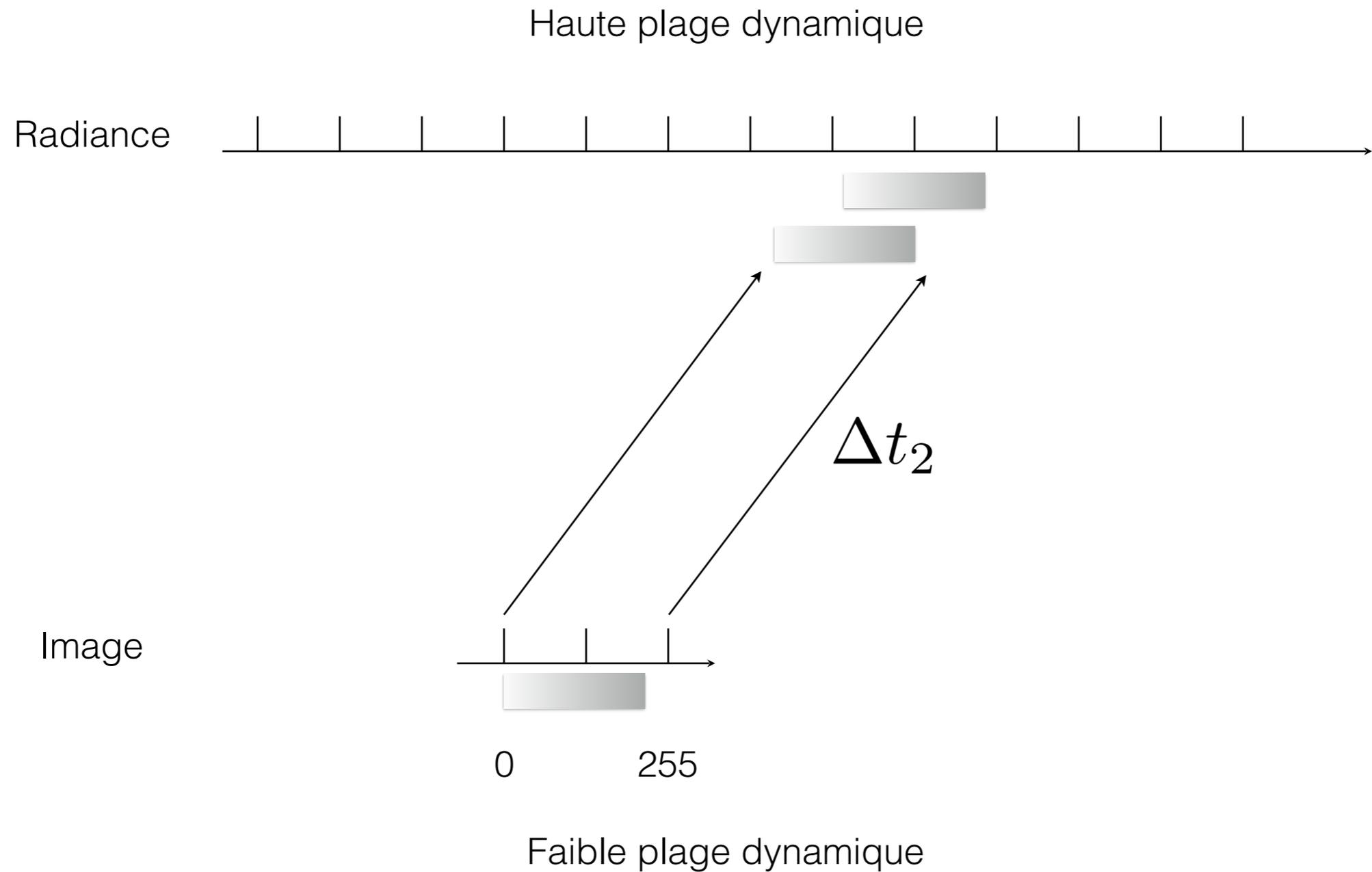
$$\text{pixel} = \text{radiance} \times \Delta t$$

- Plus l'exposition (Δt) est longue, plus l'image est claire

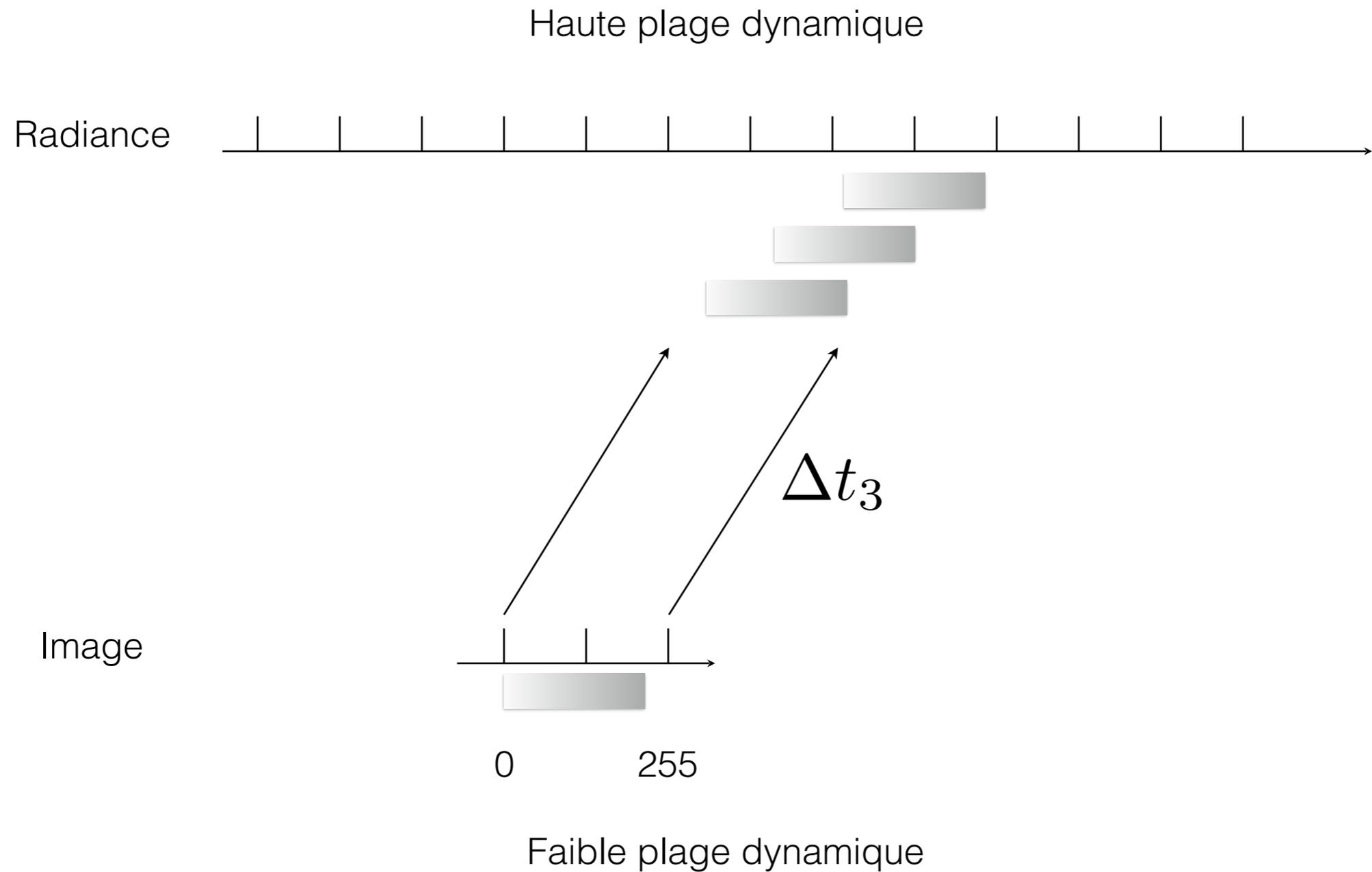
Estimer la radiance à partir des pixels



Estimer la radiance à partir des pixels

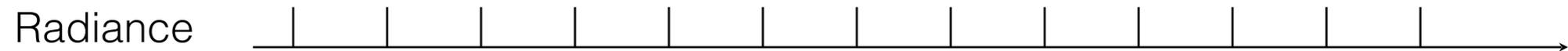


Estimer la radiance à partir des pixels



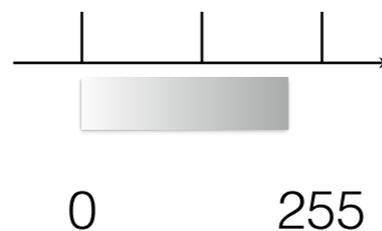
Estimer la radiance à partir des pixels

Haute plage dynamique



$$I_{\text{radiance}} = \sum_{i=1}^N \frac{I_i}{\Delta t_i} \quad (\text{pixel} = \text{radiance} \times \Delta t)$$

Image



Faible plage dynamique

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

- Valeurs:
 - 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

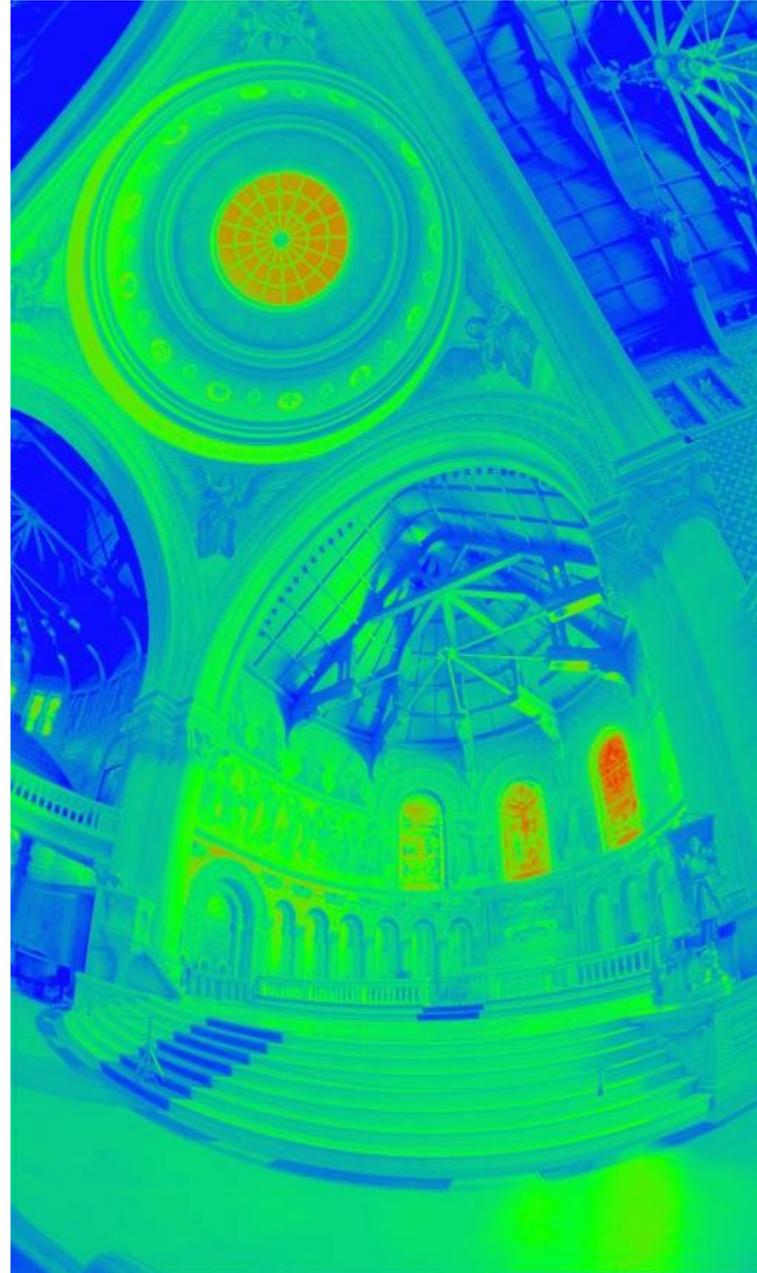
Temps d'obturation

- 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

Images à plusieurs expositions



Radiance



Comment visualiser une image de radiance?



Comment visualiser une image de radiance?

- Logiciel gratuit: LuminanceHDR

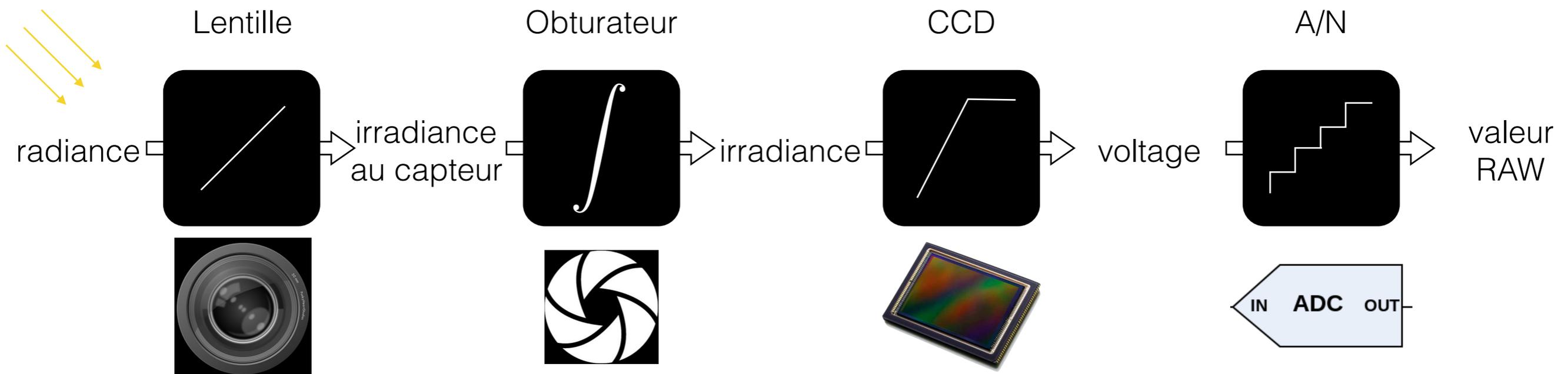
Relation entre pixels et radiance

- Assumons une caméra « linéaire » pour le moment:

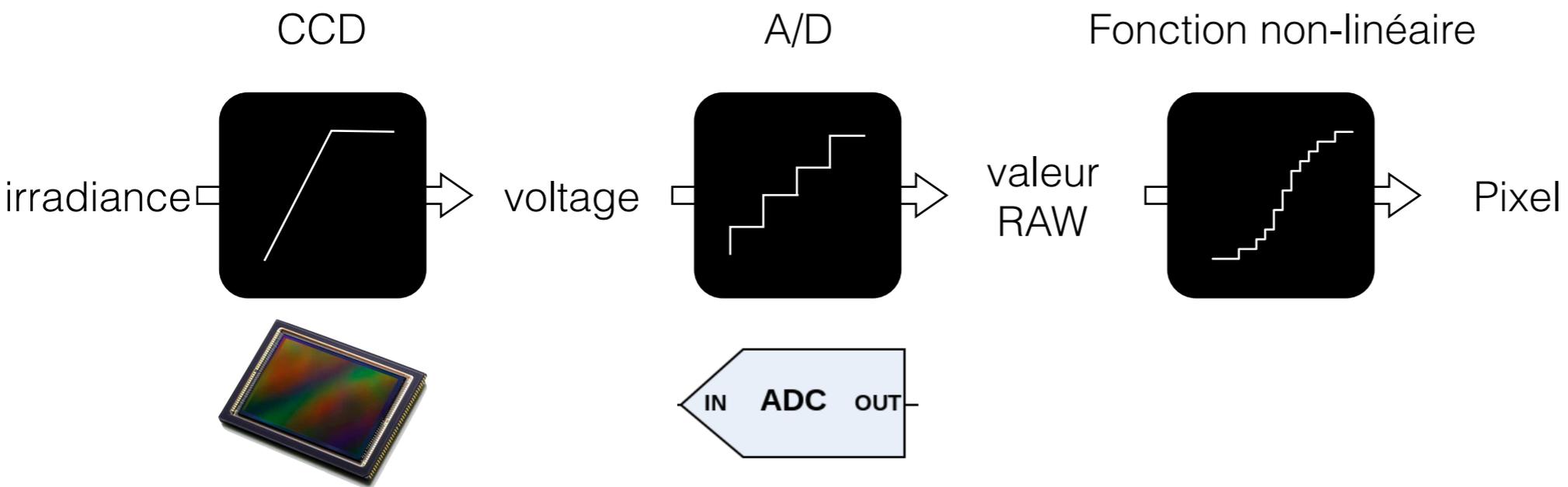
$$\text{pixel} = \text{radiance} \times \Delta t$$

- Plus l'exposition (Δt) est longue, plus l'image est claire
- Cependant: est-ce qu'une caméra est vraiment linéaire?

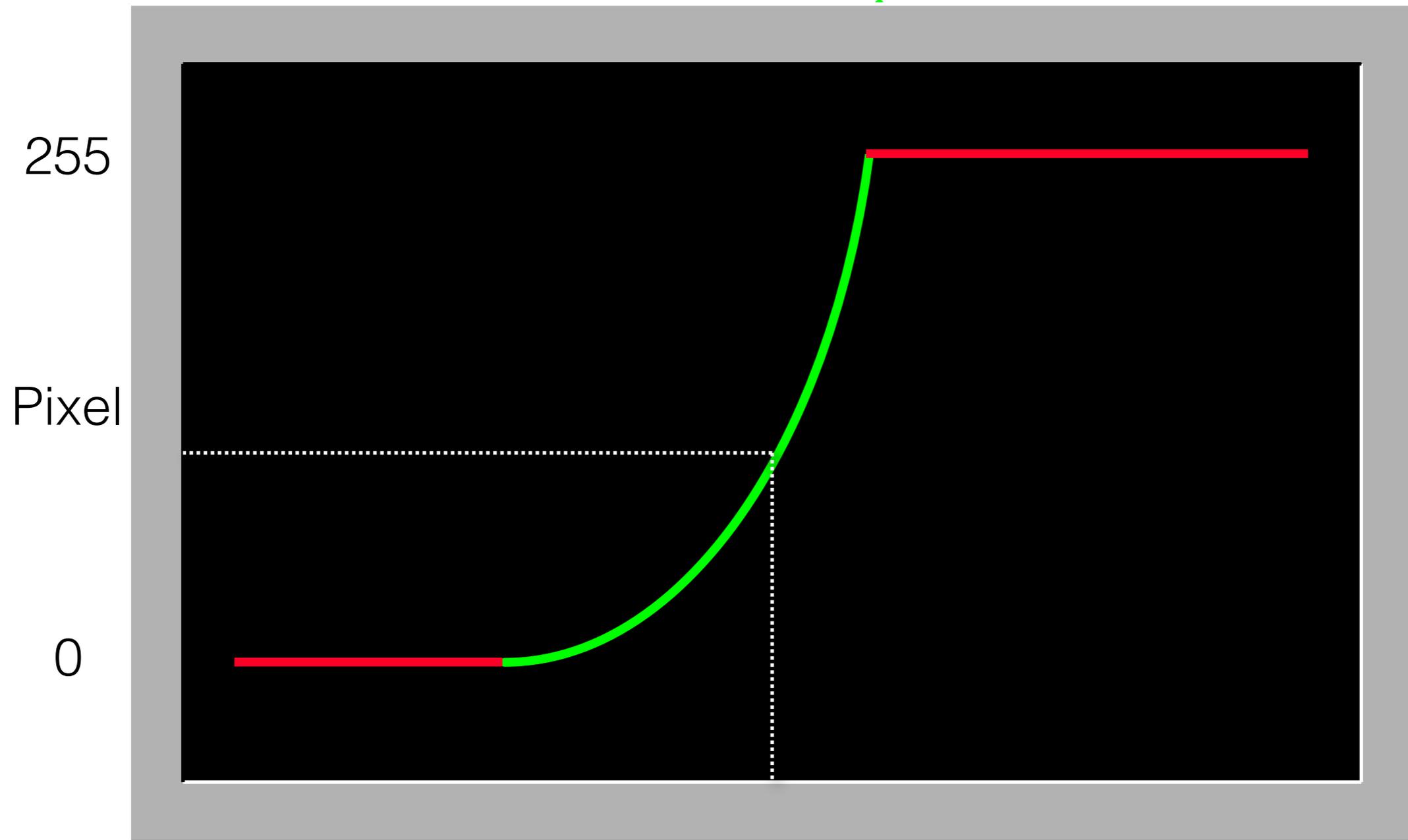
Ce qui se passe dans une caméra (numérique)...



Camera pipeline



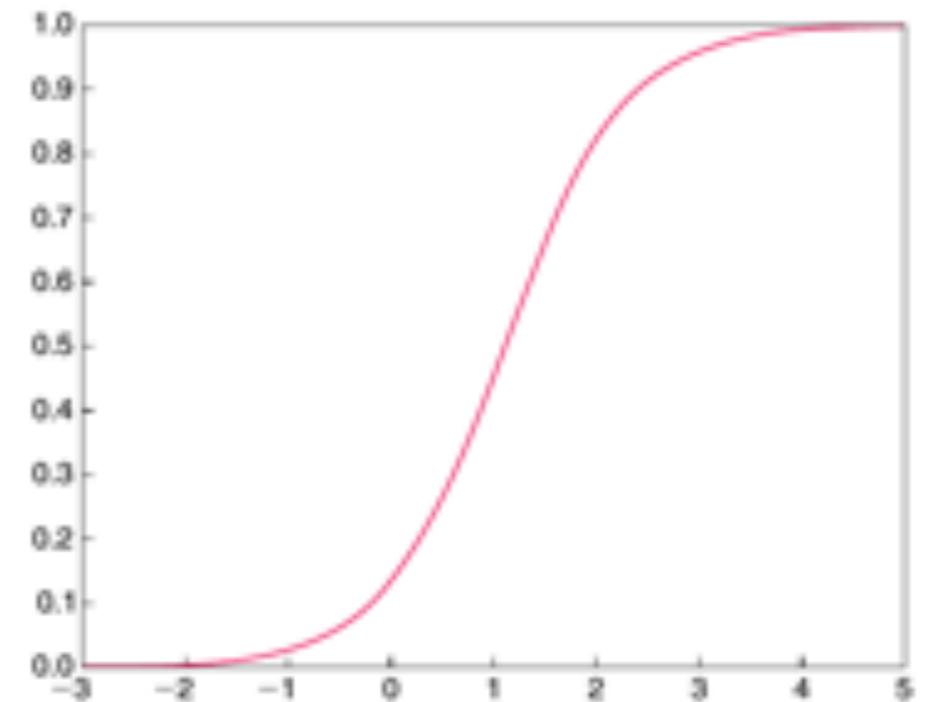
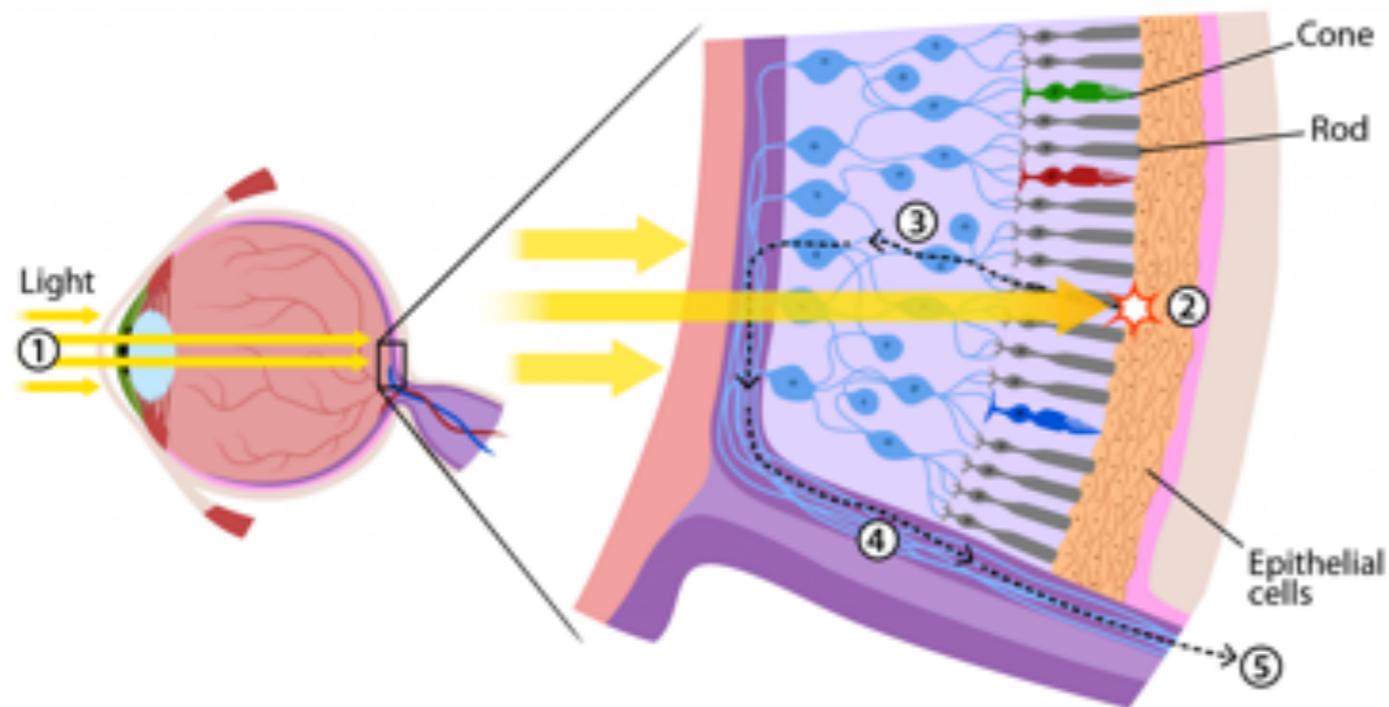
Fonction de réponse d'une caméra



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

(# photons au CCD)

Systeme visuel humain

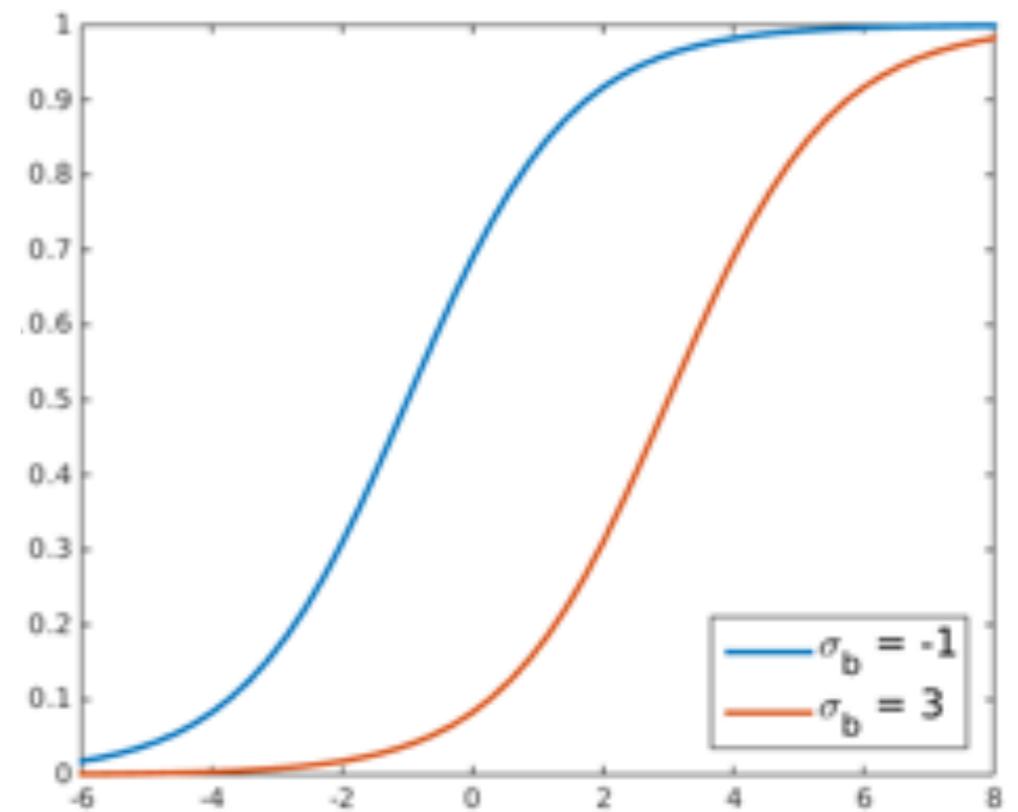


Adaptation: nos yeux ne sont pas des photomètres!

Phares allumés,
nuit



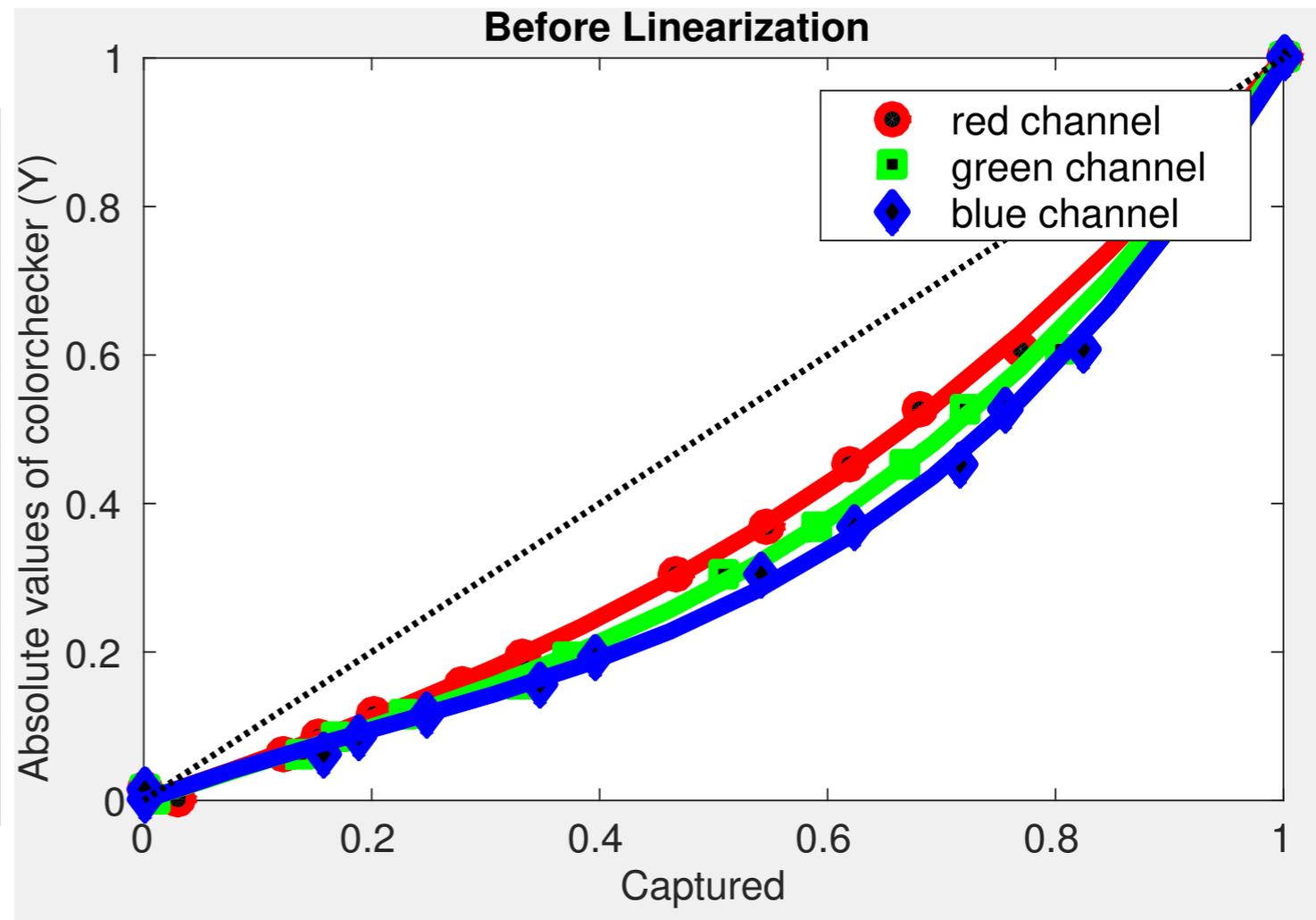
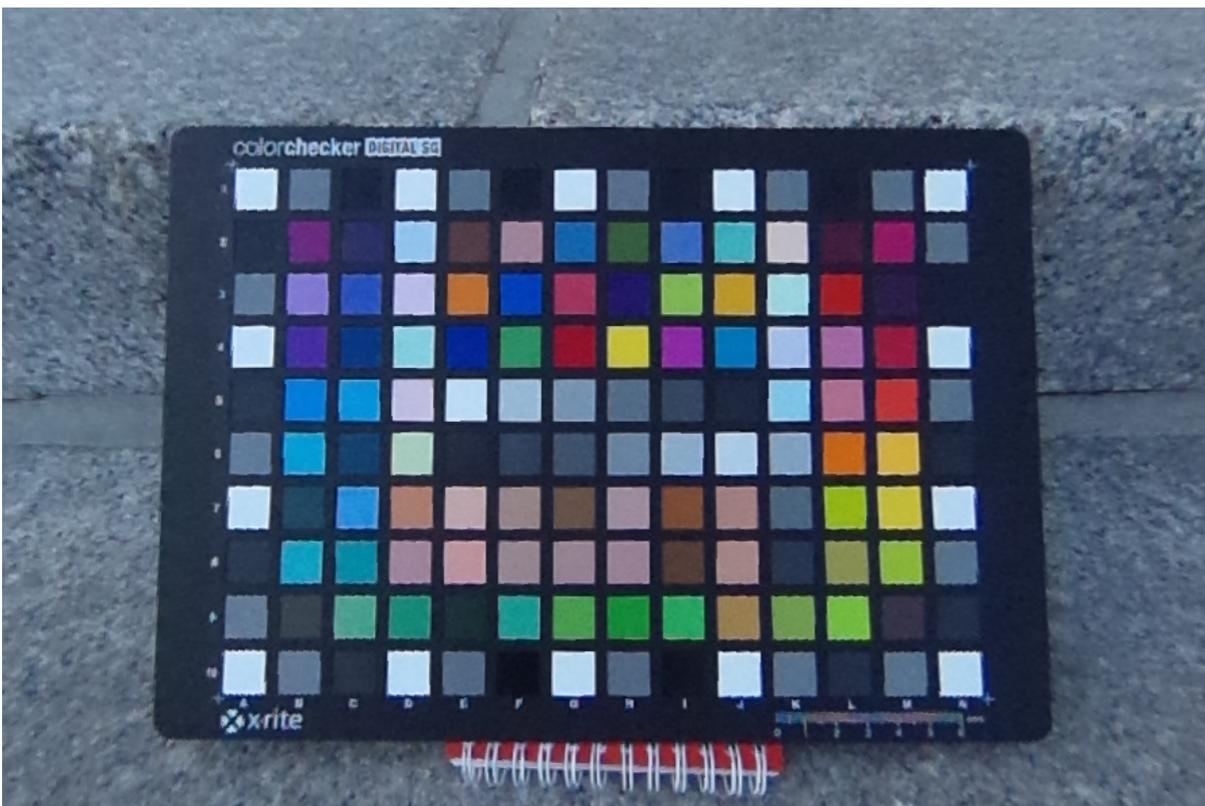
Phares allumés,
jour



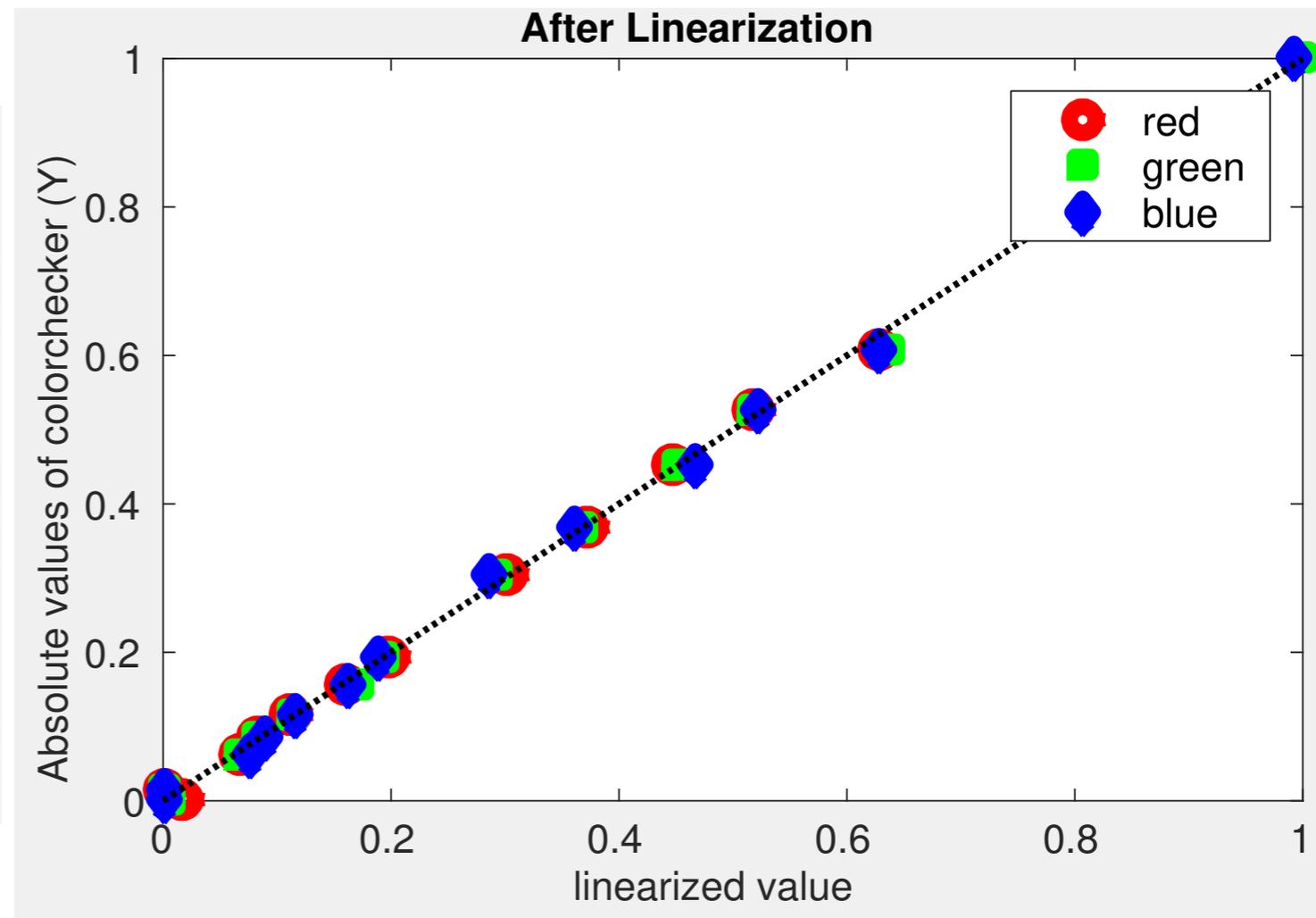
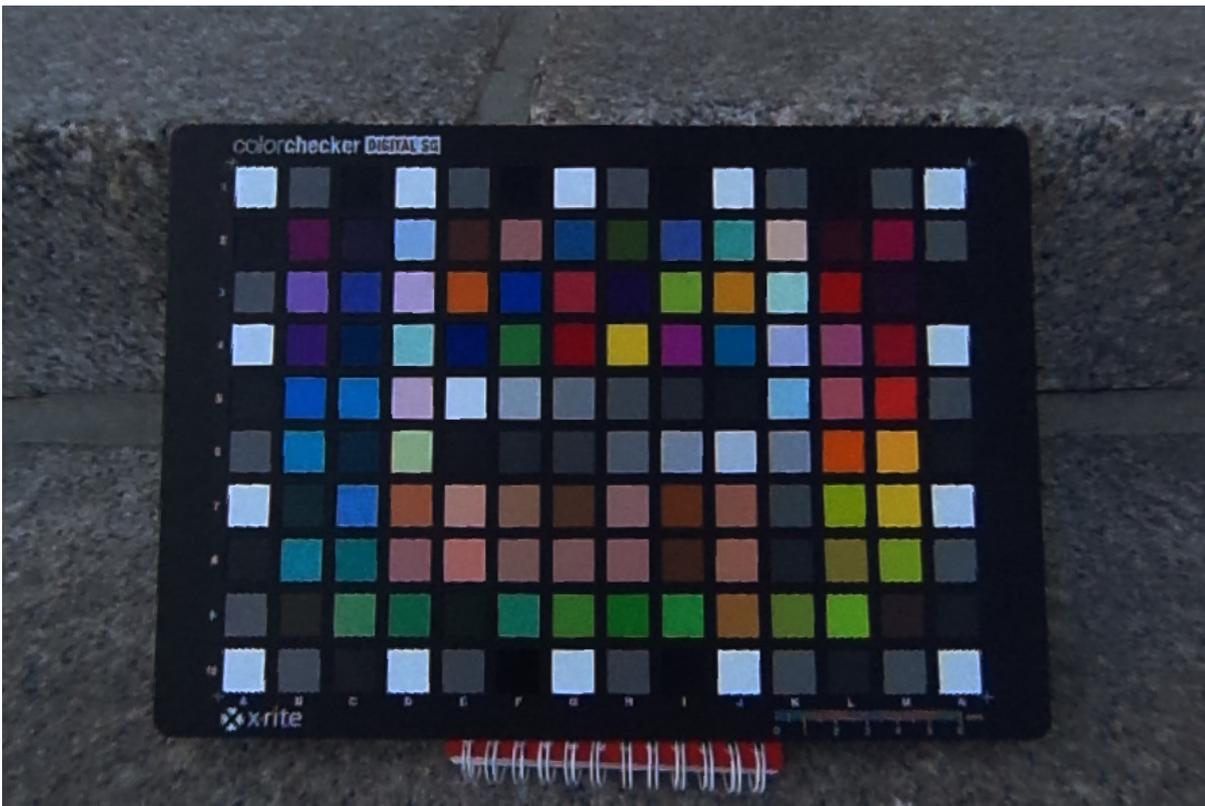
Comment estimer la fonction de réponse d'une caméra?

- Première option
 - utiliser une cible de calibrage radiométrique

Calibrage radiométrique



Calibrage radiométrique

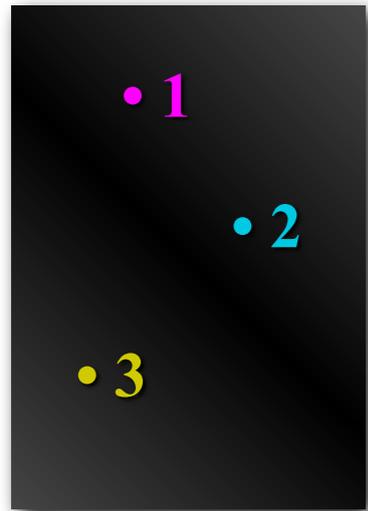


Comment estimer la fonction de réponse d'une caméra?

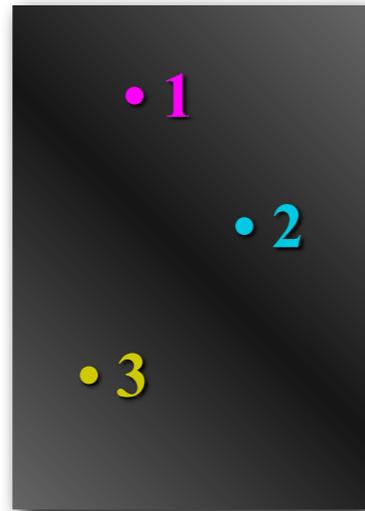
- Première option
 - utiliser une cible de calibrage radiométrique
- Deuxième option
 - l'estimer automatiquement à partir des expositions!

Algorithme

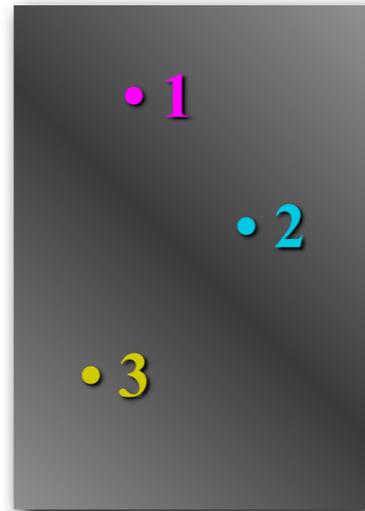
Série d'images



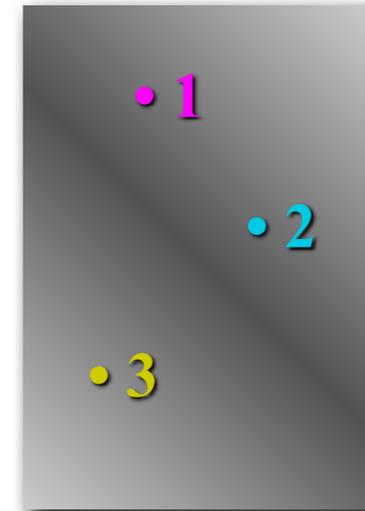
$\Delta t = 1/64 \text{ sec}$



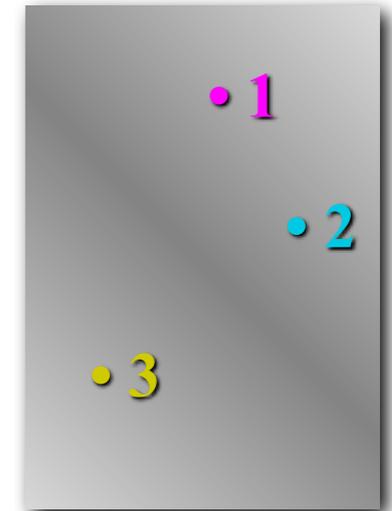
$\Delta t = 1/16 \text{ sec}$



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



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



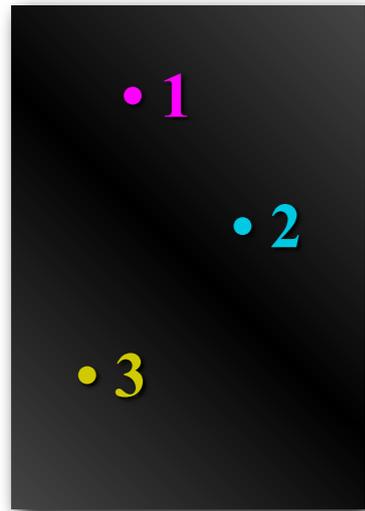
$\Delta t = 4 \text{ sec}$

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

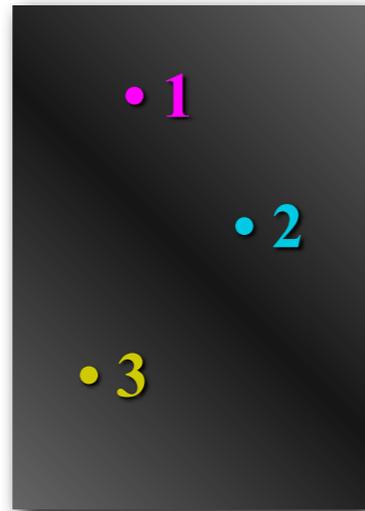
$$\text{exposition} = \text{radiance} \times \Delta t$$

Algorithme

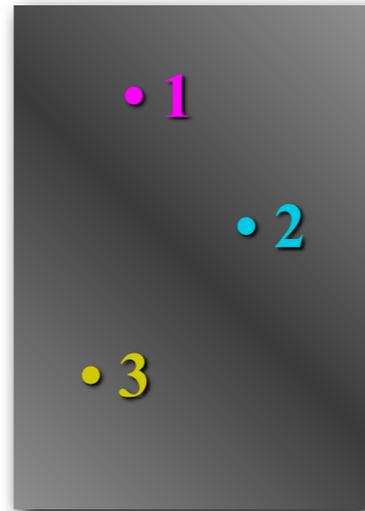
Série d'images



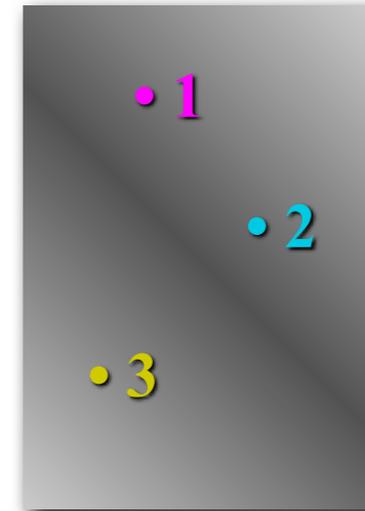
$\Delta t = 1/64$ sec



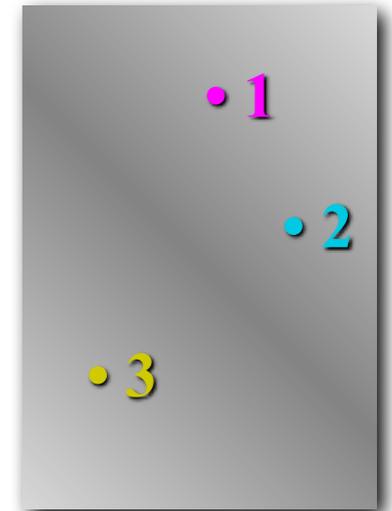
$\Delta t = 1/16$ sec



$\Delta t = 1/4$ 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:

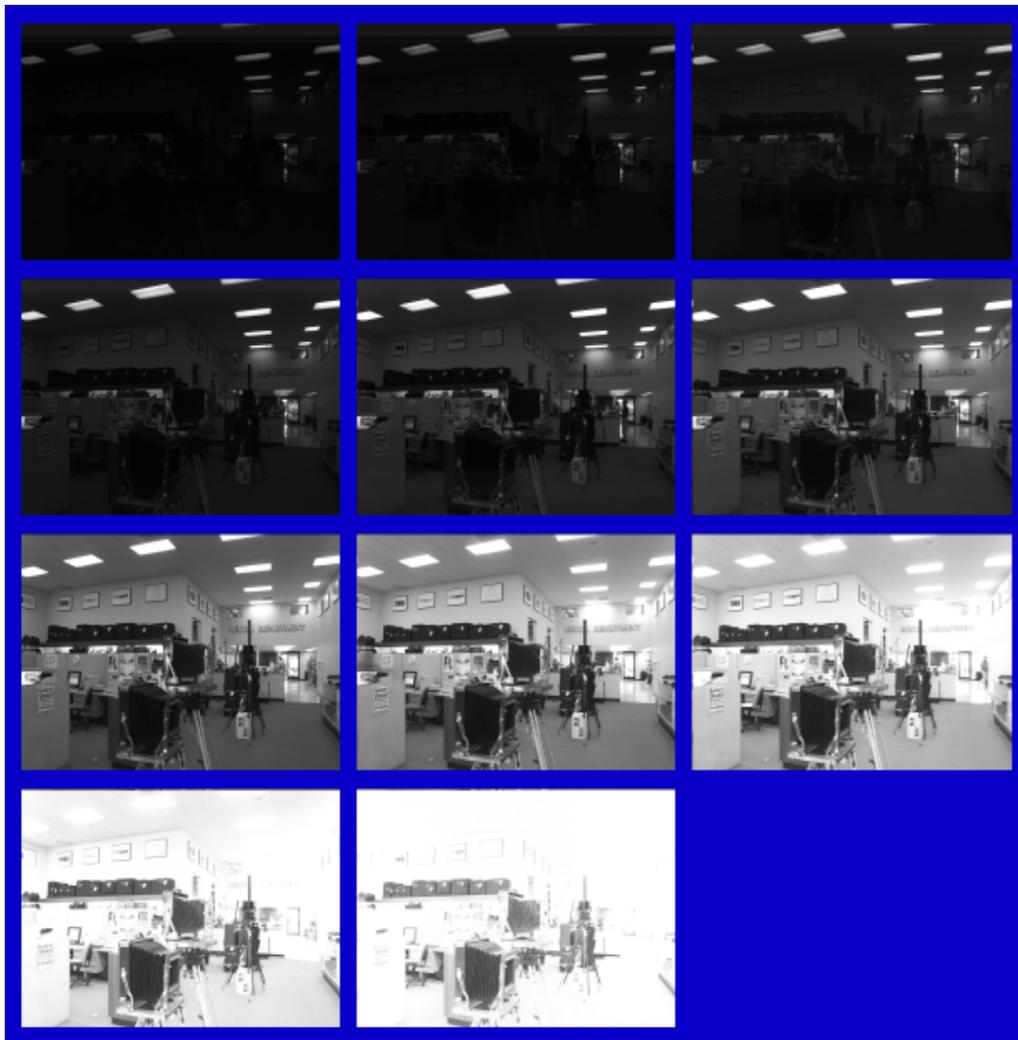
$$\sum_{i \in \text{pixels}} \sum_{j \in \text{images}} (r_i + t_j - g(z_{ij}))^2 + \lambda \sum_{z=0}^{255} g''(z)^2$$

approximation des données

courbe lisse

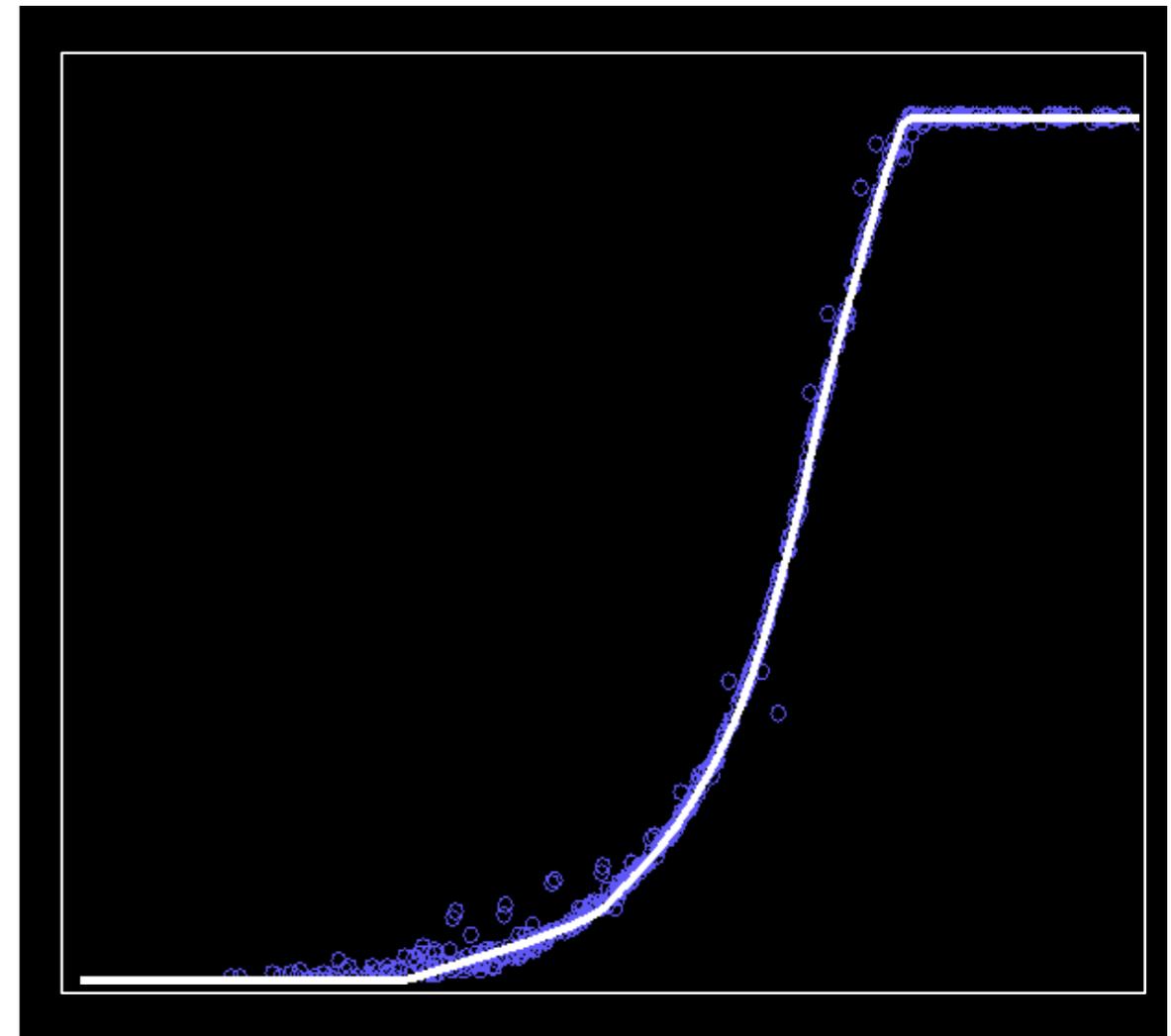
Résultat

Kodak DCS460
1/30 à 30 sec



Courbe estimée

Pixel

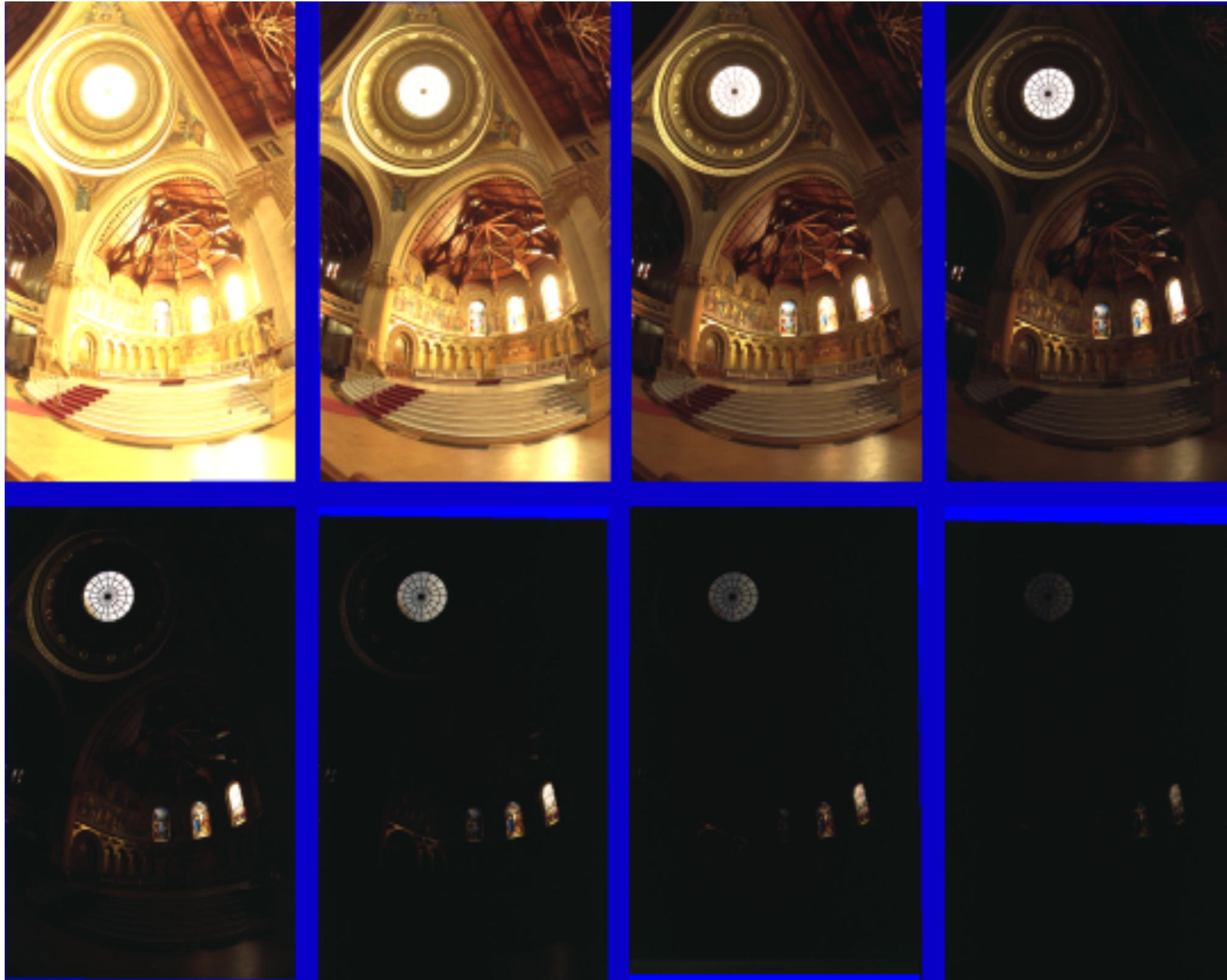


log exposition

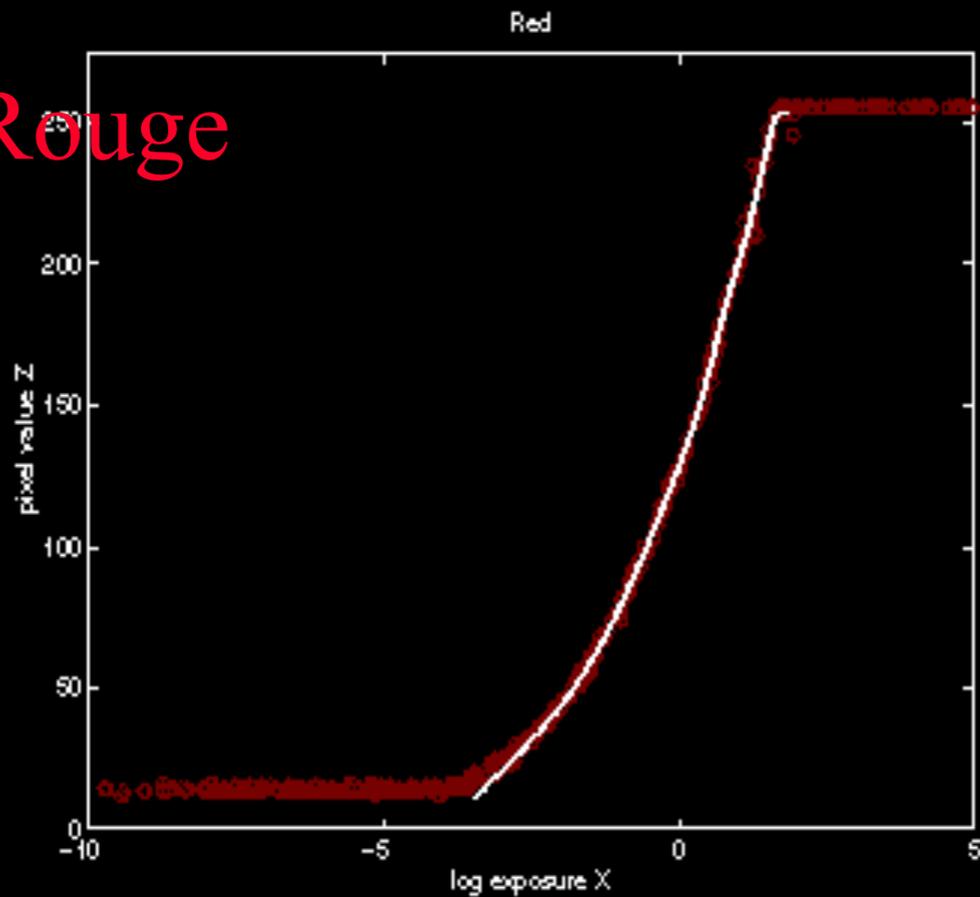
Radiance



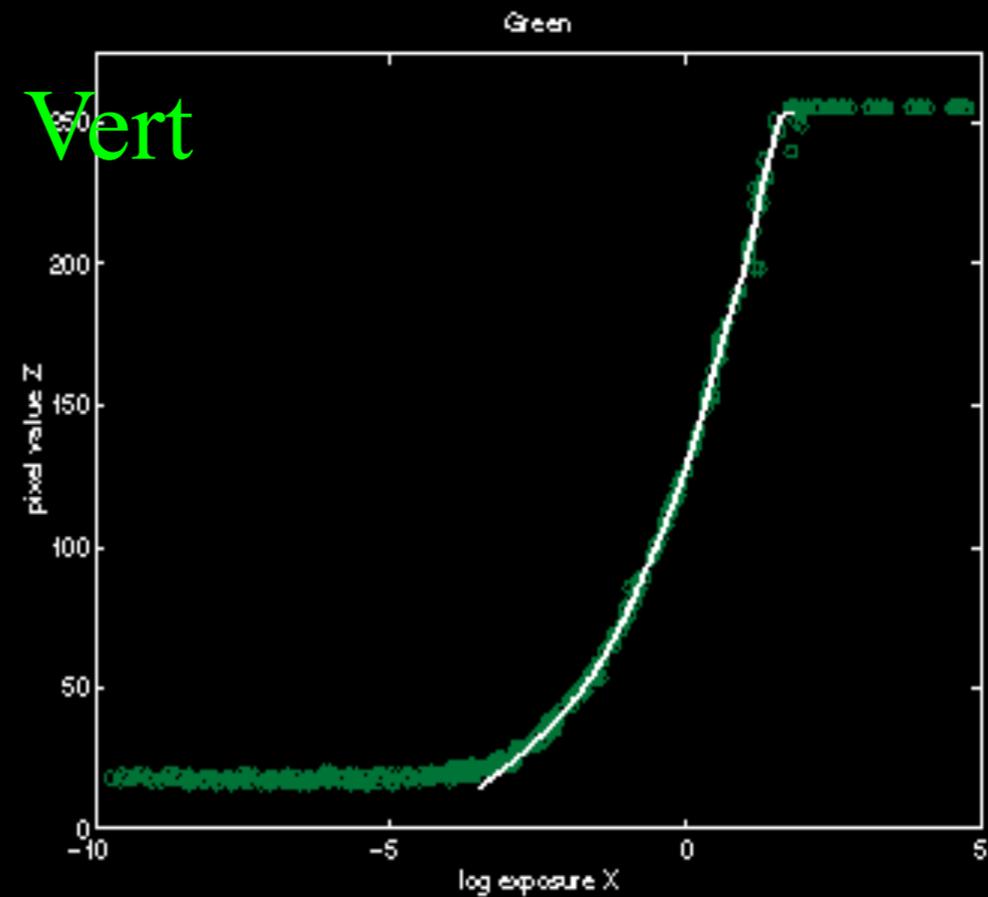
Résultats: couleur



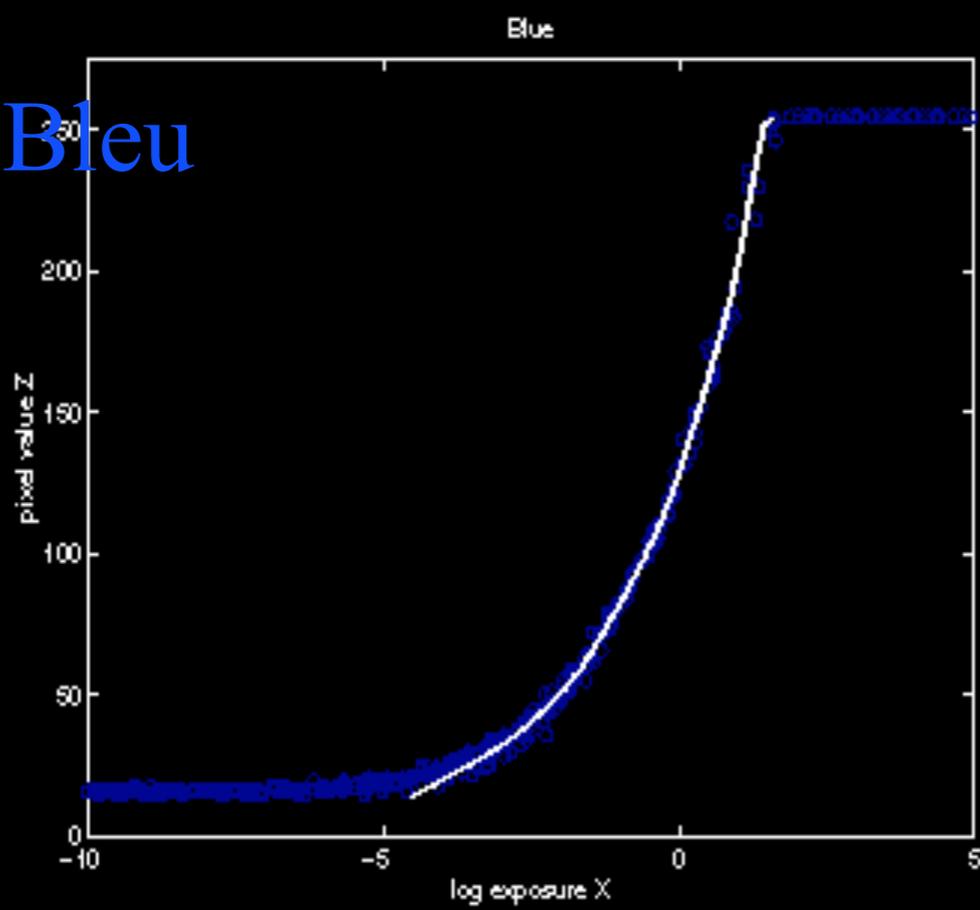
Rouge



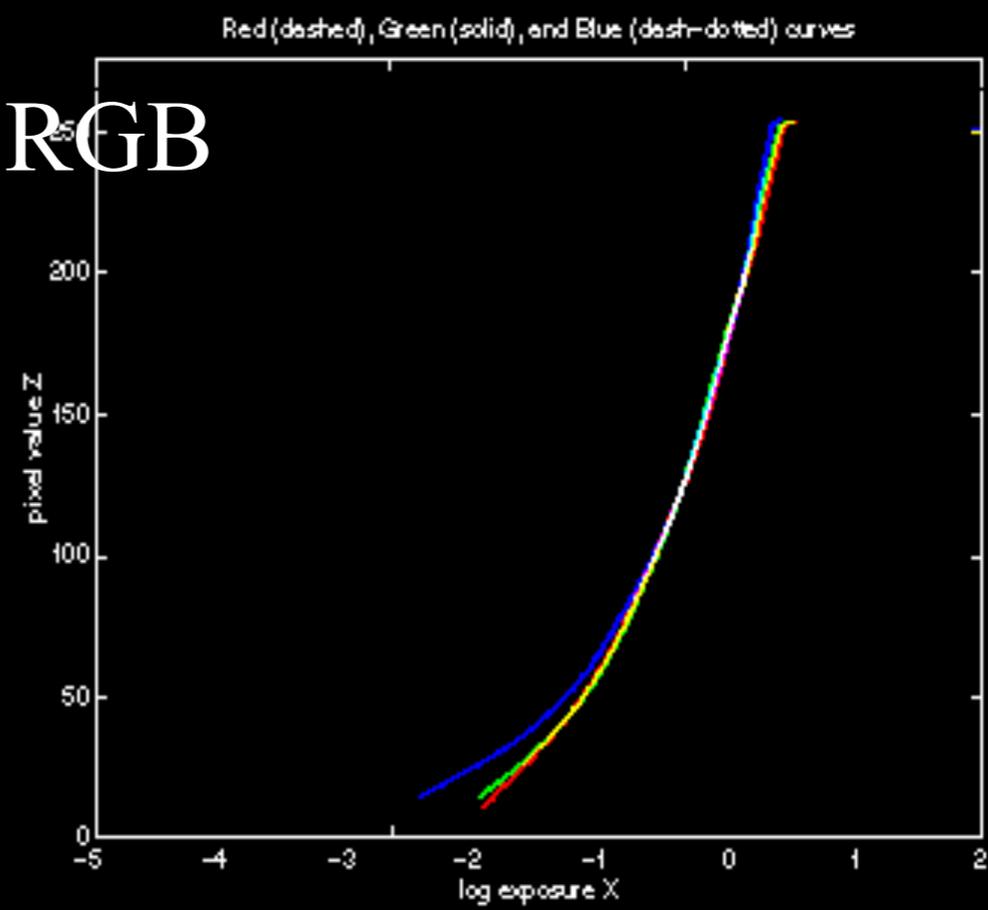
Vert



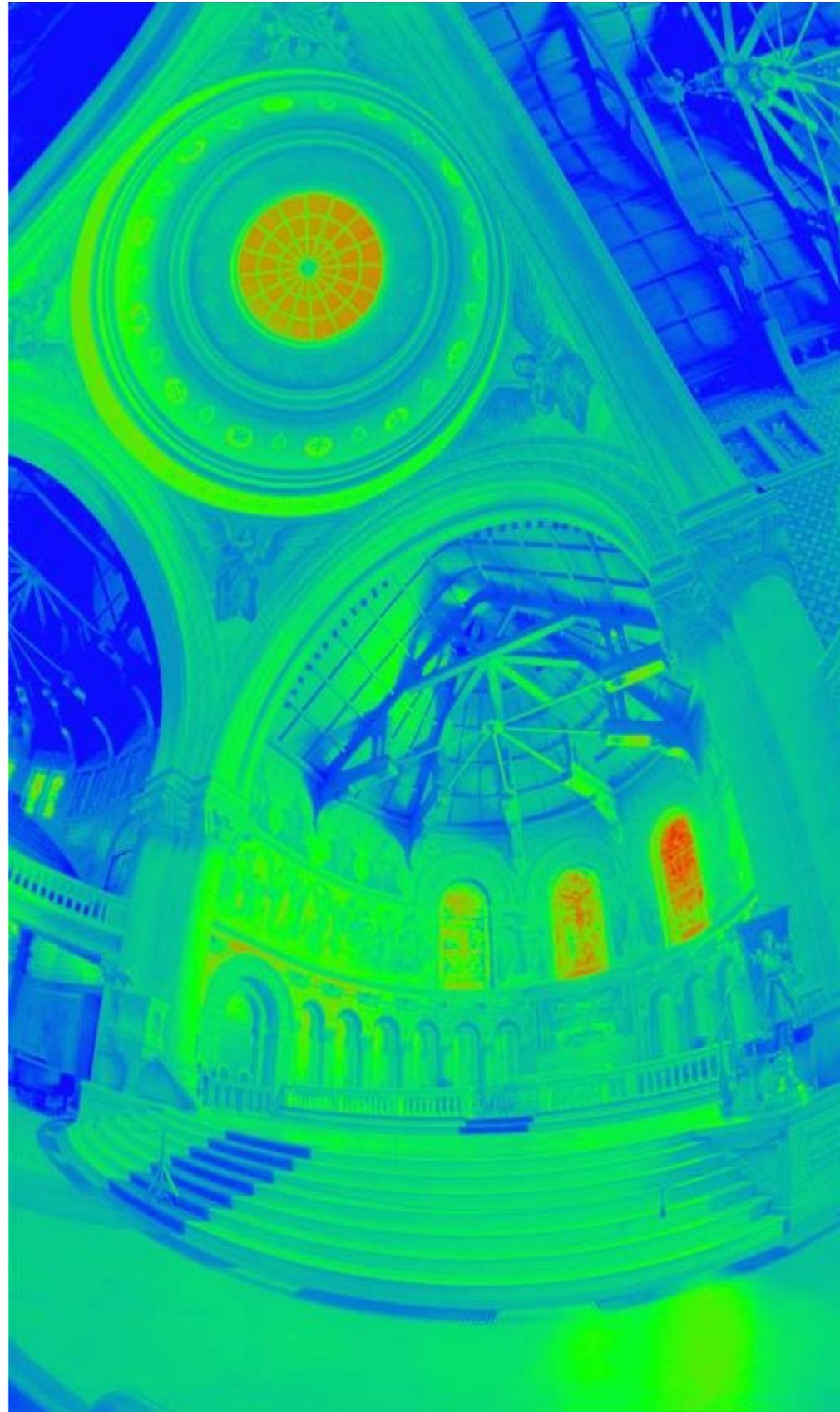
Bleu



RGB



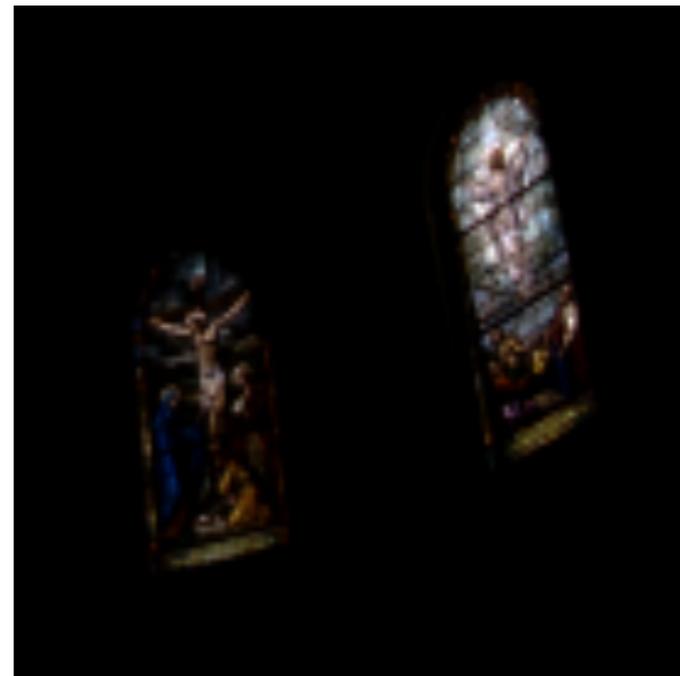
Radiance



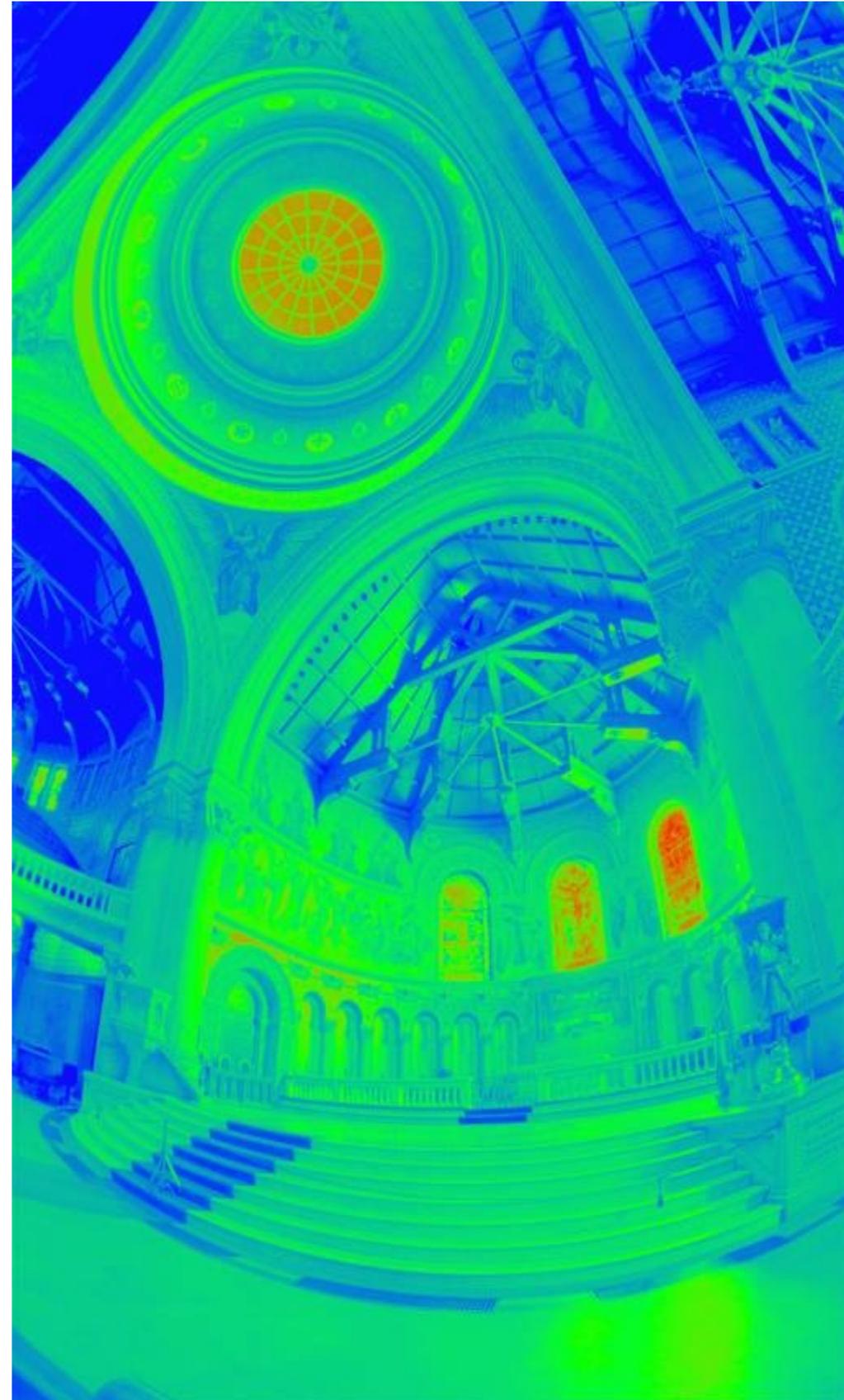
Radiance



Image précédente
entre 0 et 255



Et maintenant?



Reproduction tonale

- Comment faire?
- Linéaire? Seuil? Suggestions?

10^{-6} Haute plage dynamique 10^6

Monde



Image
(écran,
projecteur)

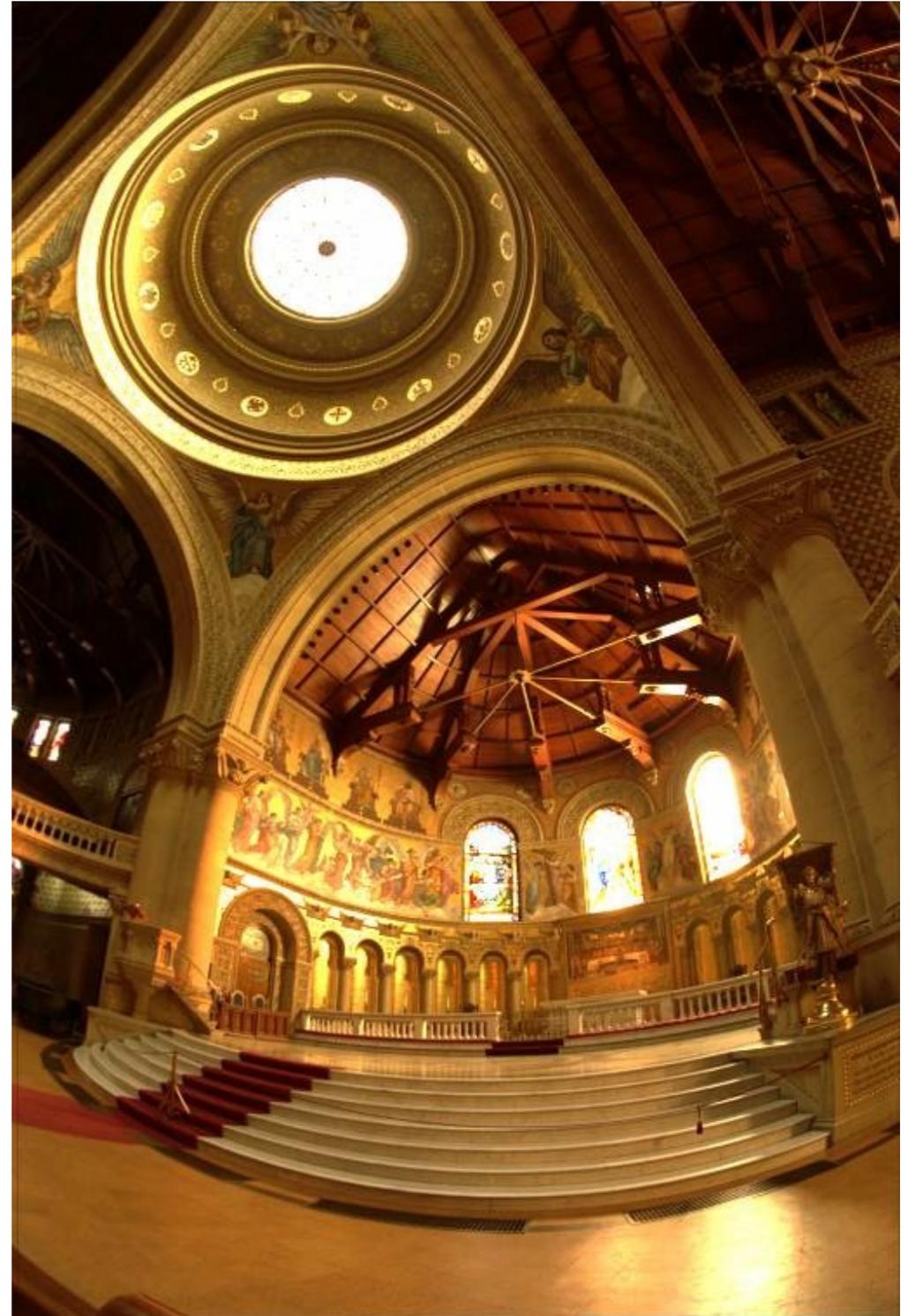


0 à 255

Linéaire



En fonction des pixels
les plus clairs



En fonction des pixels
les plus sombres

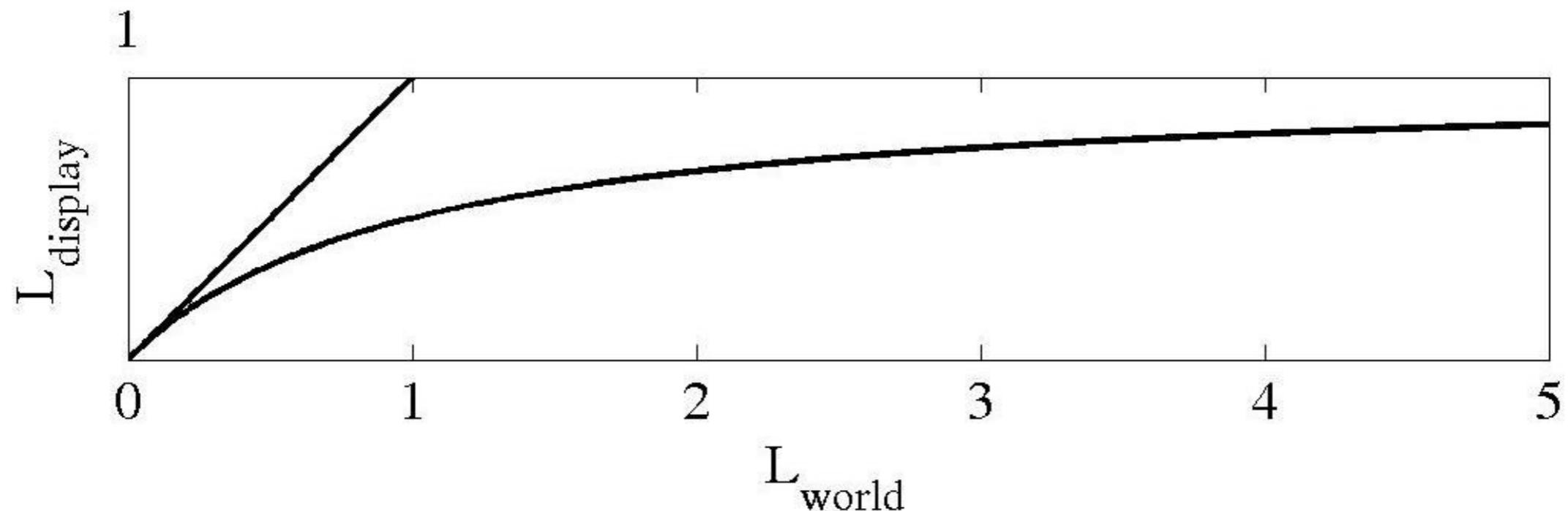
Opérateur global

- 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

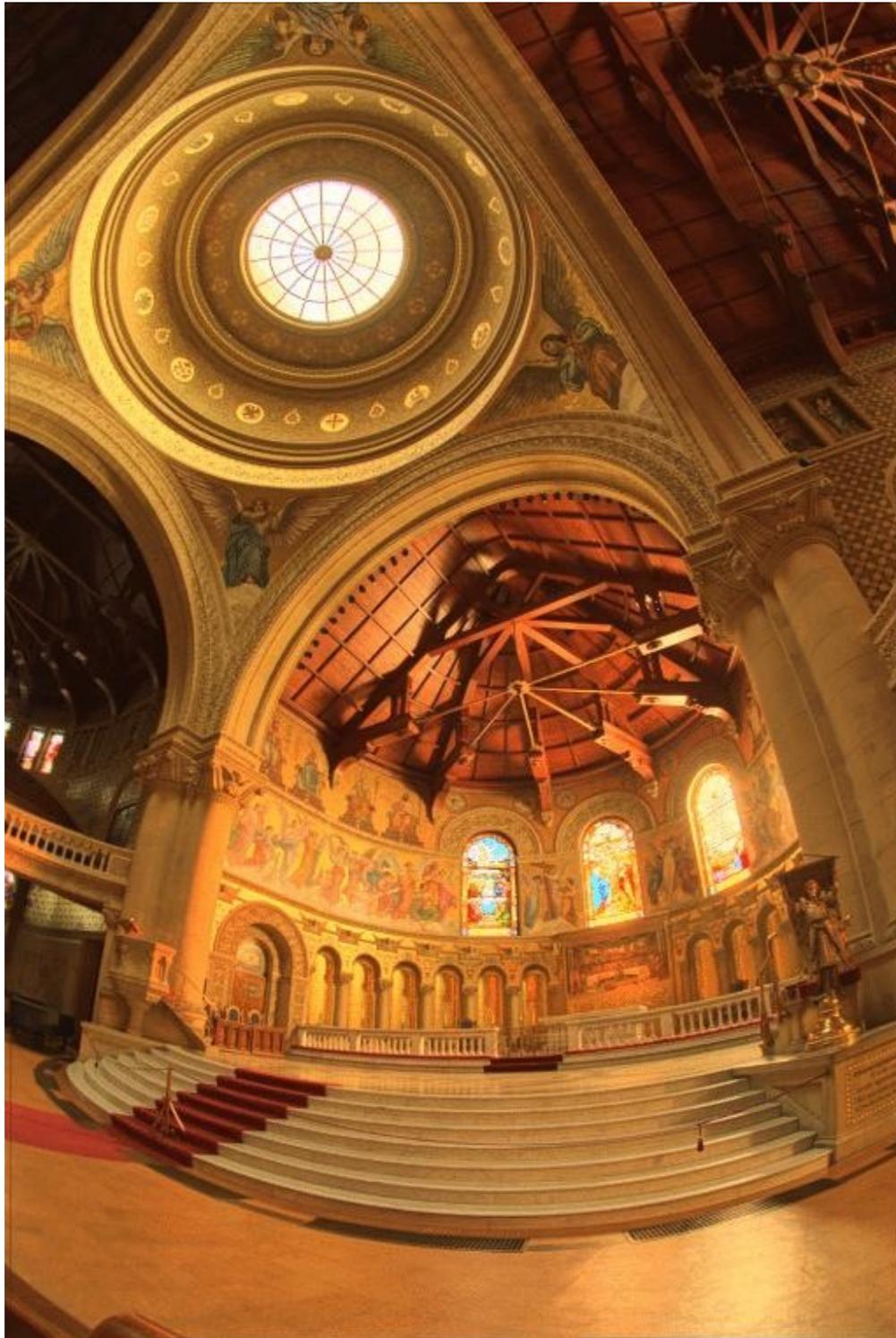
Opérateur global (Reinhard et al.)

- Solution toute simple: utiliser une transformée non-linéaire

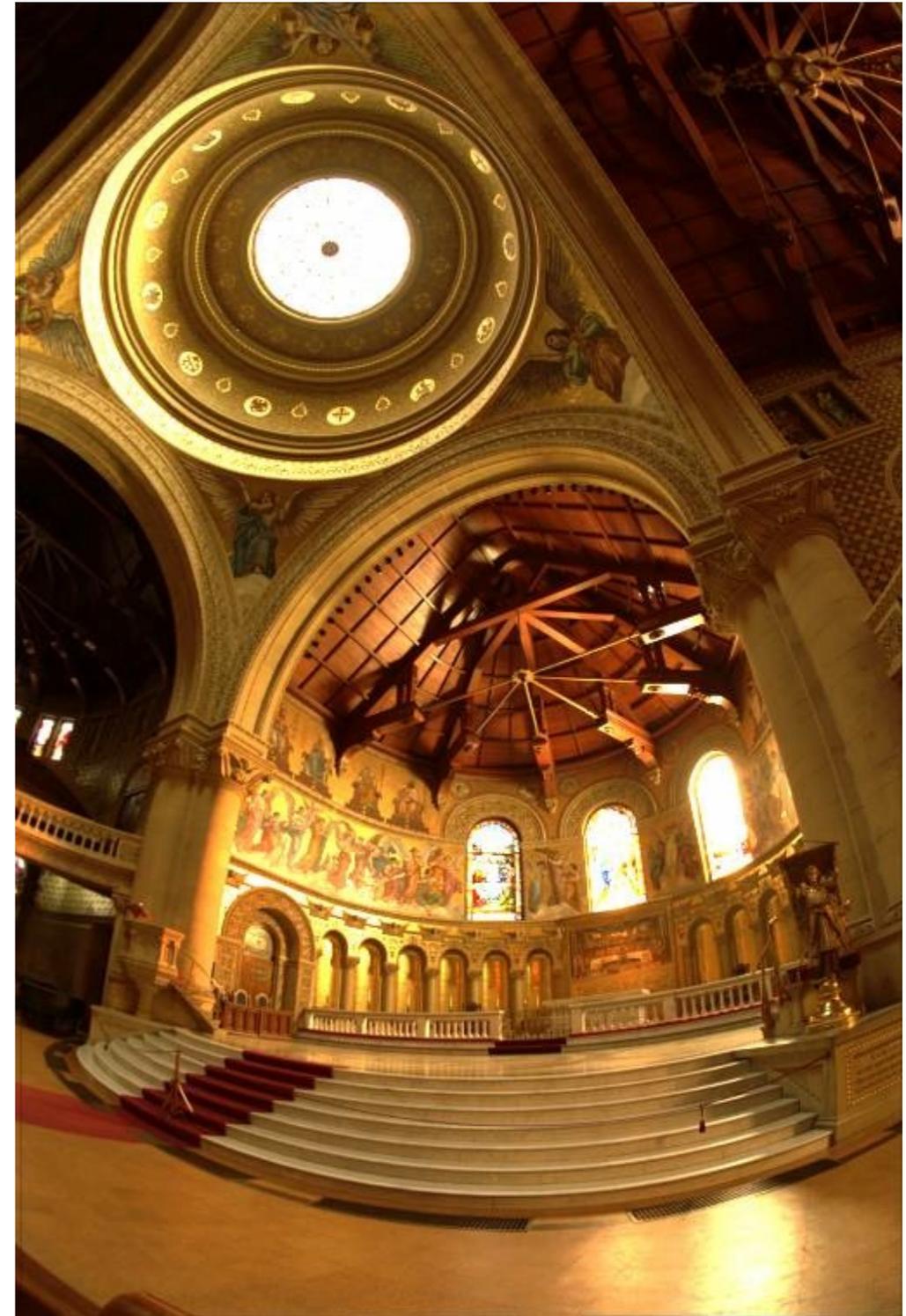
$$L_{display} = \frac{L_{world}}{1 + L_{world}}$$



Non-linéaire



Reinhard

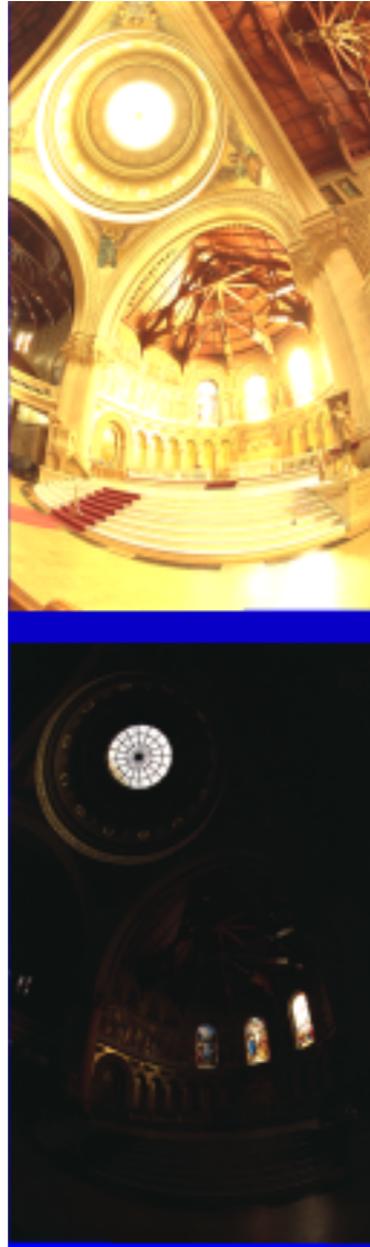


En fonction des pixels
les plus sombres

Opérateur global



Qu'est-ce que nos yeux voient?



Vs.

