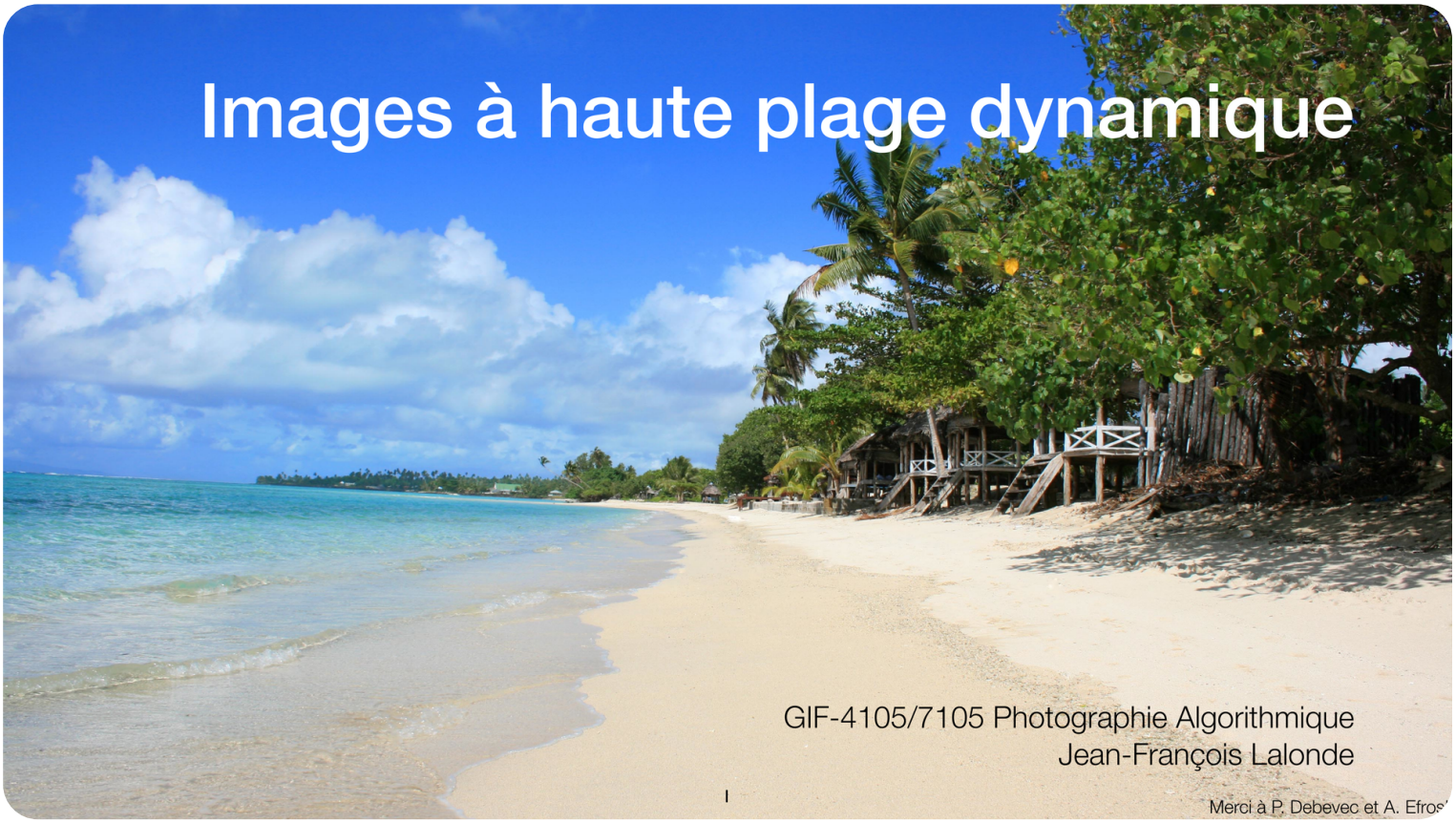
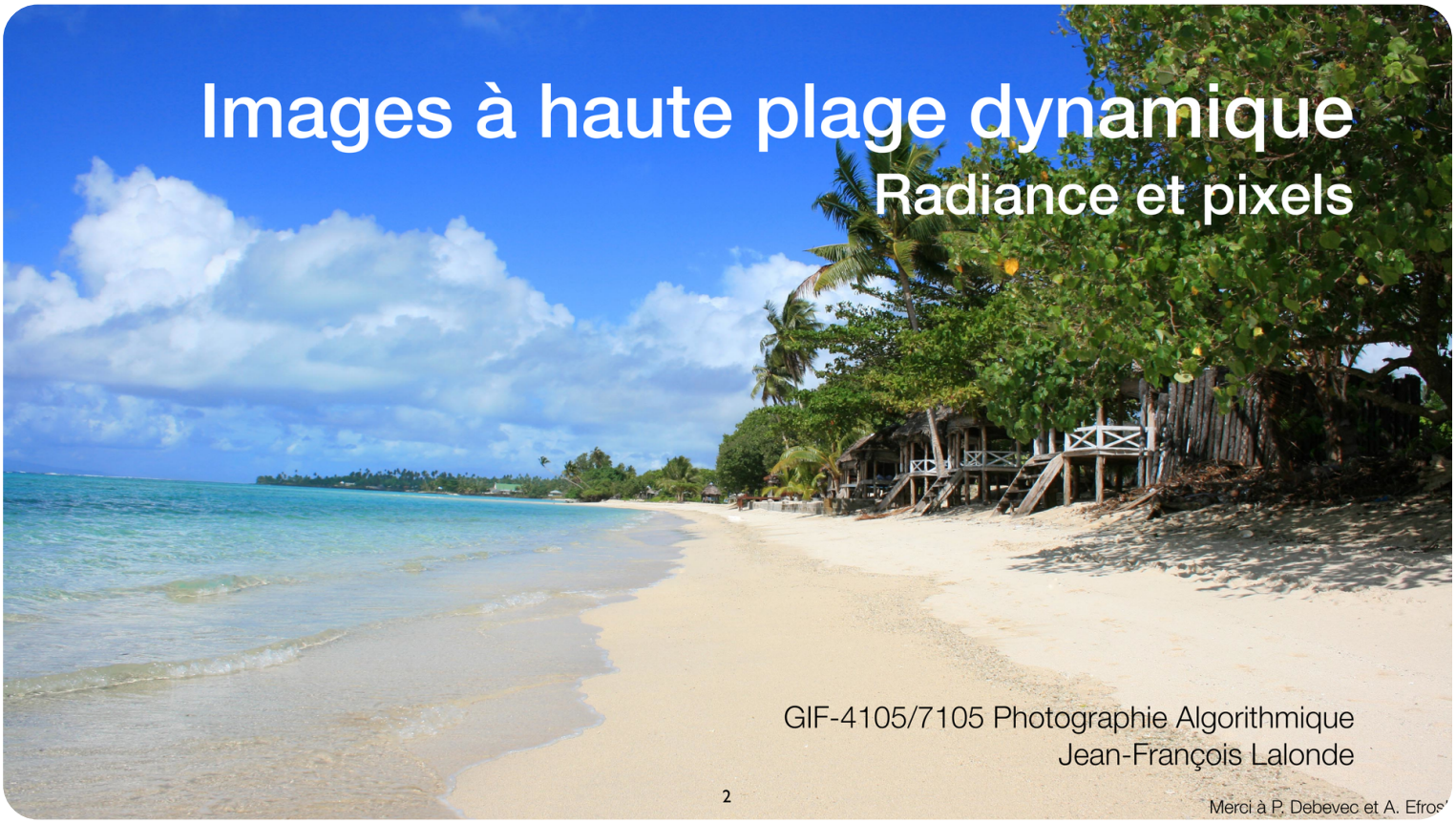
15. Les images à haute plage dynamique

Nombre de participants : 9





Images à haute plage dynamique

Radiance et pixels

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique

Jean-François Lalonde

Merci à P. Debevec et A. Efros

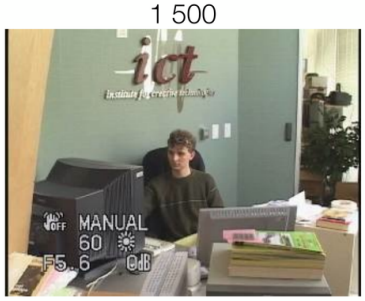
Plage dynamique

1

Plage dynamique : valeurs de radiance possibles

Le monde possède une (très) haute plage dynamique!

1 500



25 000

400 000

2 000 000 000

Et la caméra?

Plage dynamique : valeurs de radiance possibles

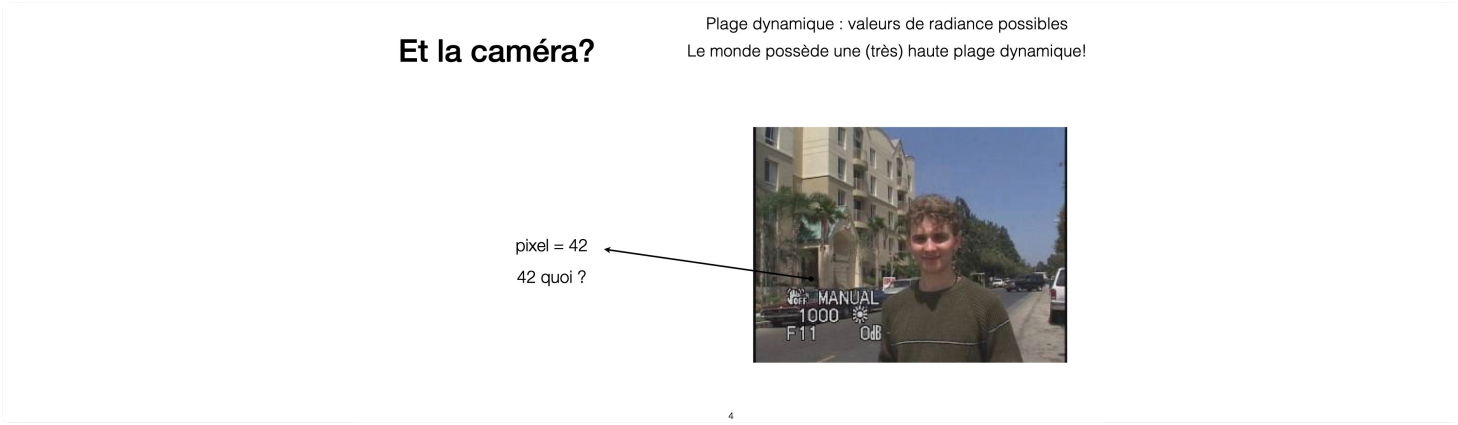
Le monde possède une (très) haute plage dynamique!

pixel = 42

42 quoi ?

1. Si un pixel a une valeur de 42, cela réfère à quoi exactement ? Quelle quantité physique ?

4 répondants



The Answer to the Ultimate Question of Life, the Universe and Everything.

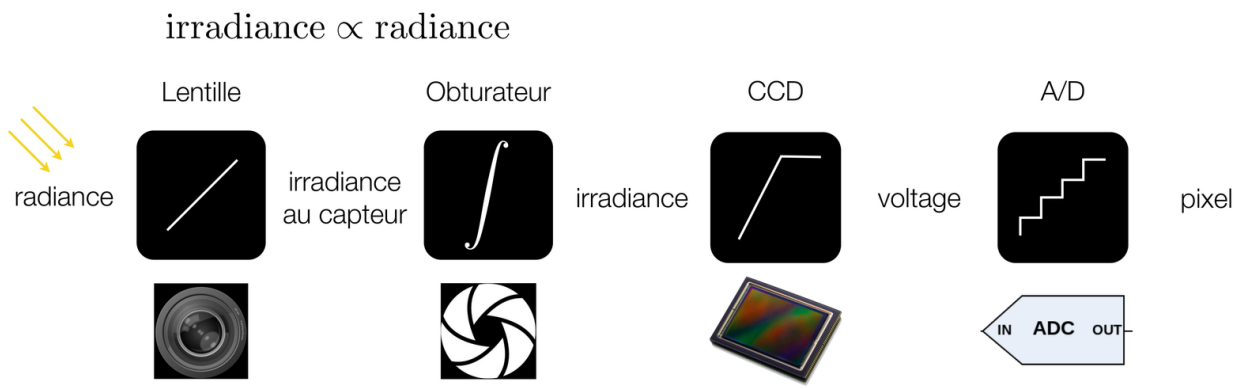
intensité

Valeur de réflexion de l'intensité lumineuse

1

42/255 de la quantité requise de lumière pour saturer le senseur

Dans une caméra…



Images : DanneP, Scarlet Rain, Image credit, Tjwikcom, wikipedi

2. Quelle est la relation entre la valeur d'un pixel (RAW) et la radiance ?

2 répondants

Dans une caméra…

irradiance ∝ radiance
Lentille
Obturateur
CCD
A/D
radiance
irradiance au capteur
irradiance
voltage
pixel
IN
ADC
OUT

5

Images : DanneP, Scarlet Rain, Image credit, Tjwikcom, wikipedia

?

linéaire jusqu'à saturation

Images à haute plage dynamique

Capturer la radiance

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Merci à P. Debevec et A. Efros

Relation entre pixels et radiance

En pratique, les caméras ont également une fonction de réponse non-linéaire… on y reviendra.

- Pour une caméra « linéaire »

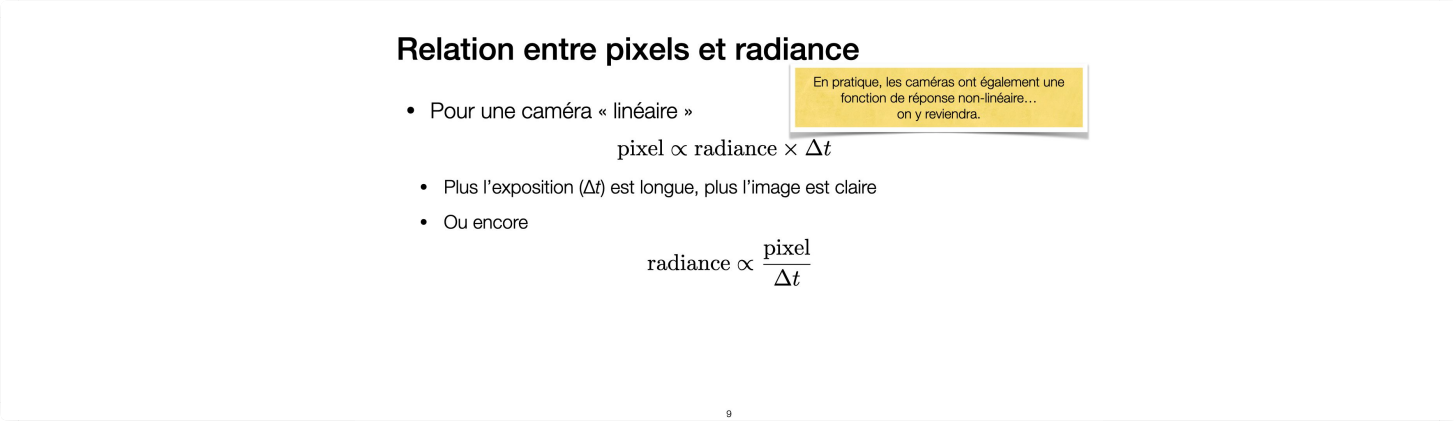
$$\text{pixel} \propto \text{radiance} \times \Delta t$$

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

$$\text{radiance} \propto \frac{\text{pixel}}{\Delta t}$$

3. Comment fait-on pour capturer la radiance avec une caméra ?

4 répondants



on augmente le temps d'obturation

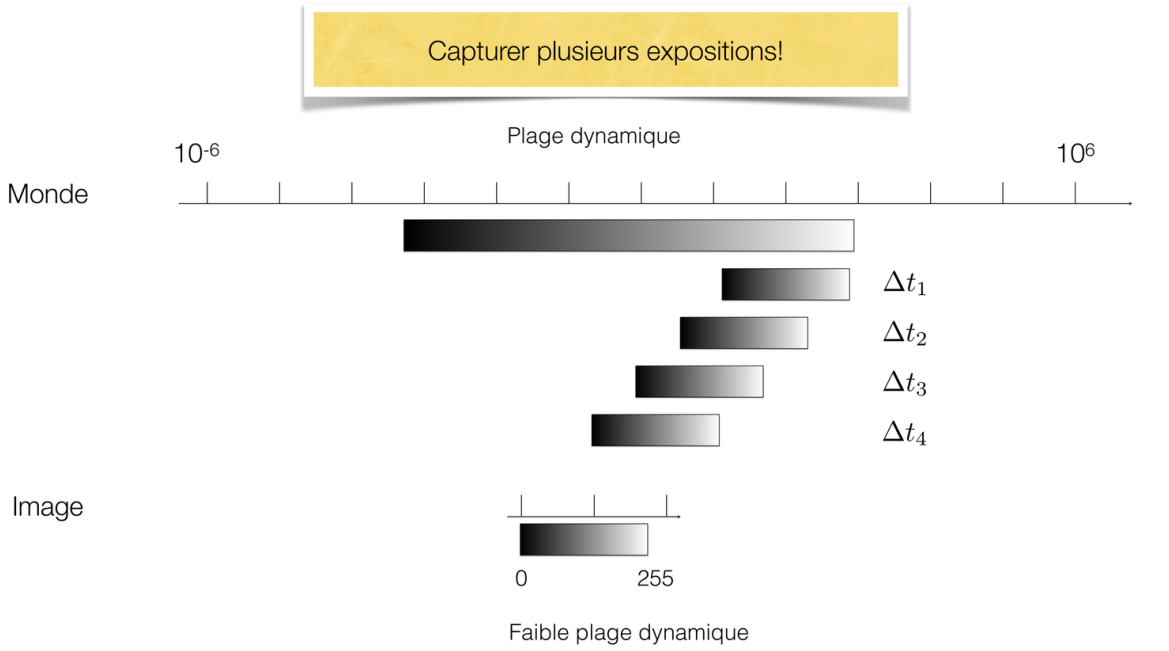
On fait varier la vitesse d'obturation

plusieurs expositions de longueurs différentes

Plusieurs delta t

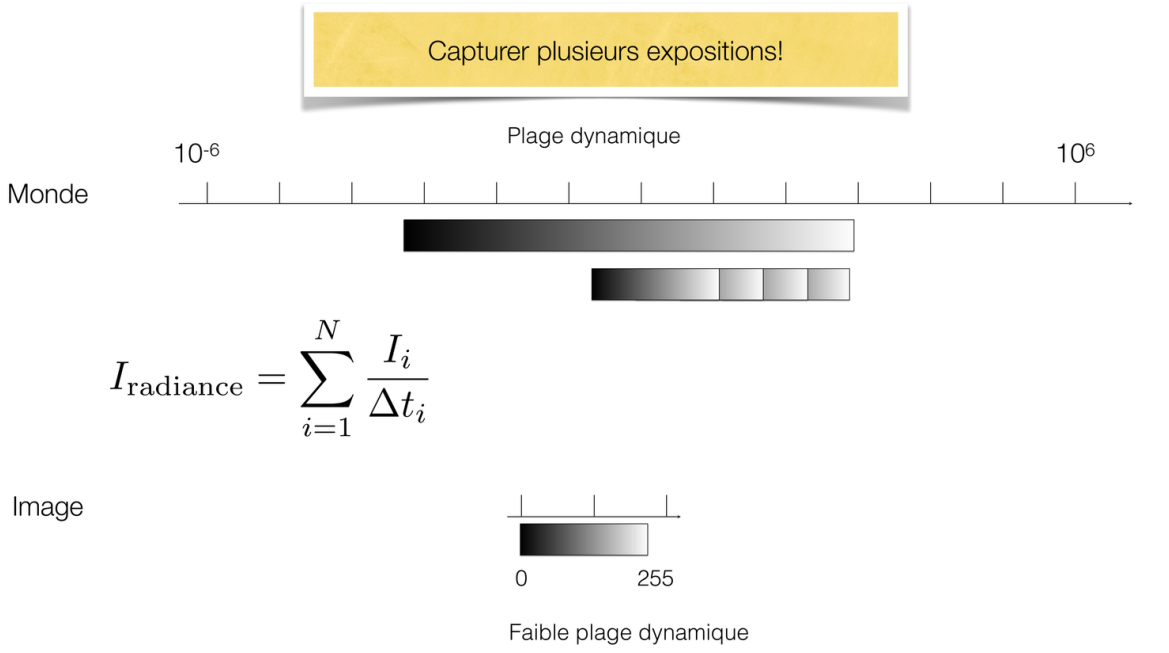
Radiance à partir des pixels?

$$\text{radiance} \propto \frac{\text{pixel}}{\Delta t}$$



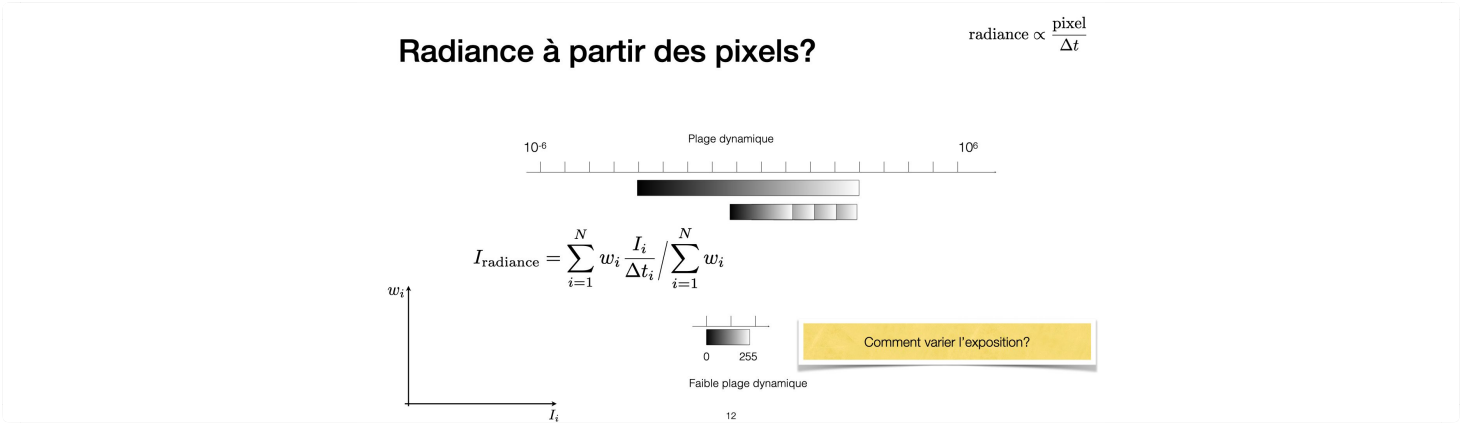
Radiance à partir des pixels?

$$\text{radiance} \propto \frac{\text{pixel}}{\Delta t}$$



4. Pourquoi est-il préférable de pondérer les pixels ?

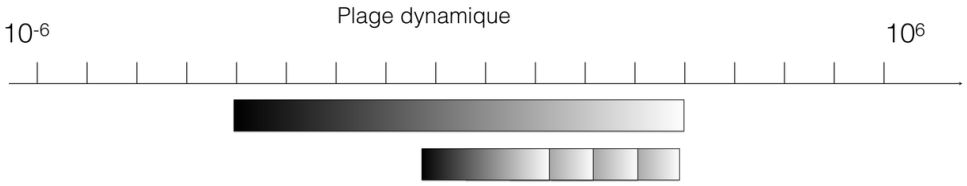
6 bonnes réponses
sur 6 répondants



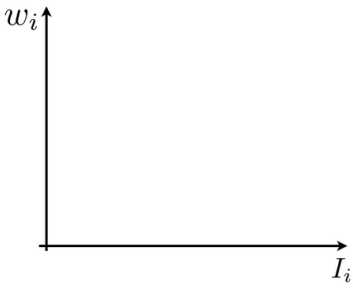
✓	Parce que les valeurs près de 0/255 sont sous/sur-saturées	100%	6 votes
	Parce que cela limite le recouvrement spectral comme pour le filtre gaussien	0%	0 votes
	Pour diminuer l'importance des valeurs près de 127	0%	0 votes
	Pour que l'algorithme soit plus rapide à calculer	0%	0 votes

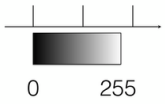
Radiance à partir des pixels?

$$\text{radiance} \propto \frac{\text{pixel}}{\Delta t}$$



$$I_{\text{radiance}} = \sum_{i=1}^{N} w_i \frac{I_i}{\Delta t_i} \Big/ \sum_{i=1}^{N} w_i$$

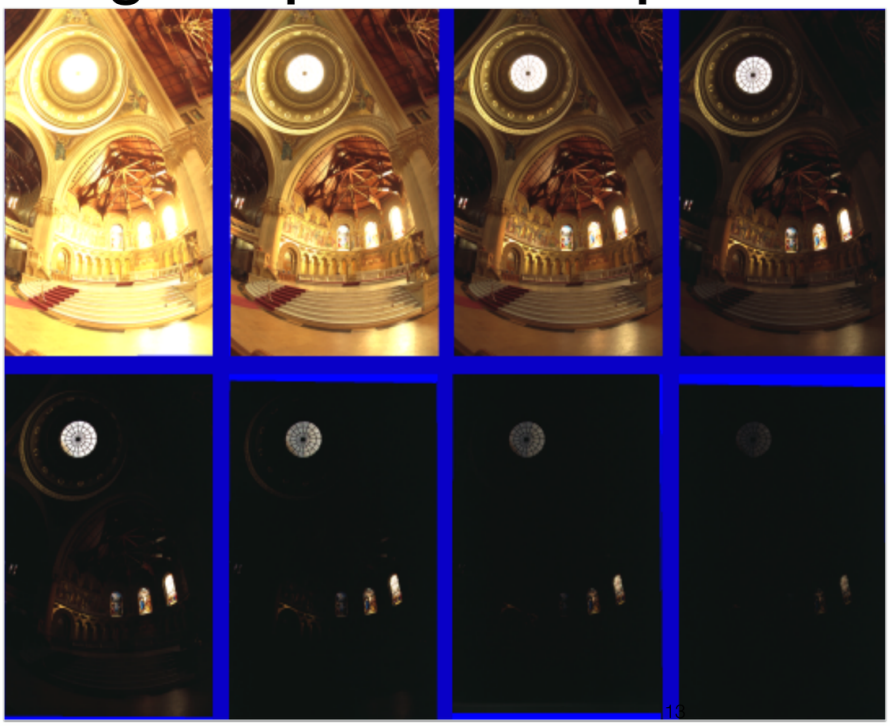


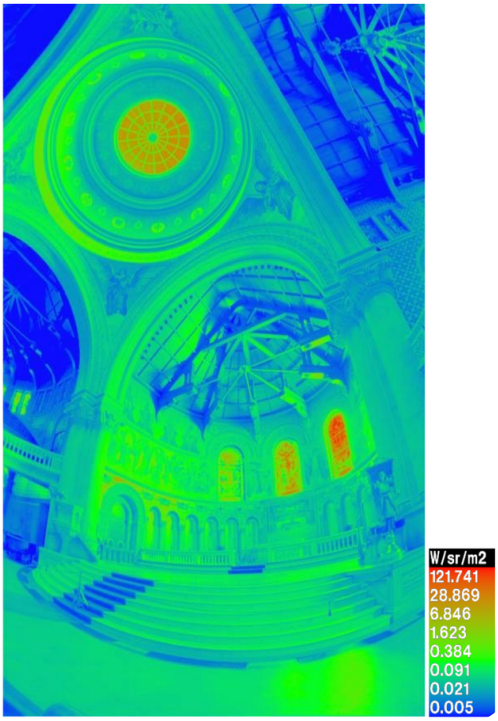


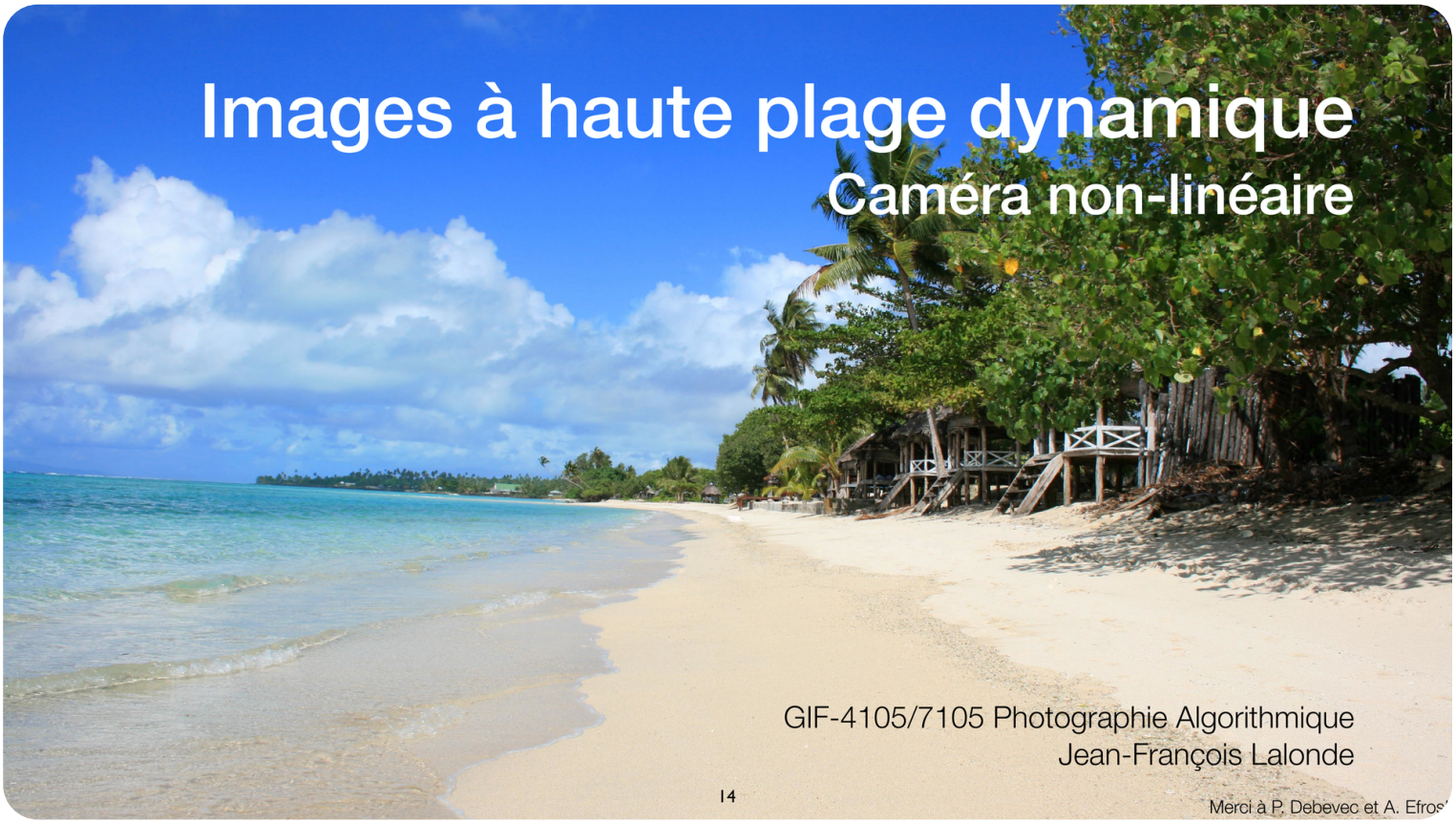
Faible plage dynamique

Comment varier l'exposition?

Images à plusieurs expositions







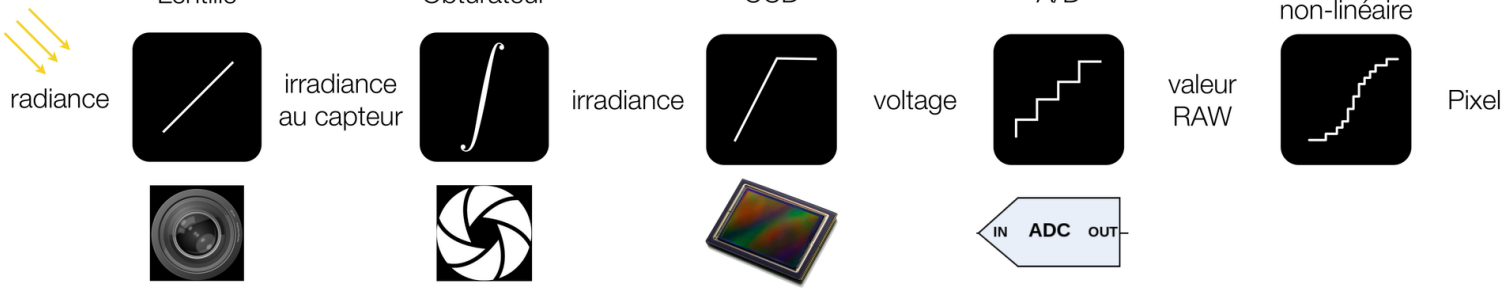
Images à haute plage dynamique

Caméra non-linéaire

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Merci à P. Debevec et A. Efros

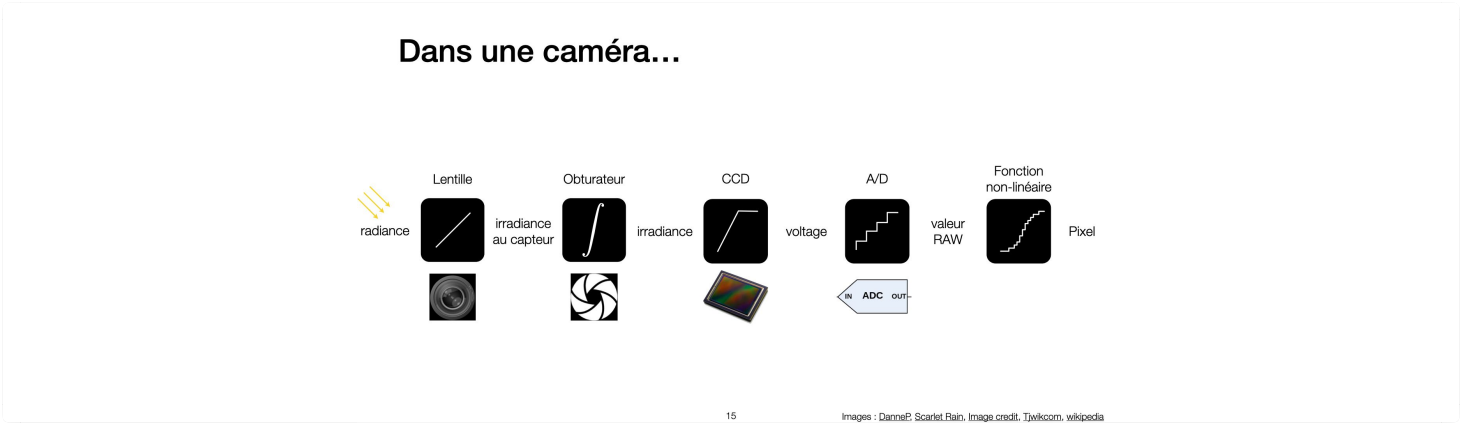
Dans une caméra…



Images : DanneP, Scarlet Rain, Image credit, Tjwikcom, wikipedi

5. Pourquoi rajoute-t-on une fonction non-linéaire dans une caméra ?

7 répondants



Pour être visible à l'humain

La perception des couleurs est non-linéaire

pour adapter à la vision humaine

à cause de la limite qu'on peut capter la radiance ?

Pour une meilleure perception

Perception est non linéaire

pour ajuster à la perception humaine

Dans une caméra…

Pourquoi la fonction non-linéaire?

Laquelle de ces deux images illustre une augmentation **constante** d'intensité?

Augmentation constante d'intensité **émise**

a)

Augmentation constante d'intensité **perçue**

b)

Fonction non-linéaire

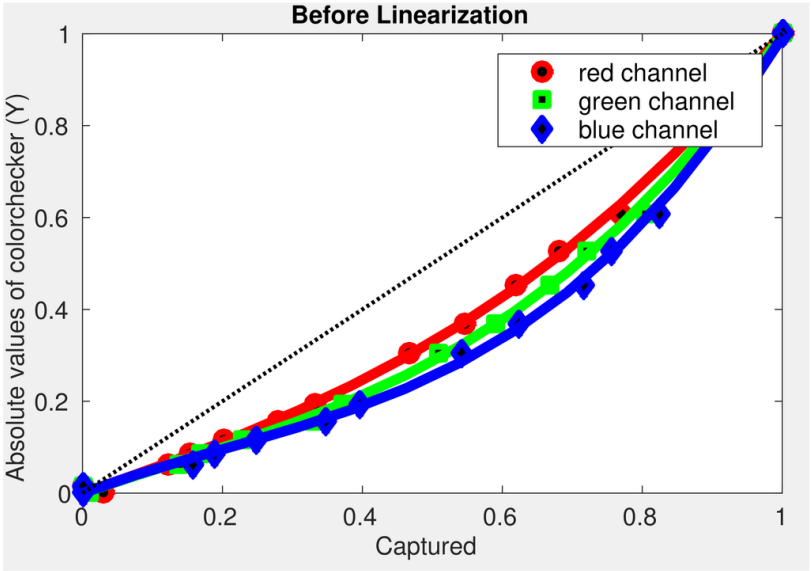
Pixel

Source : John Nova

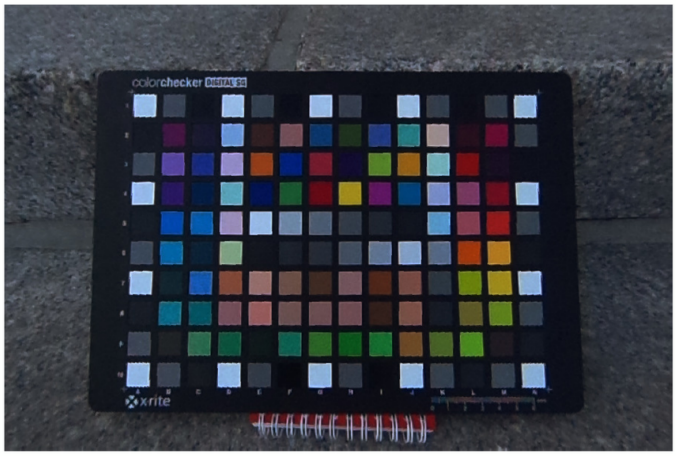
Merci à P. Debevec et A. Efros

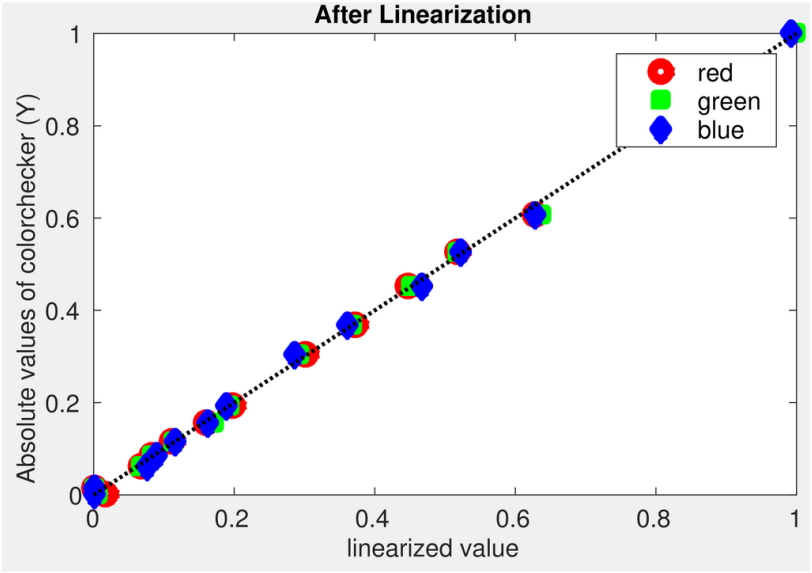
Calibrage radiométrique

Calibrage radiométrique



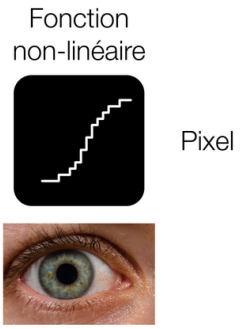
Calibrage radiométrique





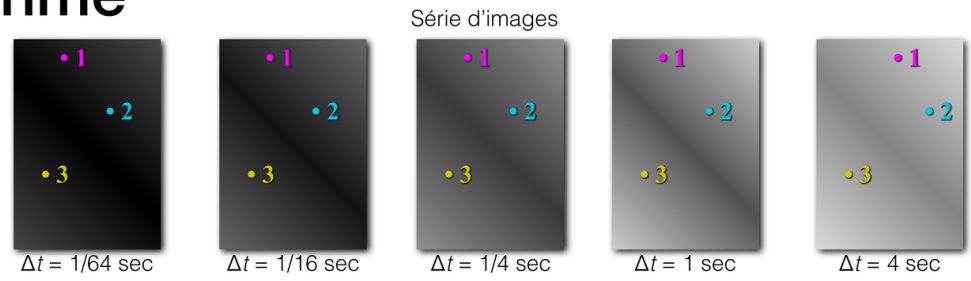
Dans une caméra…

- Comment estimer cette fonction?
- Première option
  - utiliser une cible de calibrage radiométrique
- Seconde option
  - l'estimer automatiquement à partir des images
  - article de P. Debevec (SIGGRAPH 1997)



Source : John Nova

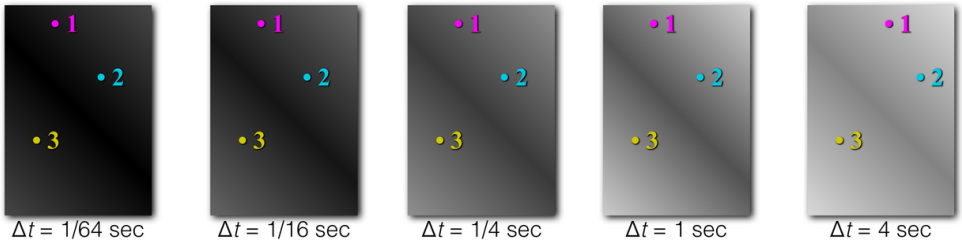
Algorithme



$$z = f(\text{radiance} \times \Delta t)$$

Algorithme

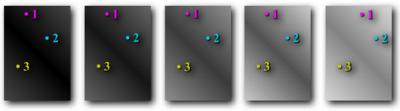
Série d'images



Δ*t* = 1/64 sec | Δ*t* = 1/16 sec | Δ*t* = 1/4 sec | Δ*t* = 1 sec | Δ*t* = 4 sec

$j = \text{image}$
$i = \text{pixel}$

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

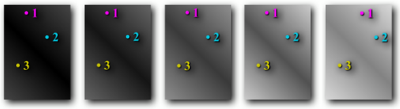


$$g(z_{ij}) = \log \text{radiance}_i + \log \Delta t_j$$

$j = \text{image}$
$i = \text{pixel}$

Quels sont les connus/inconnus?

Astuce : discrétiser la fonction g()



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

j = image
i = pixel

$$\begin{matrix} g(0) & g(1) & g(2) & g(3) & \cdots & g(255) & r_1 & r_2 & r_3 & \cdots & r_N \end{matrix}$$

$$\begin{bmatrix} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g(0) \\ g(1) \\ g(2) \\ g(3) \\ \vdots \\ g(255) \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \vdots \\ r_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \end{bmatrix}$$

$\mathbf{A}$ $\mathbf{x}$ $\mathbf{b}$

Rappel!

Comment trouver x

- Nous avons un système d'équations linéaires de la forme

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$$

où **A** est « sous-contraint »
(car on peut ajouter n'importe quelle constante à **x**!)

- En python, on peut le résoudre avec la fonction

```
from scipy import linalg
x = linalg.lstsq(A, b)
```

qui trouve le **x** qui minimise $||\mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{b}||_2$

Comment trouver x

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$$

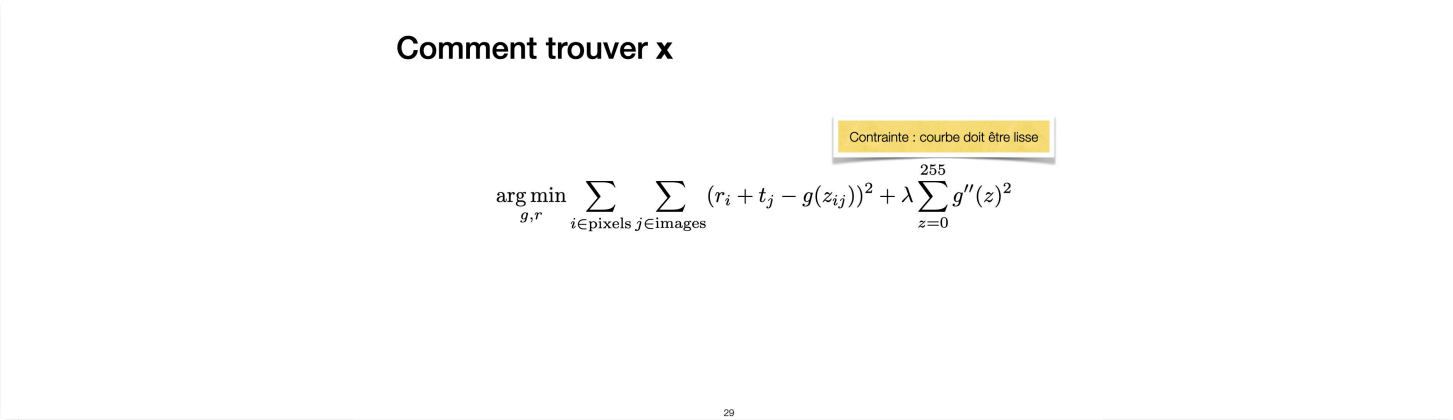
Autre façon de l'écrire :

$$\arg\min_{g,r} \sum_{i \in \text{pixels}} \sum_{j \in \text{images}} (r_i + t_j - g(z_{ij}))^2$$

Quel est le problème?

6. Quel est le problème avec cette formulation ?

4 répondants



Manque de normalisation

1

si on n'a pas de pixel d'une certaine intensité, on ne sait pas quoi mettre là

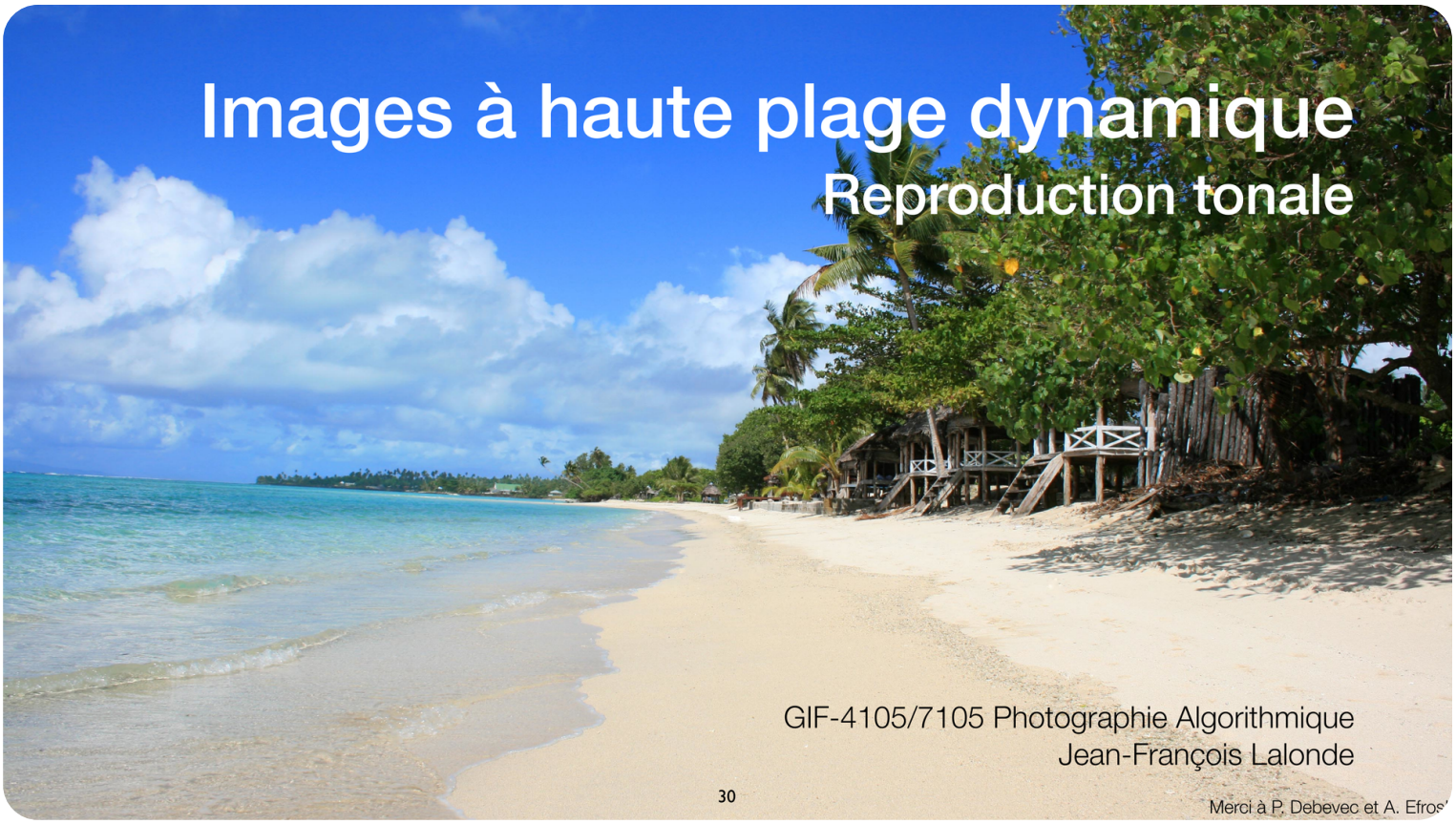
Longueur de calculs ?

Pas de valeurs pour chaque g

Comment trouver **x**

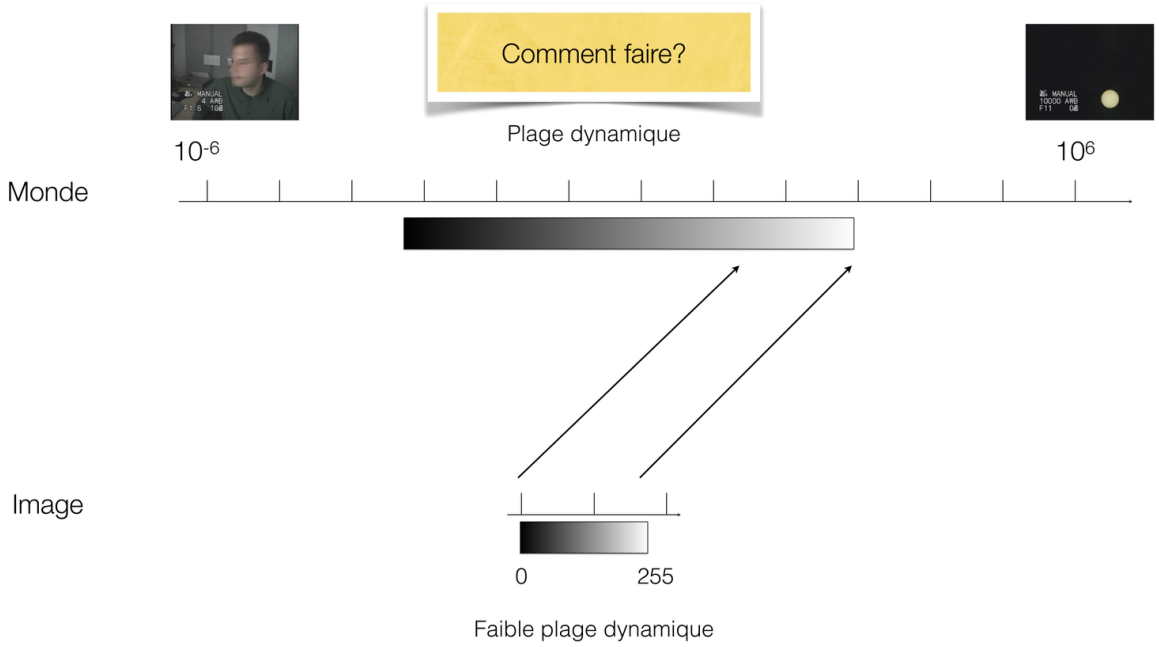
Contrainte : courbe doit être lisse

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



Reproduction tonale

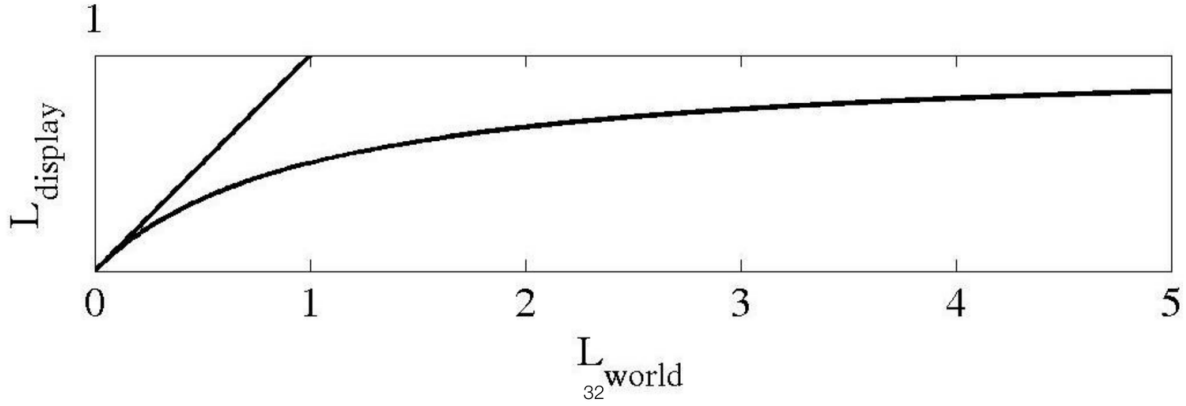
$$\text{radiance} \propto \frac{\text{pixel}}{\Delta t}$$



Idée 1 : opérateur global (Reinhard et al.)

- Solution simple : utiliser une transformée **non-linéaire**

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

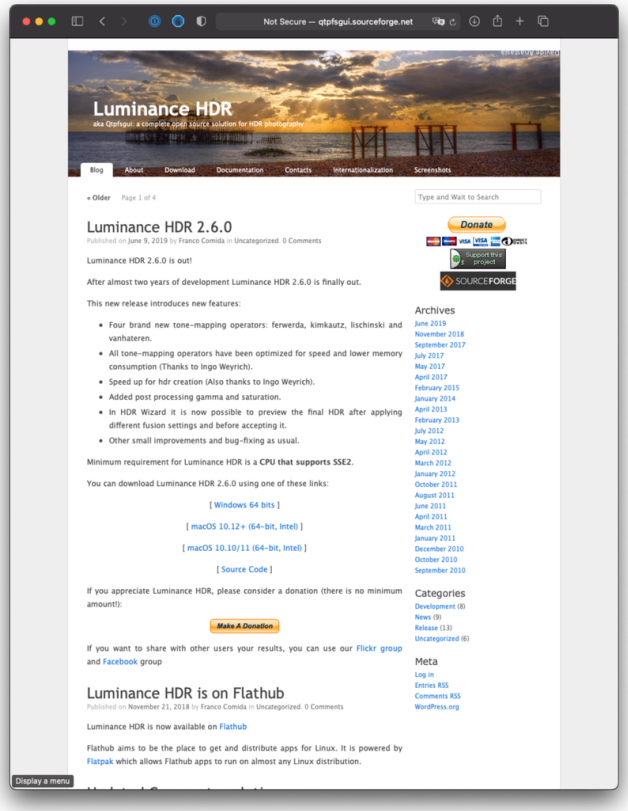


Perceptuel (Reinhard et al.) Filtre bilatéral (Durand et Dorsey) Gradients (Fattal et al.)

33

Luminance HDR

- Visualiser HDR
- Expérimenter avec opérateurs de reproduction tonale



34