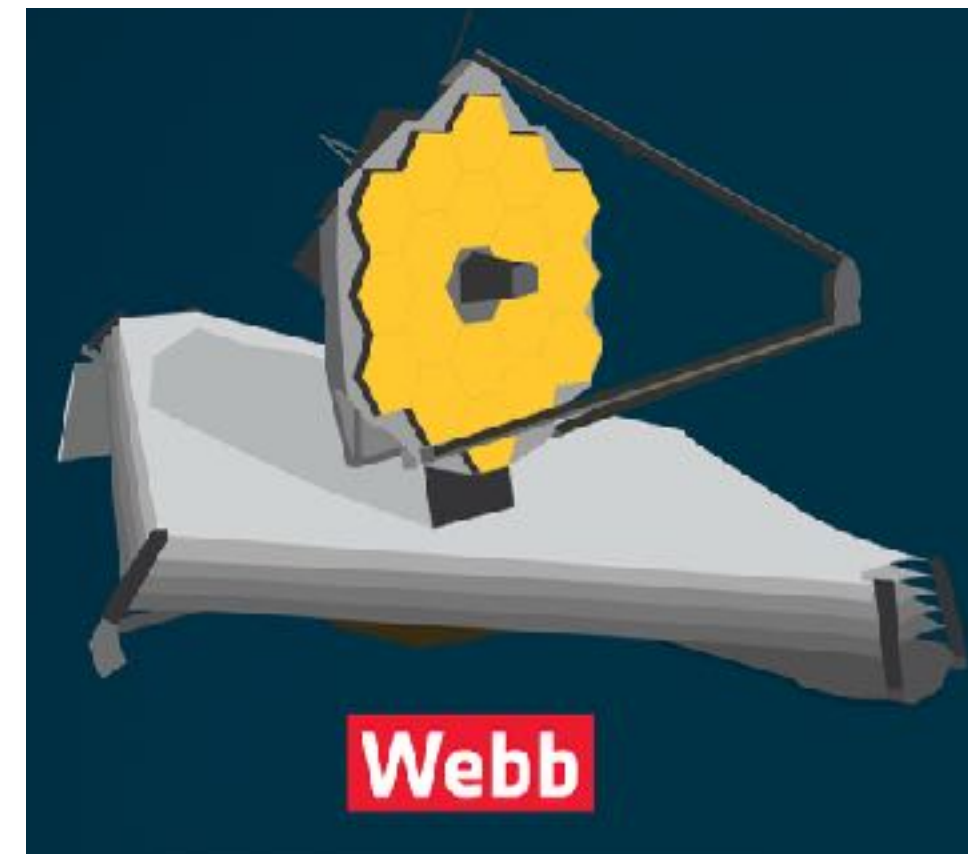


Modélisation avancée de la réponse pixel des détecteurs CMOS : décorrélation des paramètres et application à Euclid et SVOM

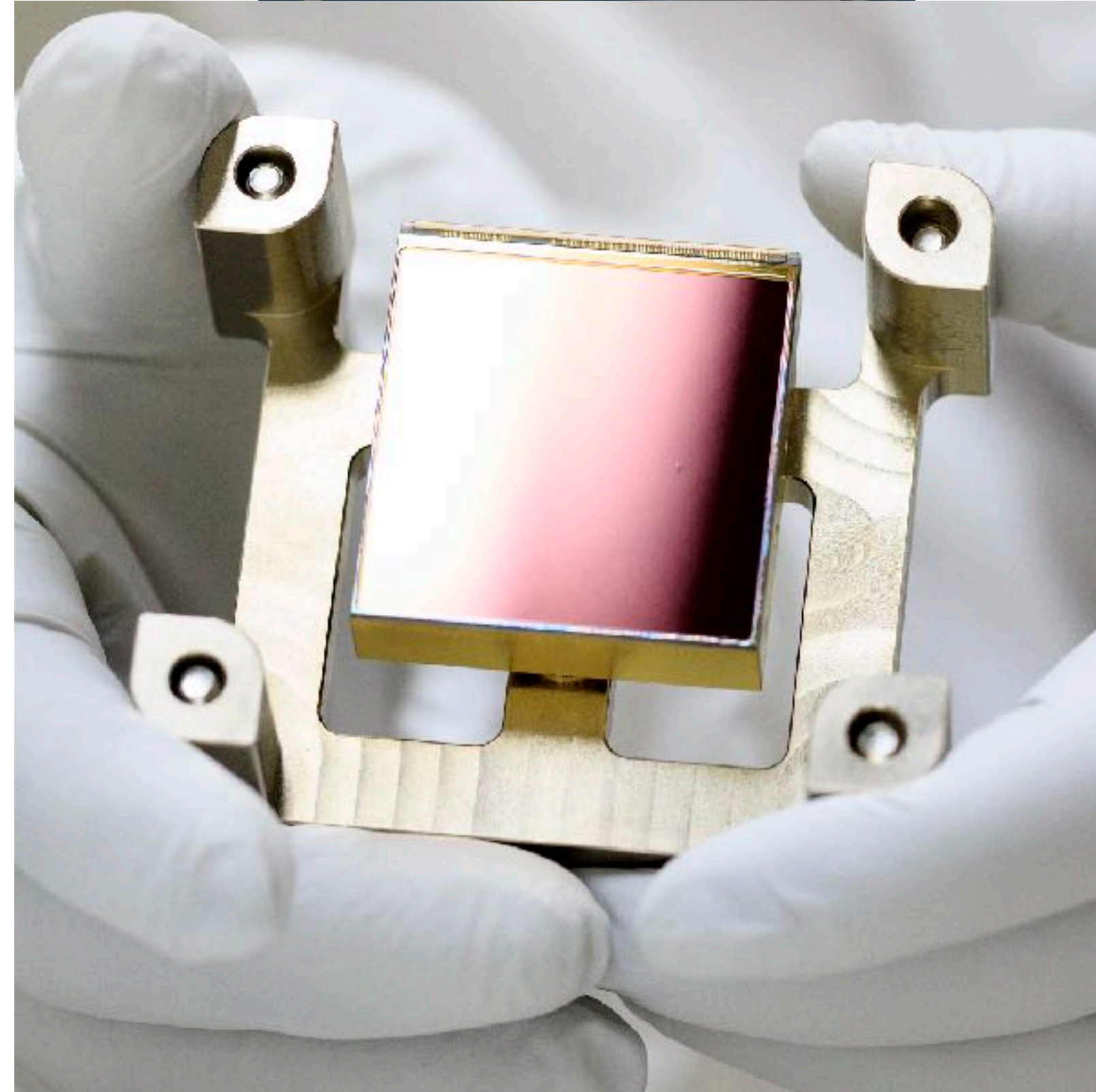
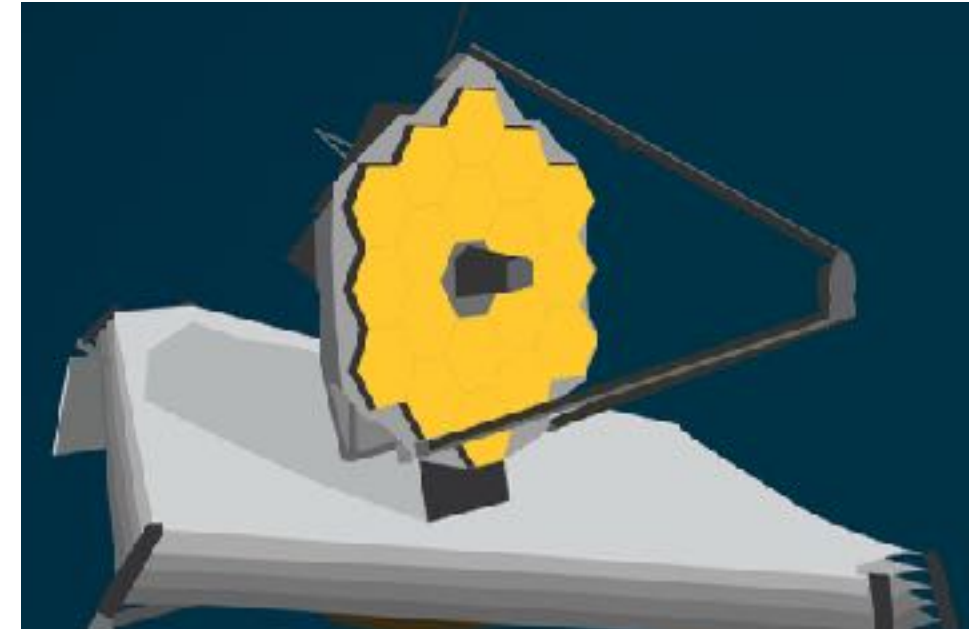
Jean Le Graët - Mardi 31 Mars

Directeur-riche : Éric Kajfasz & Aurélia Secroun



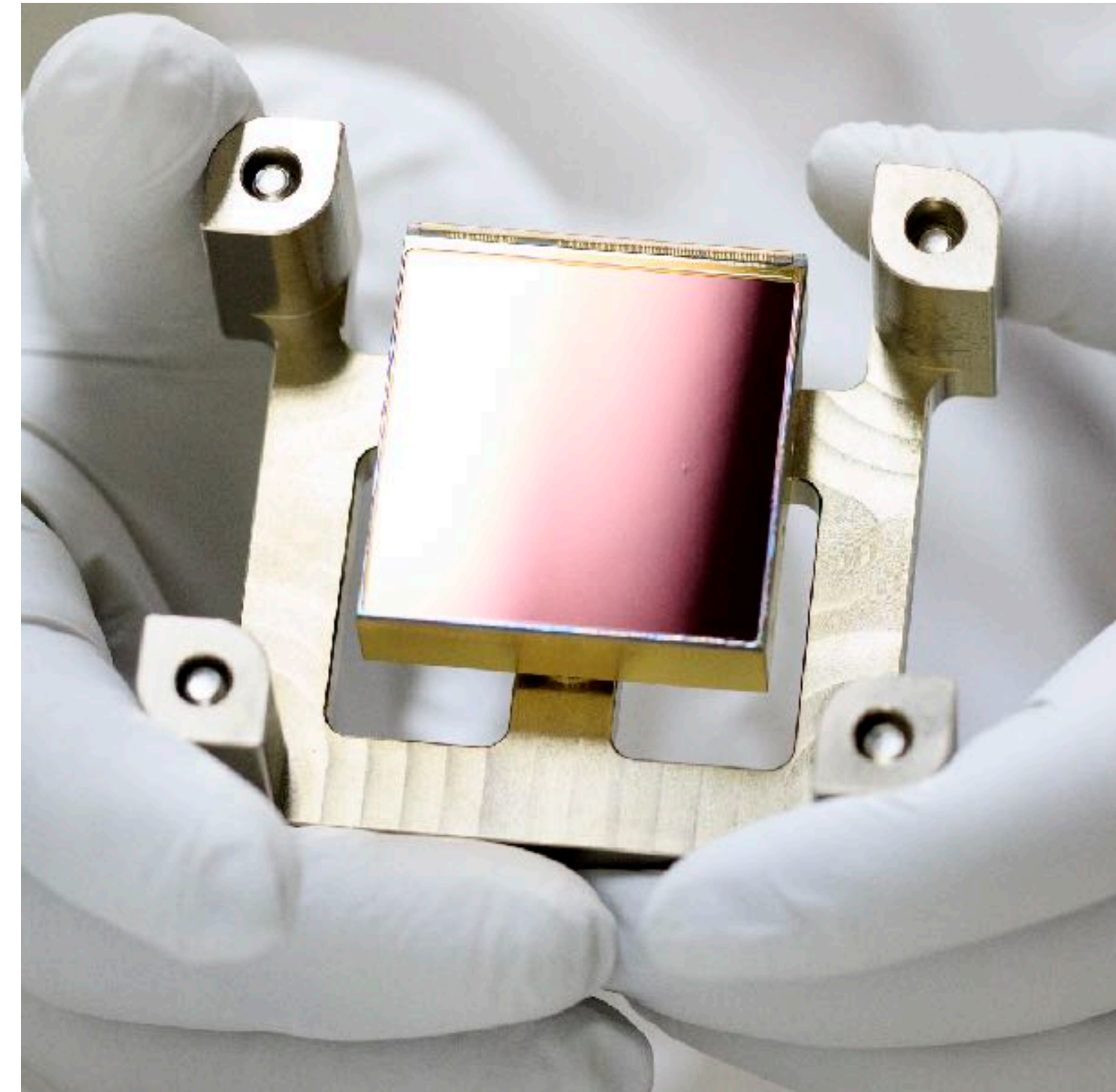


Utilisation des détecteurs CMOS



Qu'est ce qu'un détecteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ?

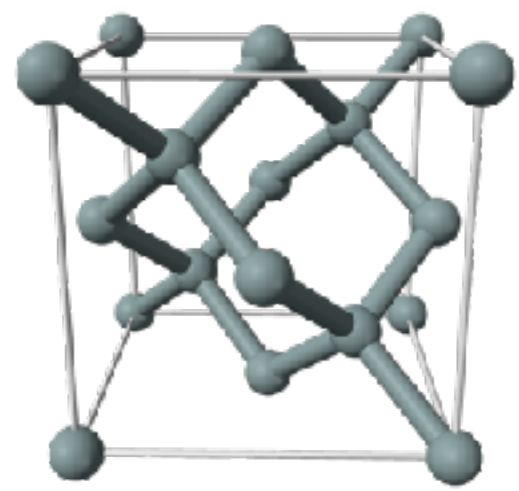
- ▶ Convertit la lumière en signal numérique



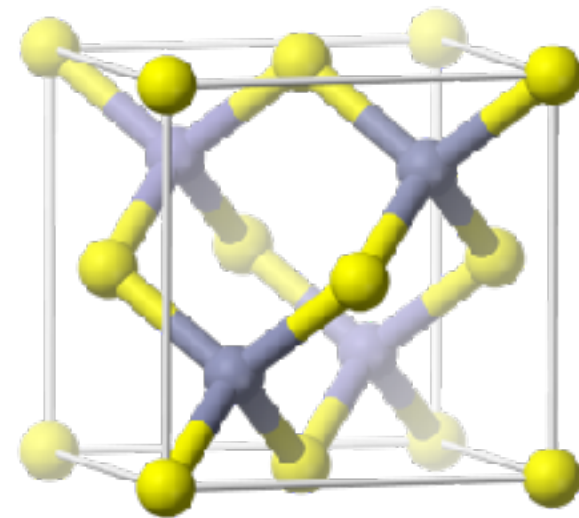
Qu'est ce qu'un détecteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ?

- ▶ Convertit la lumière en signal numérique
- ▶ Utilise des matériaux semi-conducteurs

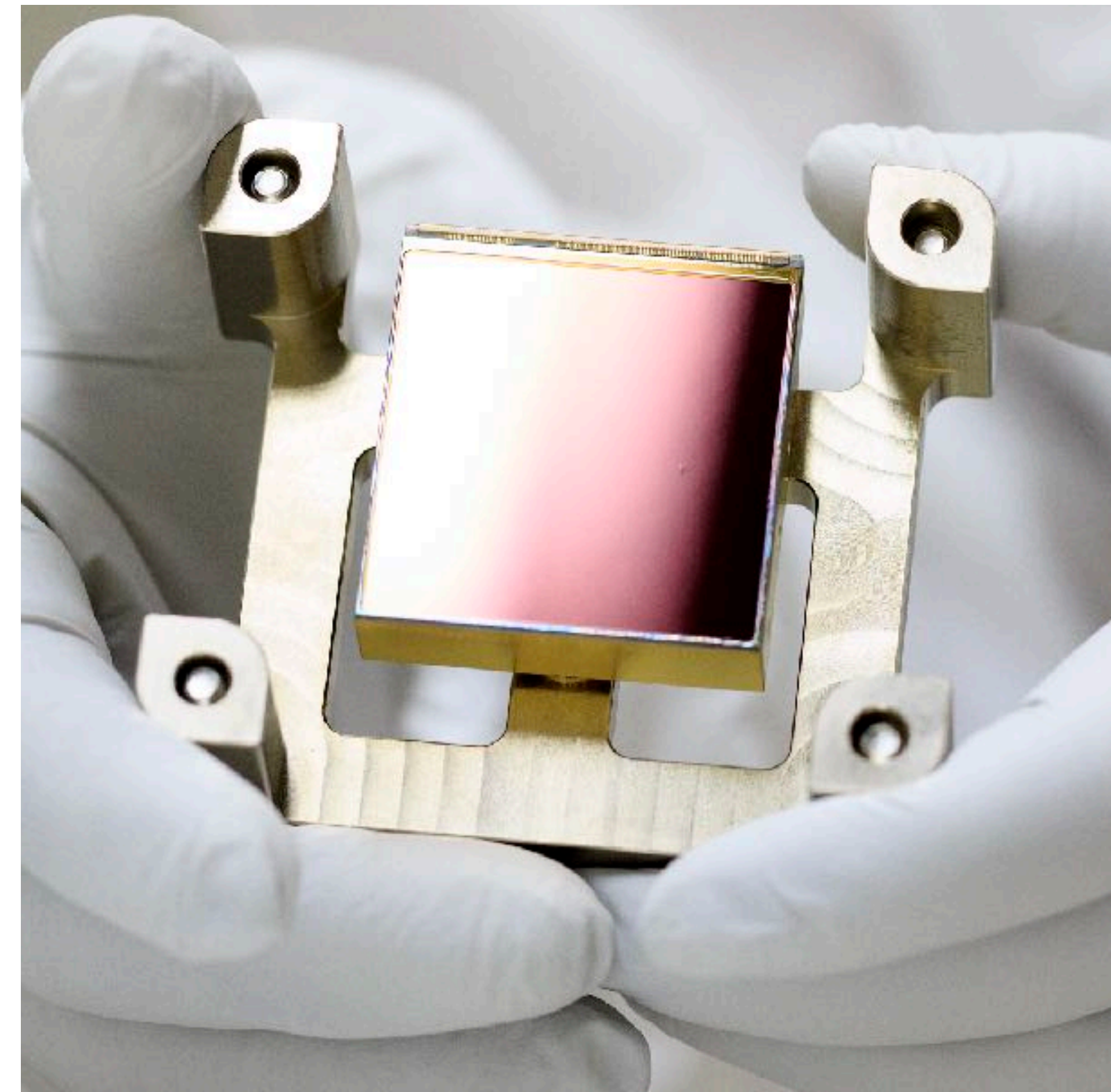
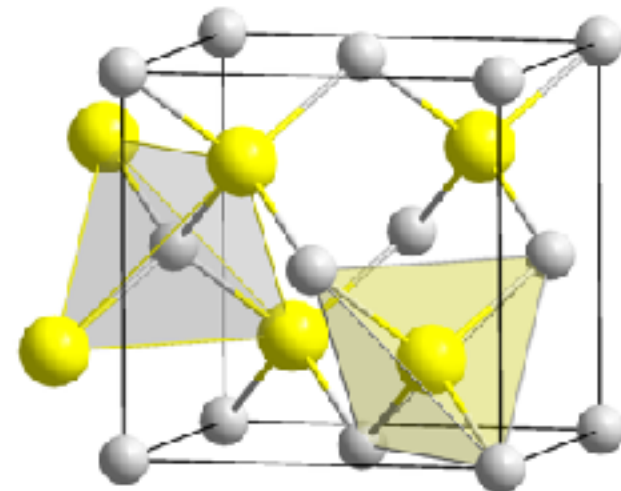
Silicium



HgCdTe

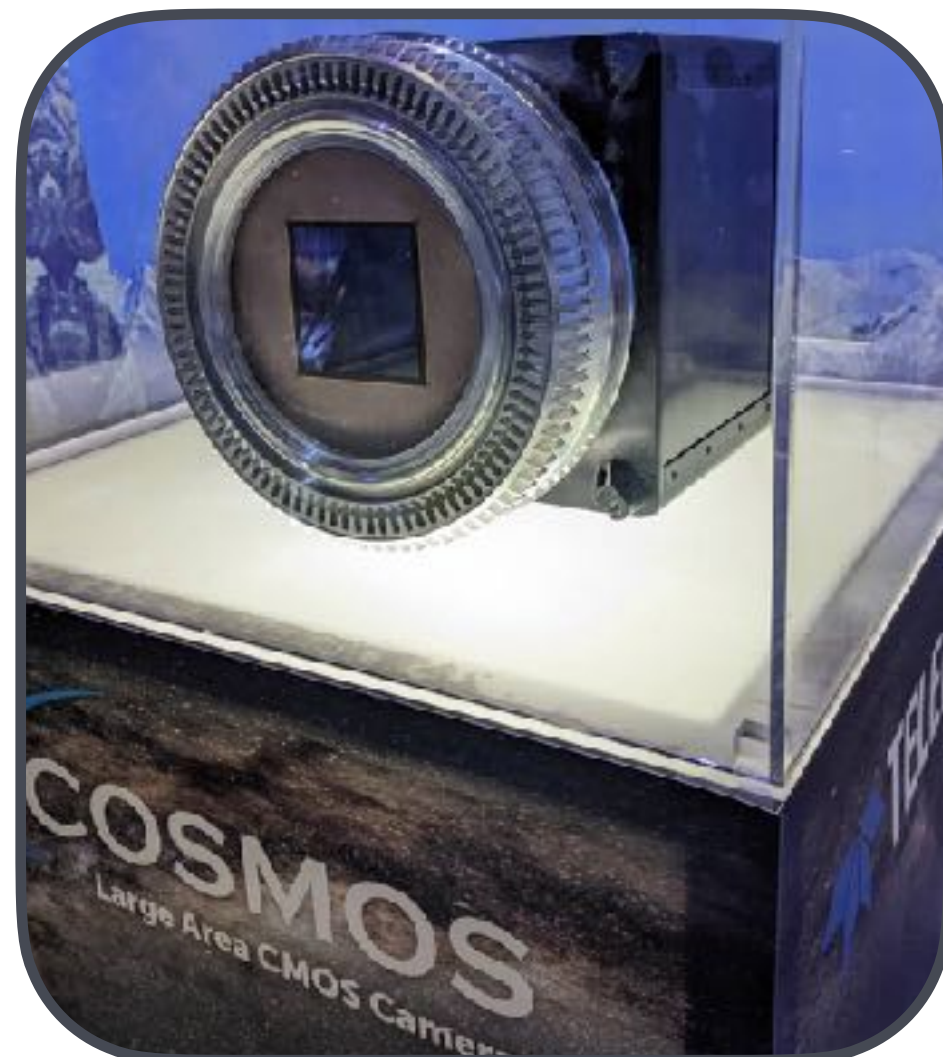


InGaAs



Qu'est ce qu'un détecteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ?

- ▶ Convertit la lumière en signal numérique
- ▶ Utilise des matériaux semi-conducteurs
- ▶ Divisé en un grand nombre de pixels

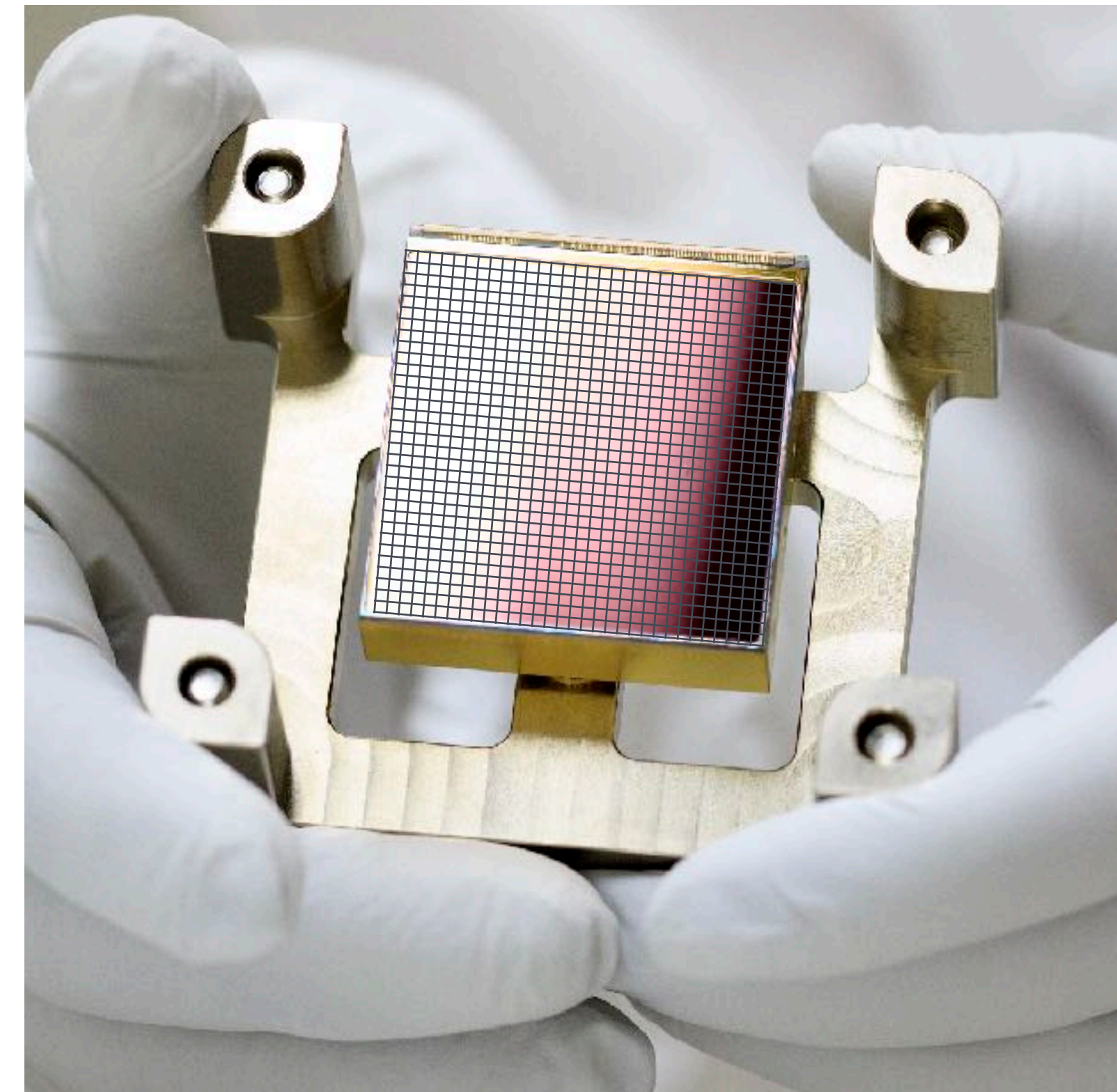


Jusque 8kx8k pixels

64 Mpx

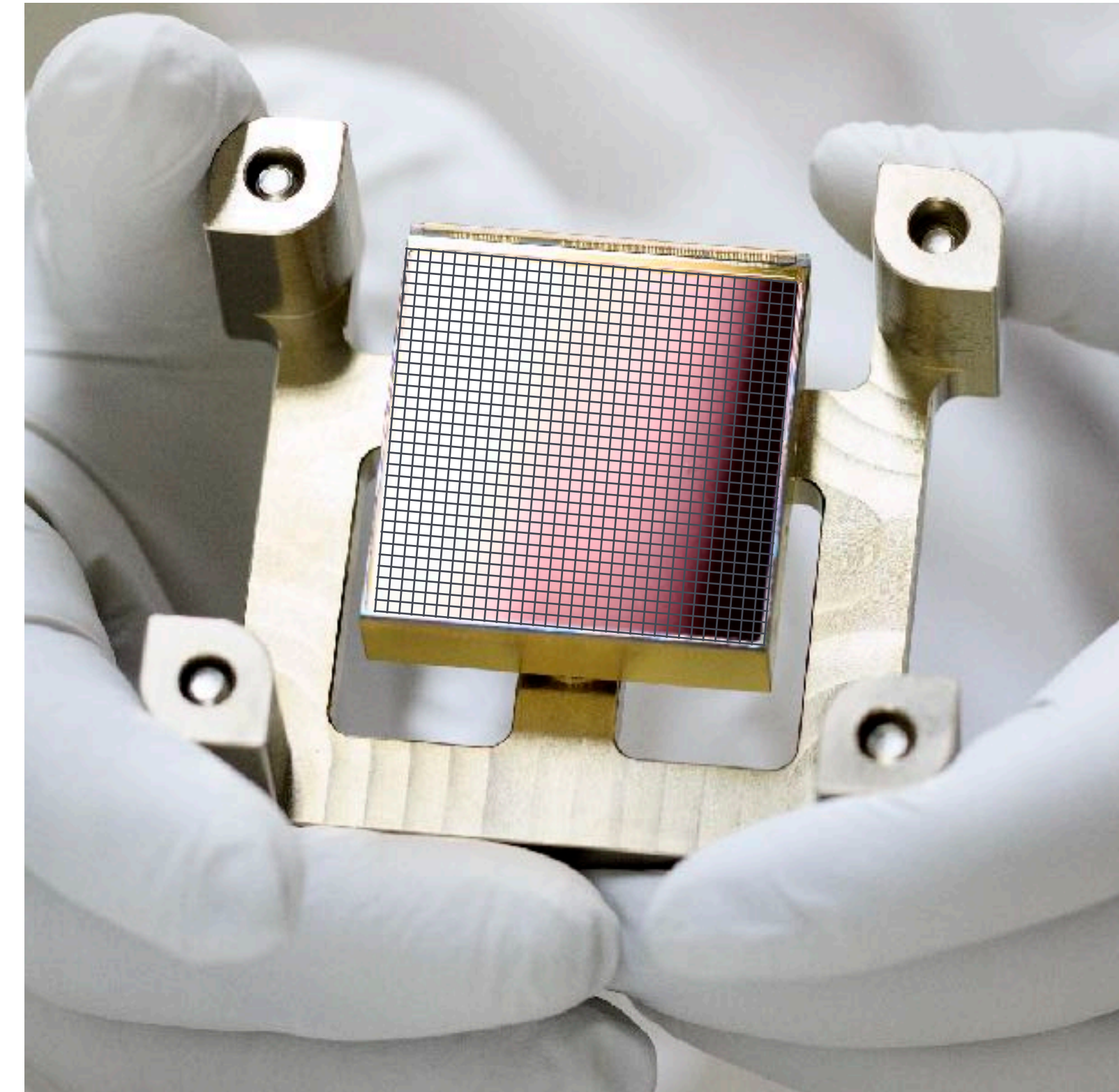
81x81 mm²

Pixels ~ 10 microns



Qu'est ce qu'un détecteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ?

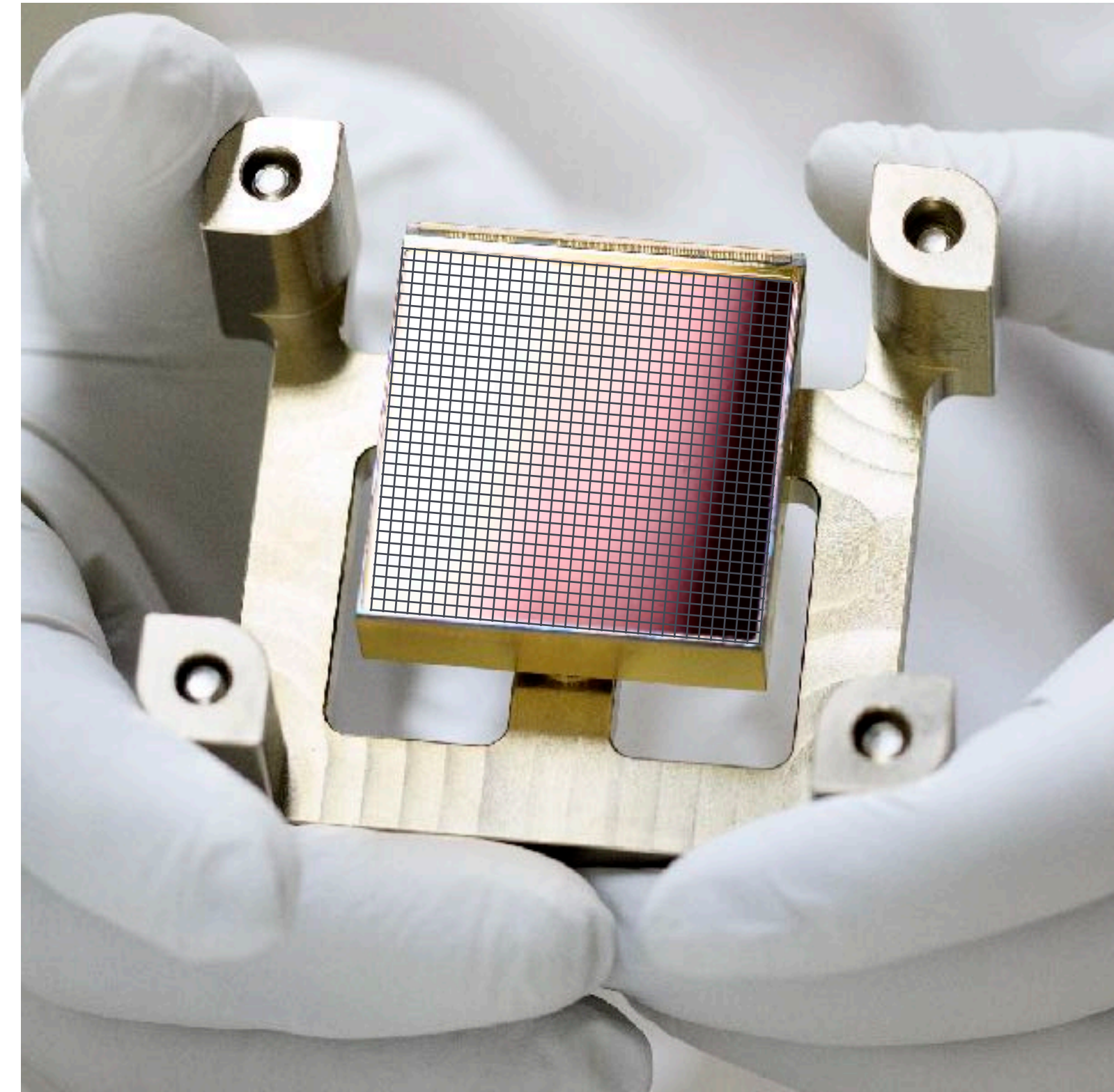
- ▶ Convertit la lumière en signal numérique
- ▶ Utilise des matériaux semi-conducteurs
- ▶ Divisé en un grand nombre de pixels
- ▶ **Chaque pixel est lu indépendamment**



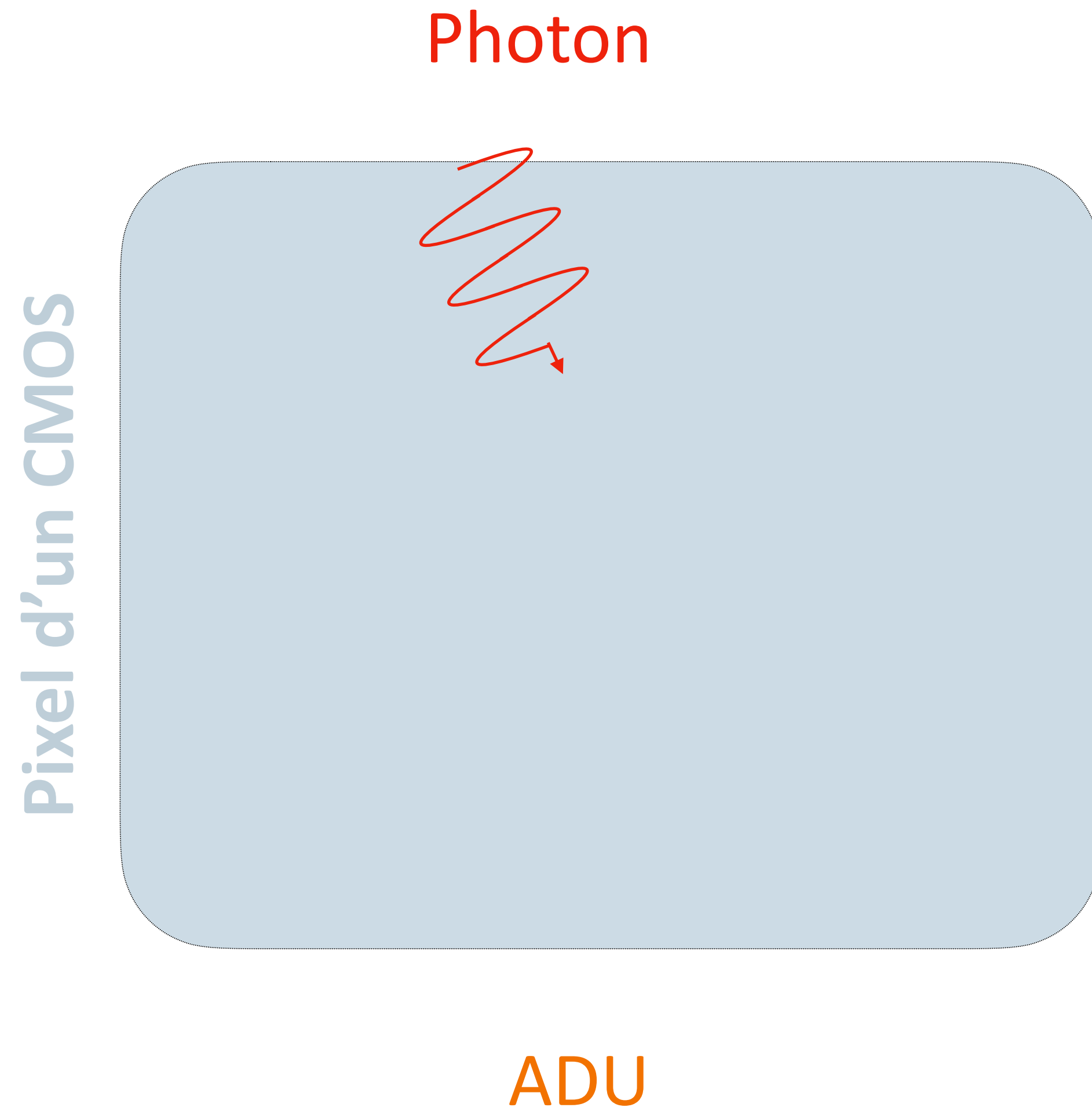
Qu'est ce qu'un détecteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ?

- ▶ Convertit la lumière en signal numérique
- ▶ Utilise des matériaux semi-conducteurs
- ▶ Divisé en un grand nombre de pixels
- ▶ Chaque pixel est lu indépendamment

Chaque pixel est un « détecteur » individuel

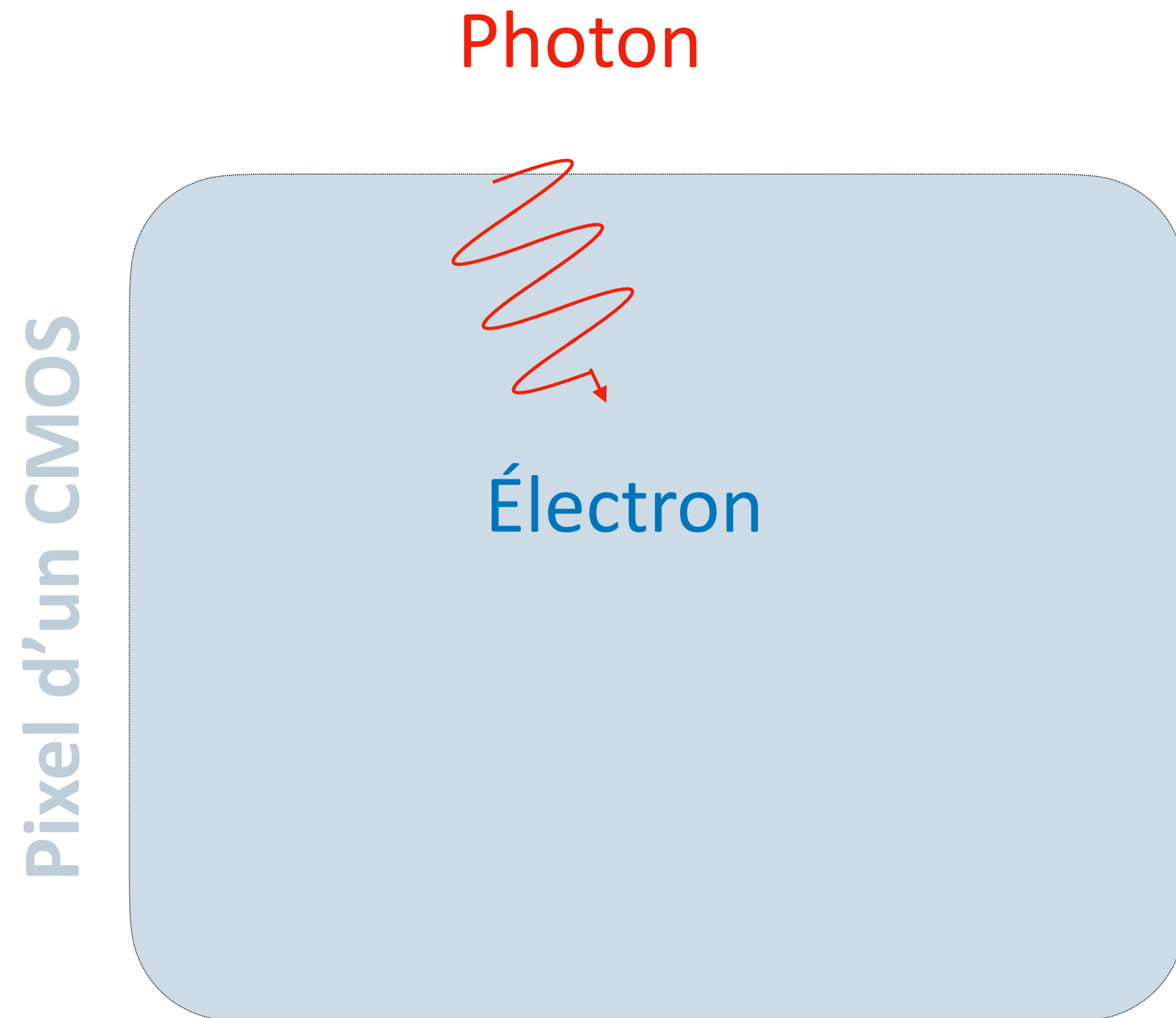


Comment ça marche ?



Convertit la lumière (photons) en signal numérique (ADU : nombre digital)

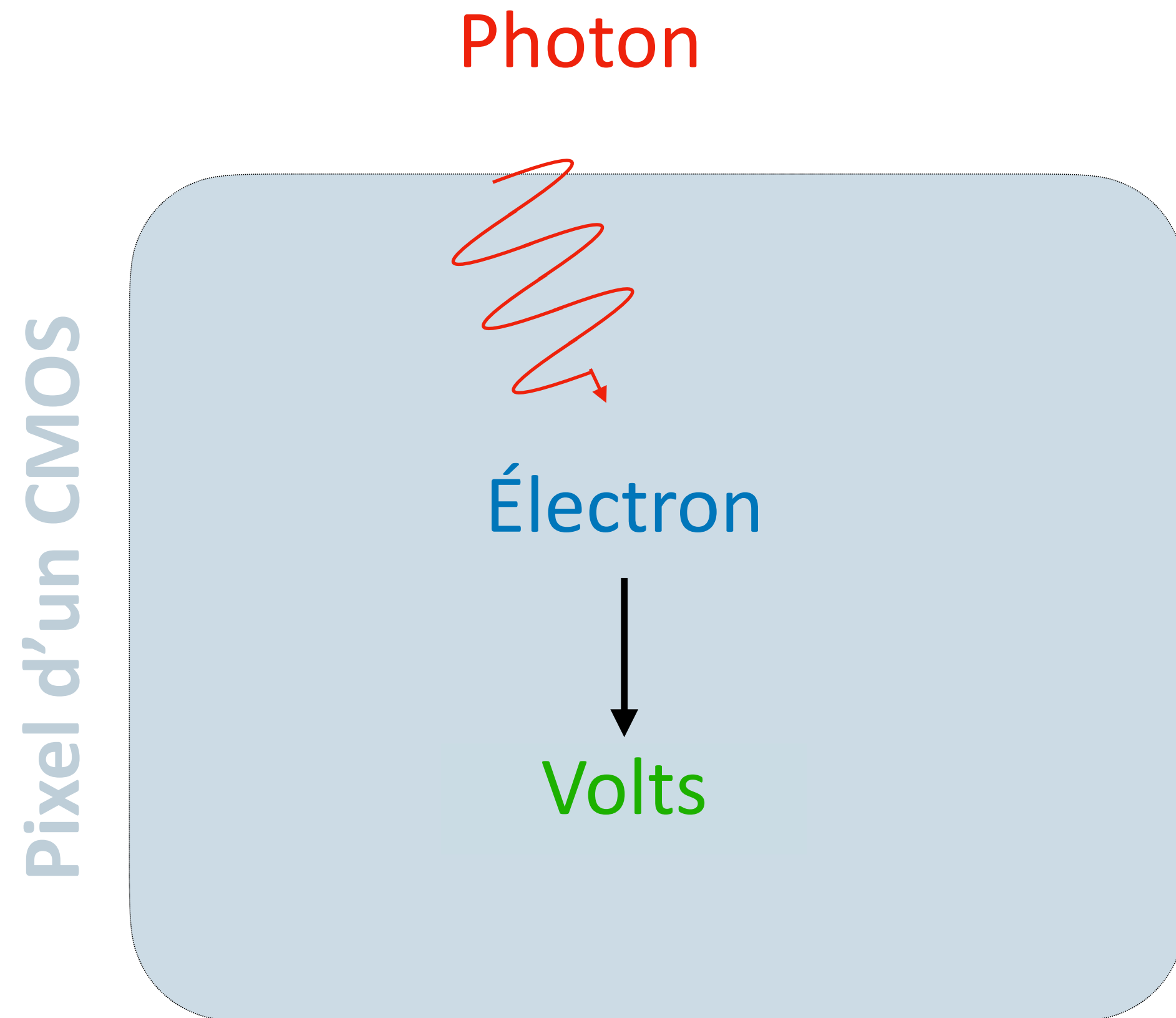
Comment ça marche ?



Convertit la lumière (photons) en signal numérique (ADU : nombre digital)

- ▶ Effet photoélectrique photon -> électron

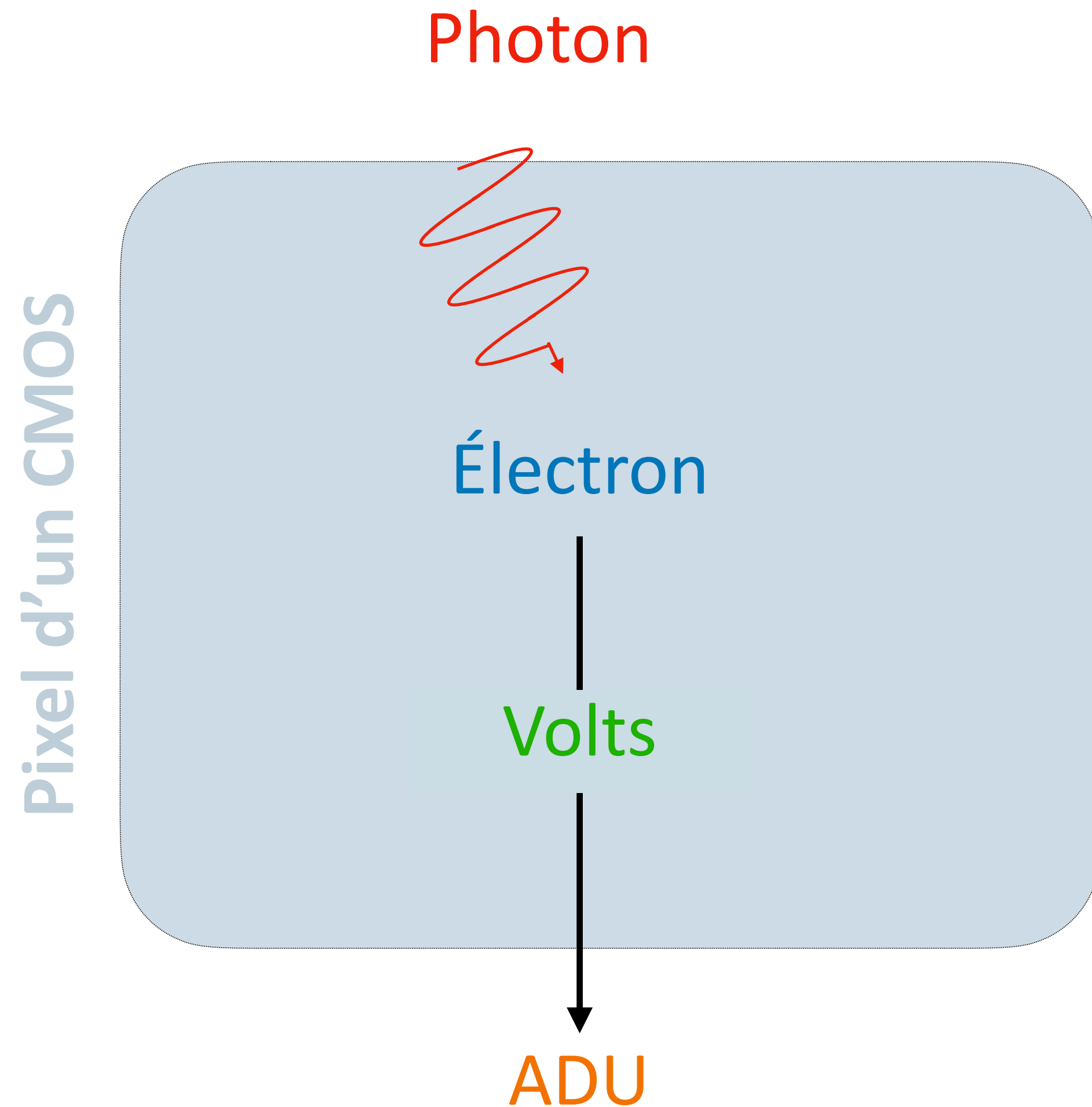
Comment ça marche ?



Convertit la lumière (photons) en signal numérique (ADU : nombre digital)

- ▶ Effet photoélectrique photon \rightarrow électron
- ▶ Grâce à un champ électrique et une jonction PN : électron \rightarrow volts

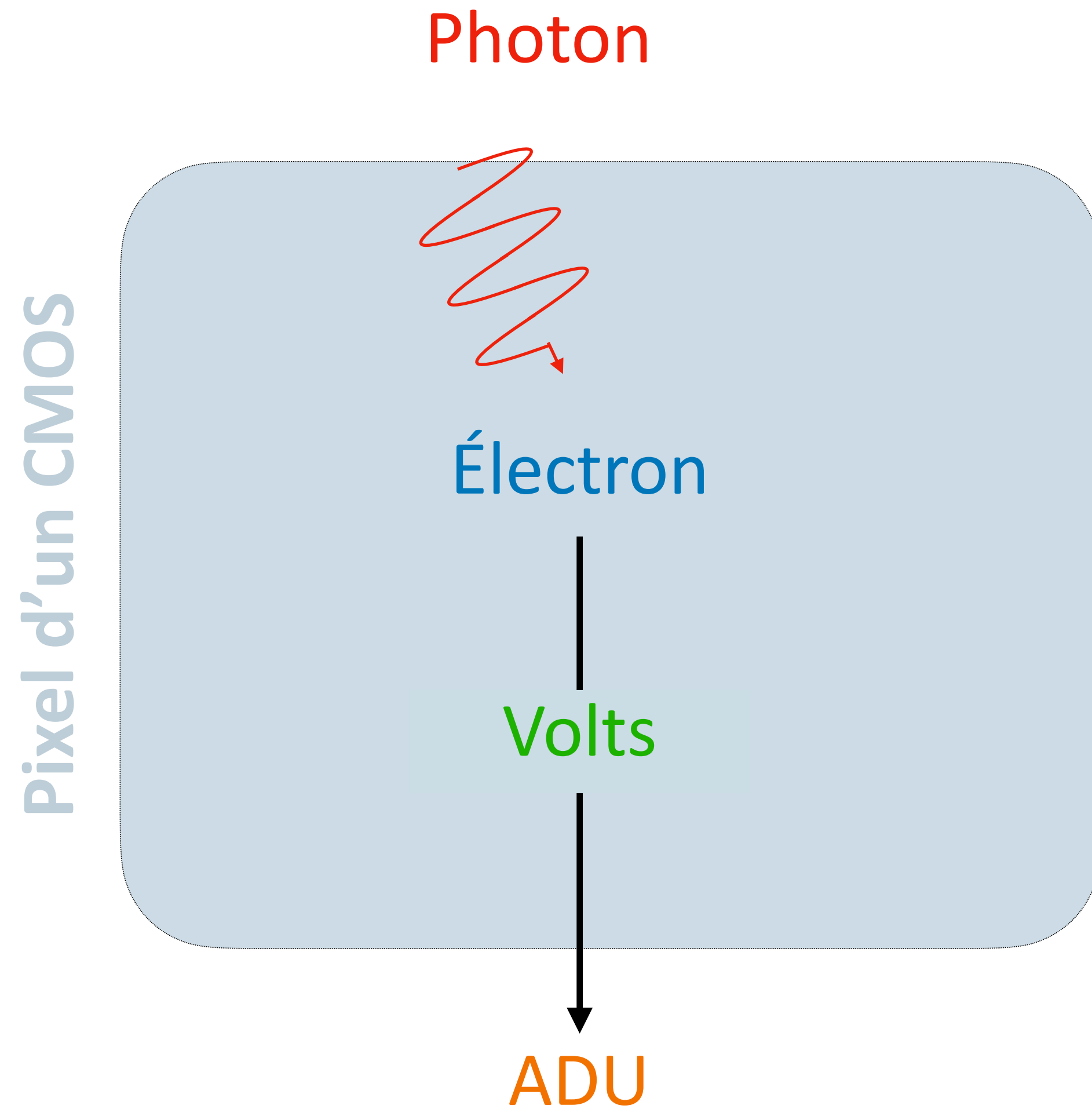
Comment ça marche ?



Convertit la lumière (photons) en signal numérique (ADU : nombre digital)

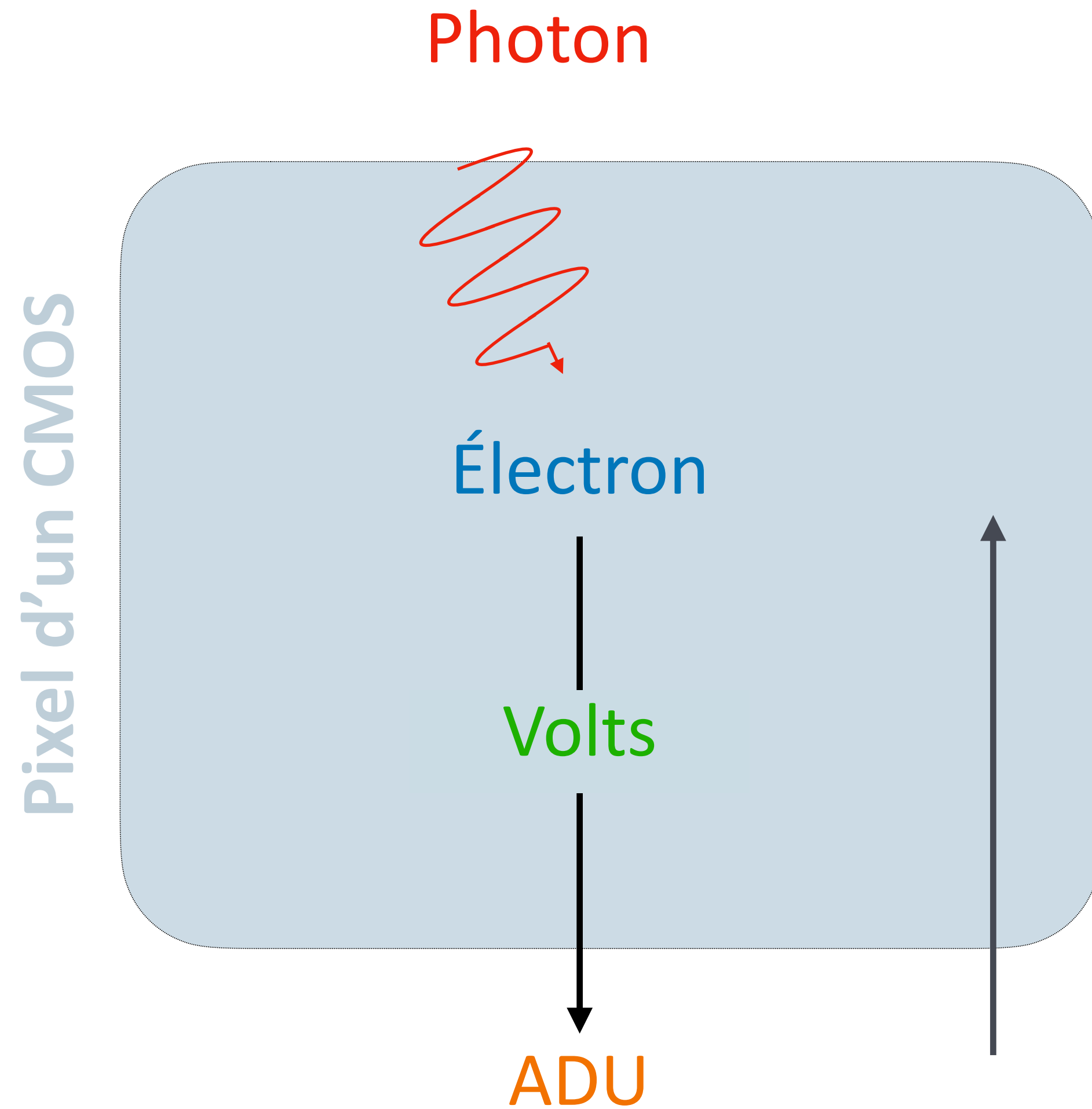
- ▶ Effet photoélectrique photon \rightarrow électron
- ▶ Grâce à un champ électrique et une jonction PN : électron \rightarrow volts
- ▶ Électronique de lecture et convertisseur analogique-numérique : volts \rightarrow ADU

Comment ça marche ?



Pour remonter au flux lumineux, on utilise une **modélisation de la réponse du pixel**

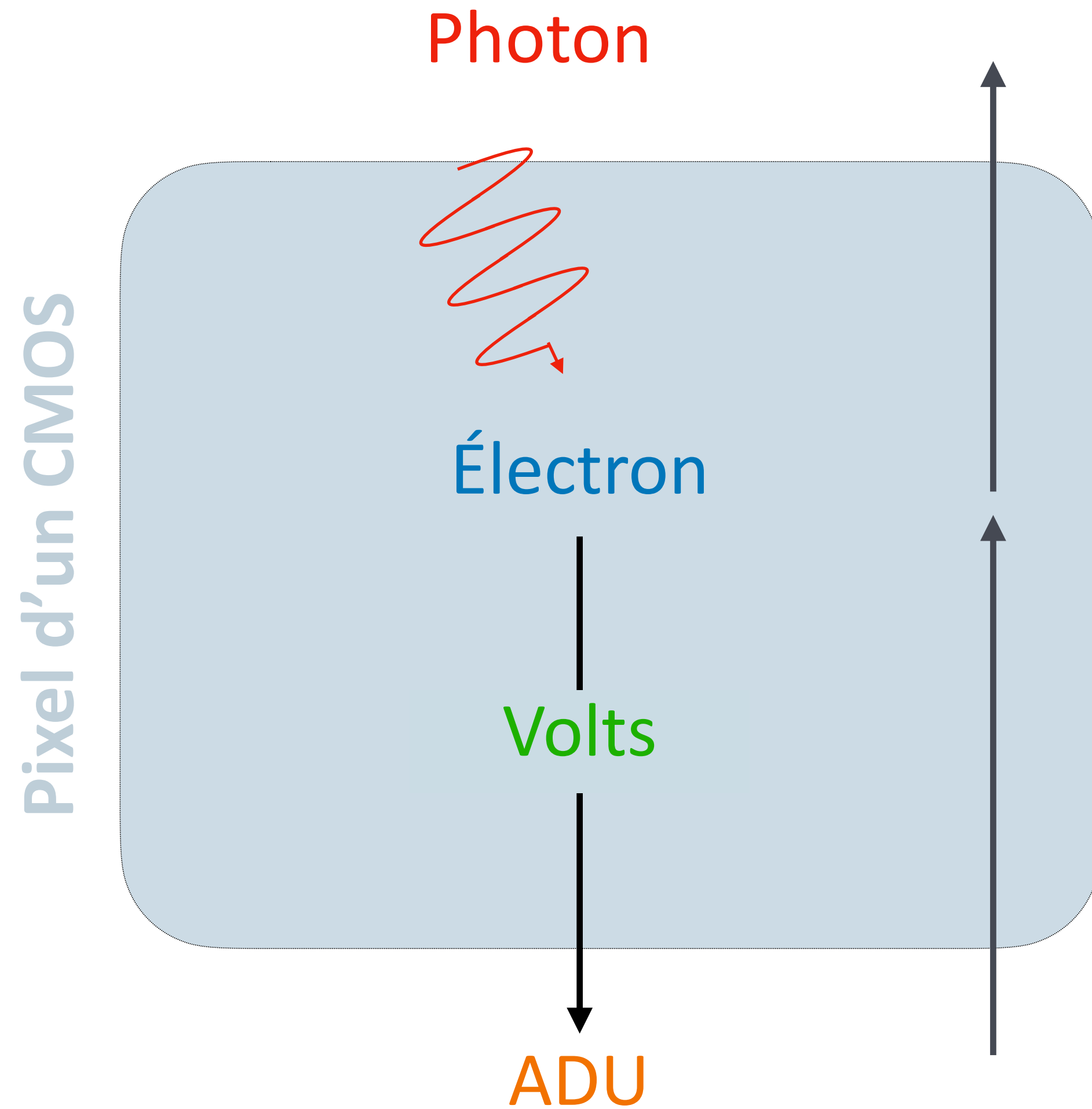
Comment ça marche ?



Pour remonter au flux lumineux, on utilise une **modélisation de la réponse du pixel**

c_g :
Gain de conversion
 $e^- \cdot \text{ADU}^{-1}$

Comment ça marche ?

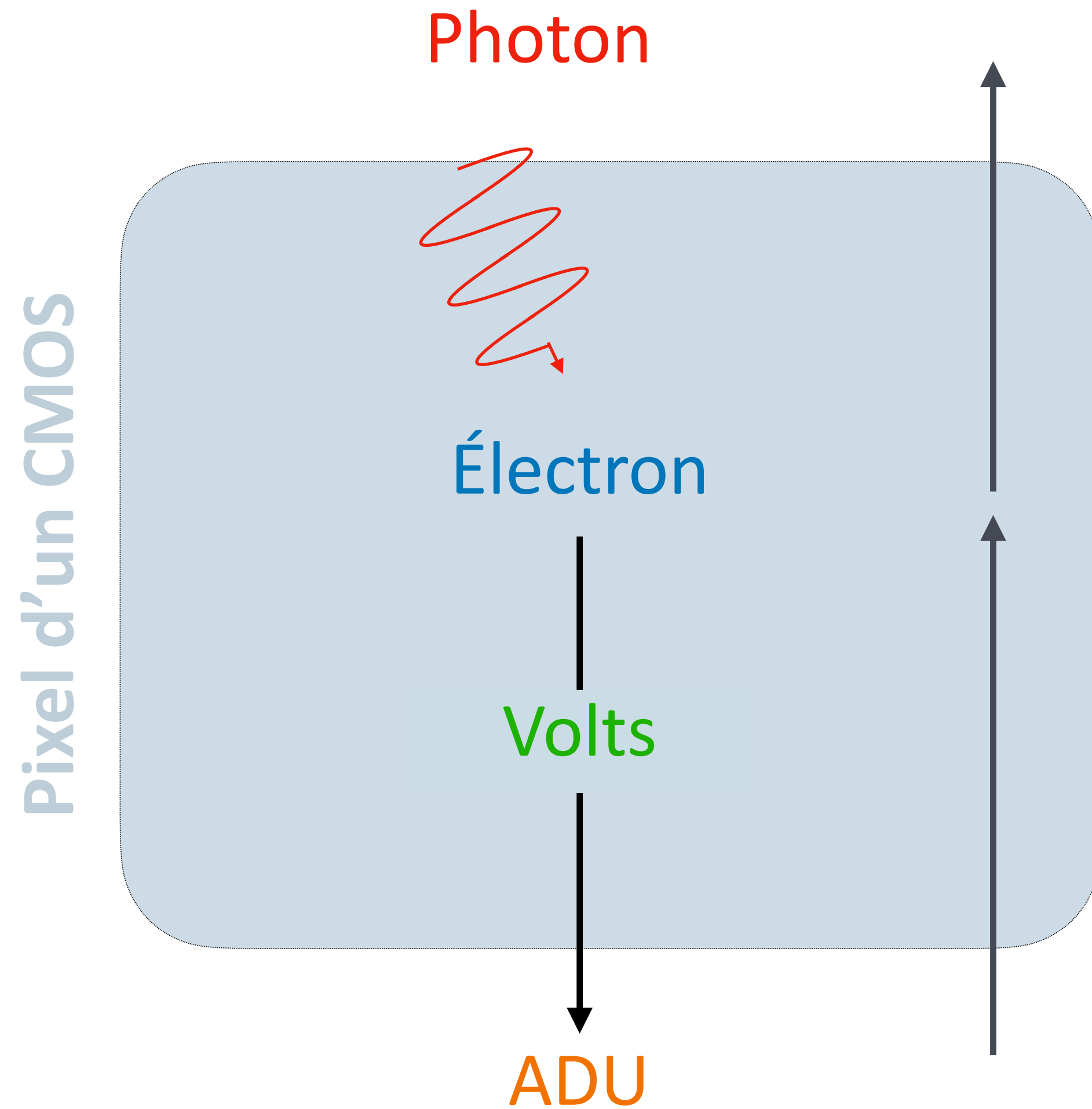


Pour remonter au flux lumineux, on utilise une **modélisation de la réponse du pixel**

QE :
Efficacité quantique (%)

c_g :
Gain de conversion
 $e^- \cdot \text{ADU}^{-1}$

Comment ça marche ?



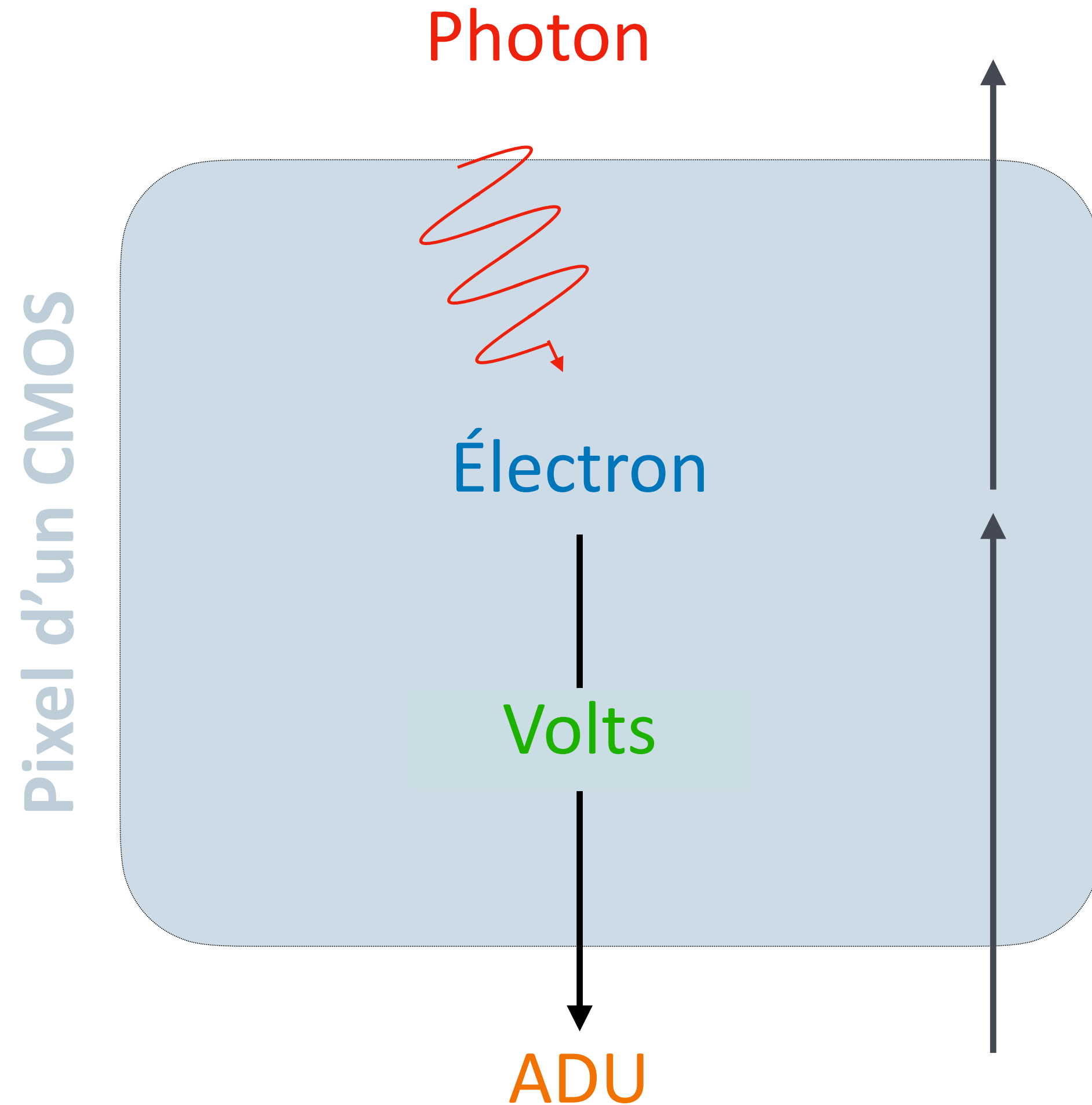
Pour remonter au flux lumineux, on utilise une **modélisation de la réponse du pixel**

QE :
Efficacité quantique (%)

c_g :
Gain de conversion
 $e^- \cdot \text{ADU}^{-1}$

$$N_{\text{photons}} = \frac{N_{\text{ADU}} \times c_g}{QE}$$

Comment ça marche ?



Pour remonter au flux lumineux, on utilise une **modélisation de la réponse du pixel**

QE :
Efficacité quantique (%)

c_g :
Gain de conversion
 $e^- \cdot \text{ADU}^{-1}$

$$N_{\text{photons}} = \frac{N_{\text{ADU}} \times c_g}{QE}$$

Erreur sur c_g ou QE

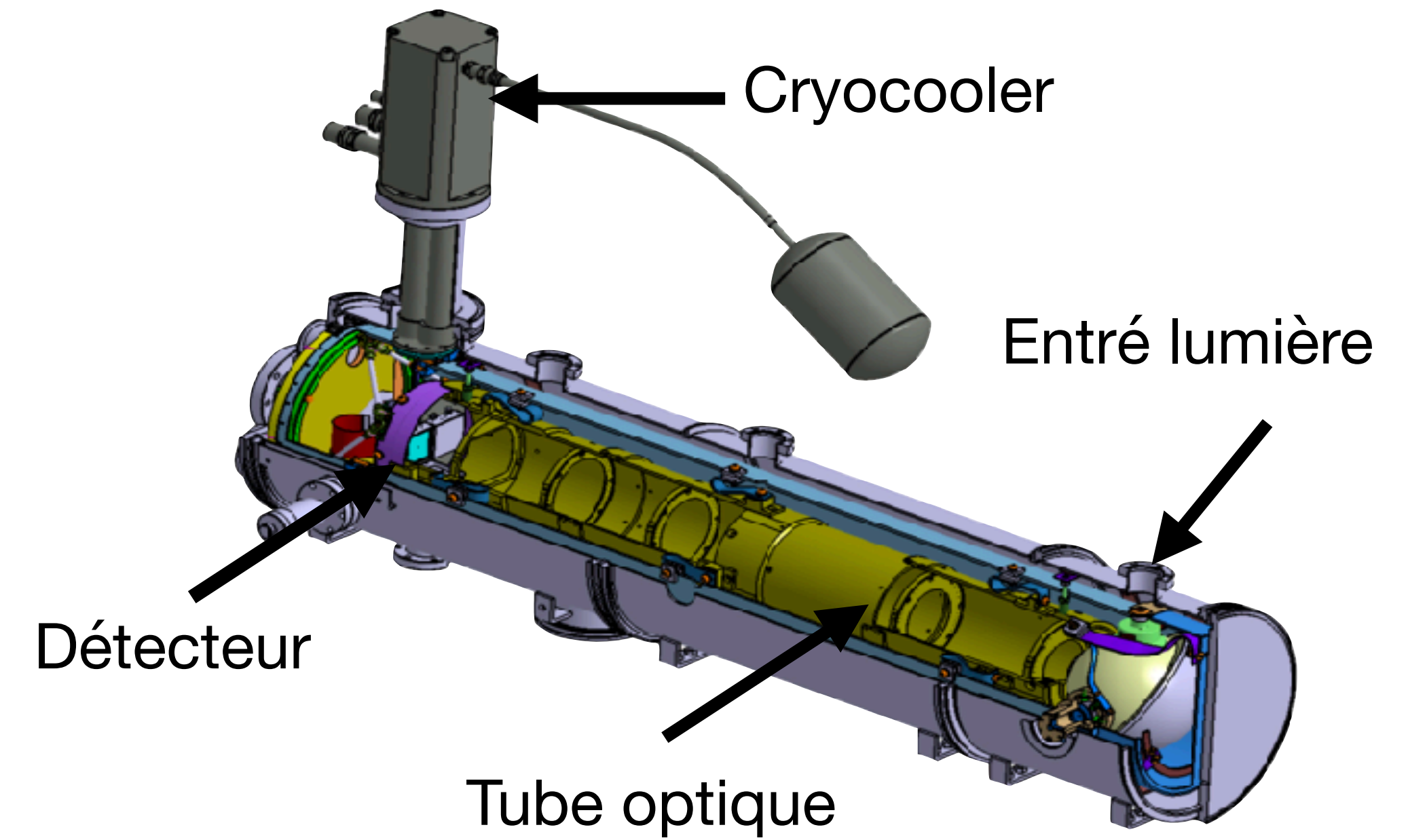
\propto

Erreur sur le flux

La caractérisation des CMOS d'Euclid au CPPM



@CNRS-CPPM/Moirenc



Performance du banc

- ▶ Température détecteur : jusque 80K
- ▶ Pression : $5 \cdot 10^{-6}$ mbar
- ▶ Obscurité : < 4 photons/heure/pixel

Correction des biais systématiques sur l'estimation du gain

Gain de conversion ($e^- \cdot \text{ADU}^{-1}$) \longrightarrow

- Estimation du flux
- Expression des performances en électrons

Nouvelle méthode de mesure du gain :

- Prend en compte les corrélations spatiales
- Prend en compte la nonlinéarité du pixel
- Permet la mesure du gain par pixel

	Méthode classique	Nouvelle méthode
Gain moyen	2.09 $e^- \text{ADU}^{-1}$	1.90 $e^- \text{ADU}^{-1}$

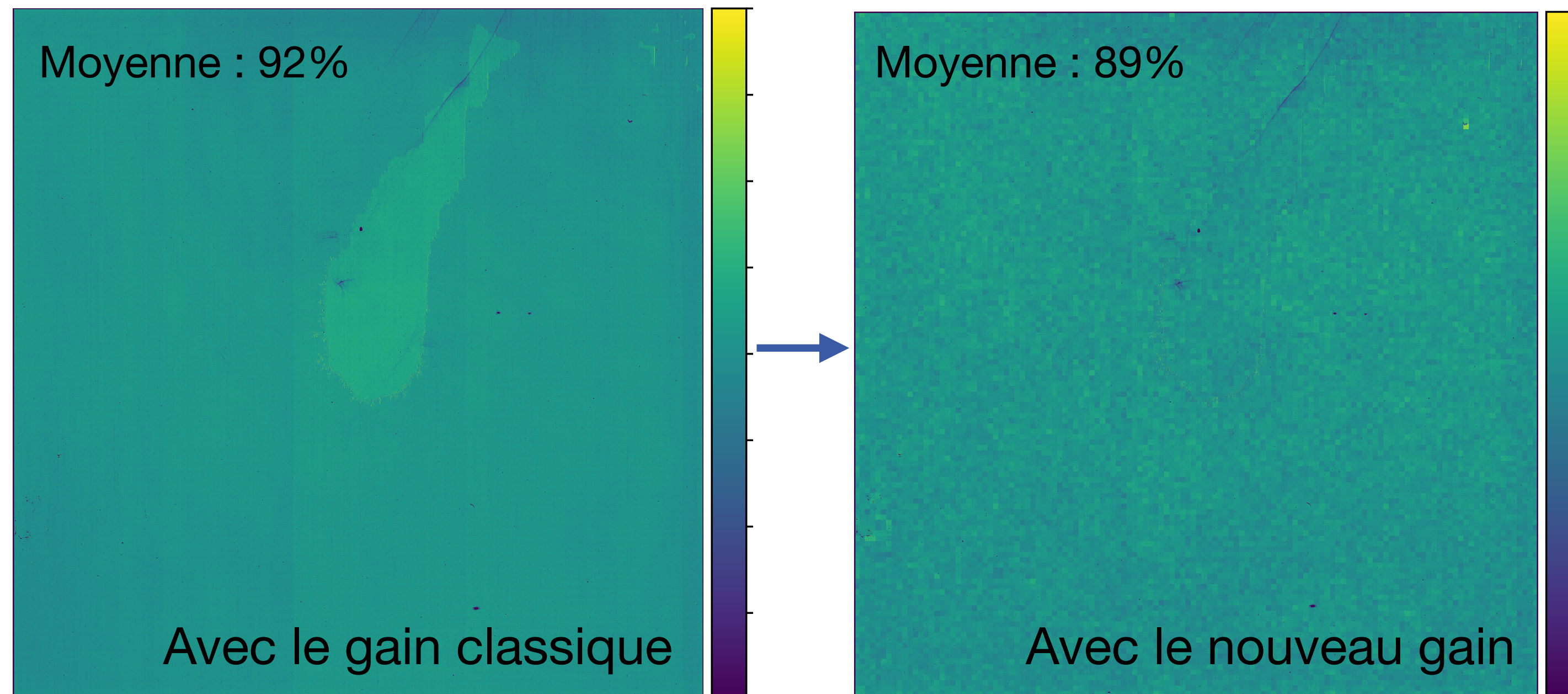
Correction d'un biais de 9.5%

Euclid*: Methodology for derivation of IPC-corrected conversion gain of nonlinear CMOS APS

<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202556173>

Correction du biais systématique sur la QE

Détecteur CMOS d'Euclid



- Variations spatiales de la QE corrigés
Aucun biais spatial propagé aux observables
- Erreur systématique de 3% corrigées
Estimation du flux des galaxies plus fiable

Toward a universal characterization methodology for conversion gain measurement of CMOS APS: application to Euclid and SVOM <https://doi.org/10.1117/12.3020095>

Merci de votre attention
Jean Le Graët - Mardi 31 Mars

