

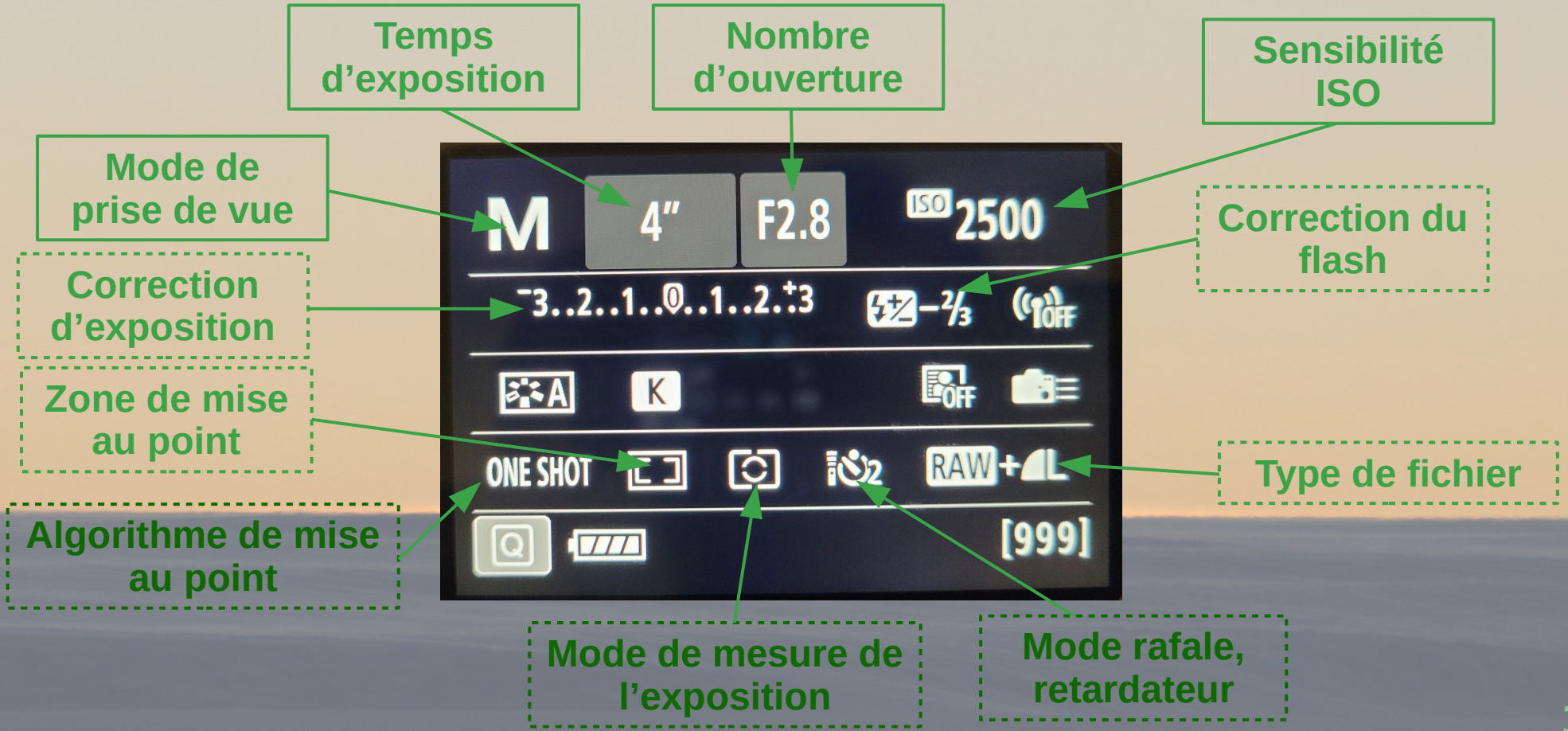
**Jeudi de la connaissance**

# **LA PHOTOGRAPHIE**

# Introduction



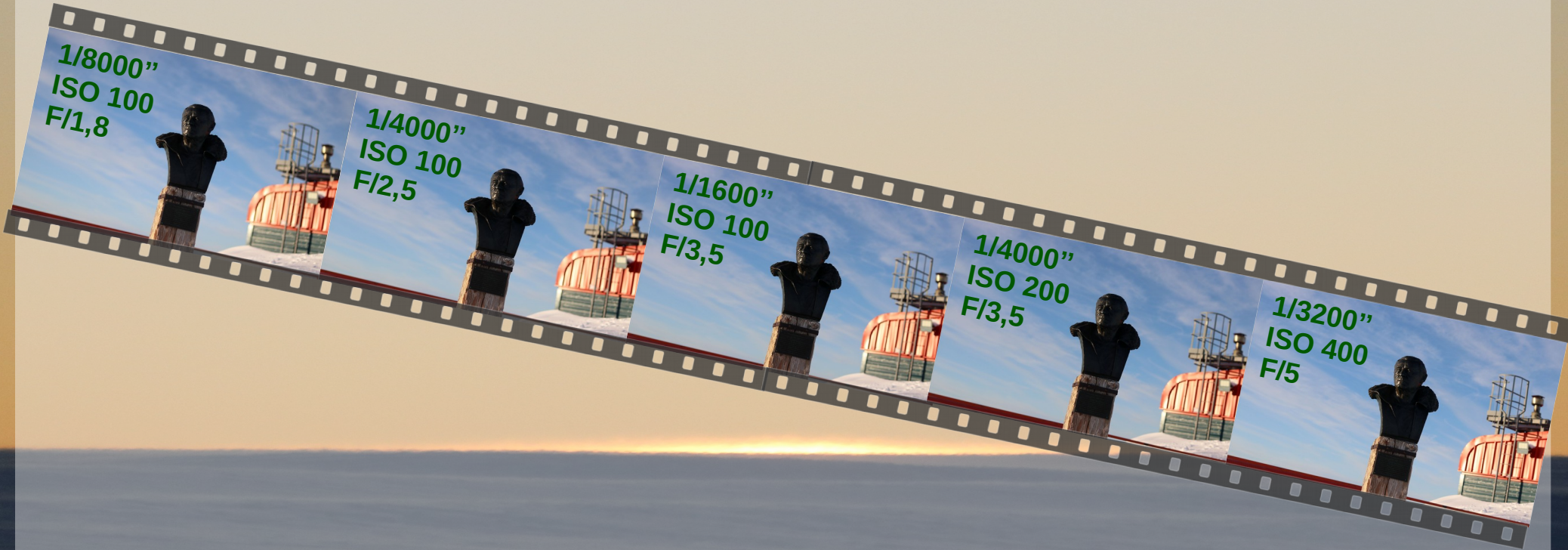
# Introduction



# Introduction



# Introduction



# Intentions

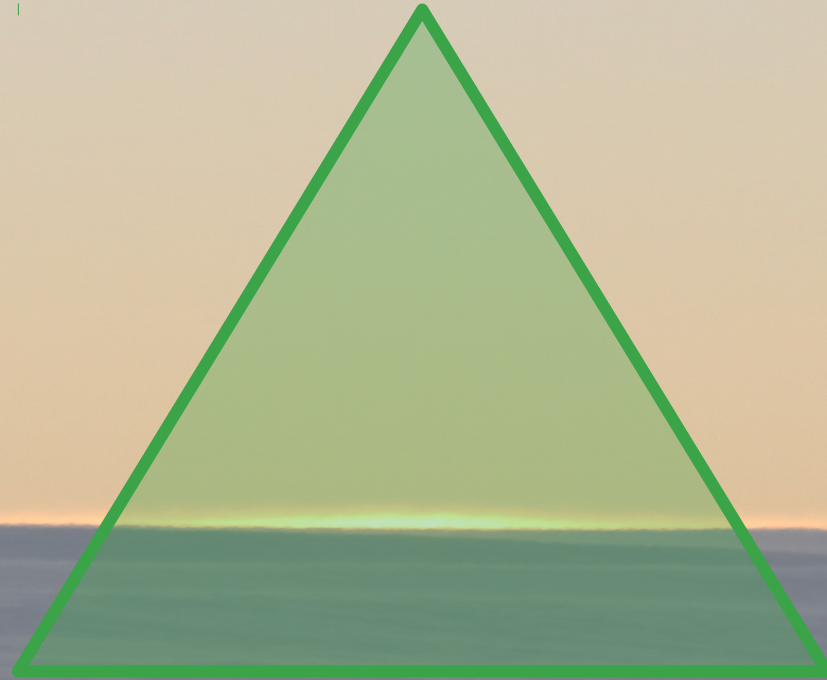
- **(re)découvrir les principales notions de l'Optique (Youpiii !)**
- **Comprendre l'impact des principaux paramètres de réglage**
- **Pouvoir parler comme les pros !**
- **Répondre à vos questions**
- **Avoir une base sur laquelle vous pourrez revenir !**



**Qu'est-ce qu'une photo ?**

# Qu'est-ce qu'une photo ?

**Lumière**



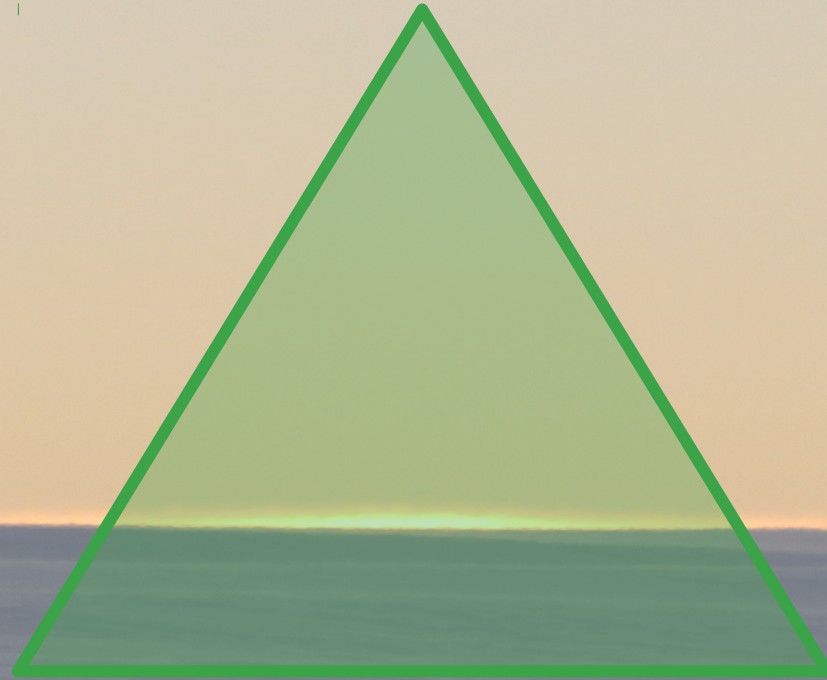
**Imageur**

**Capteur**



# Qu'est-ce qu'une photo ?

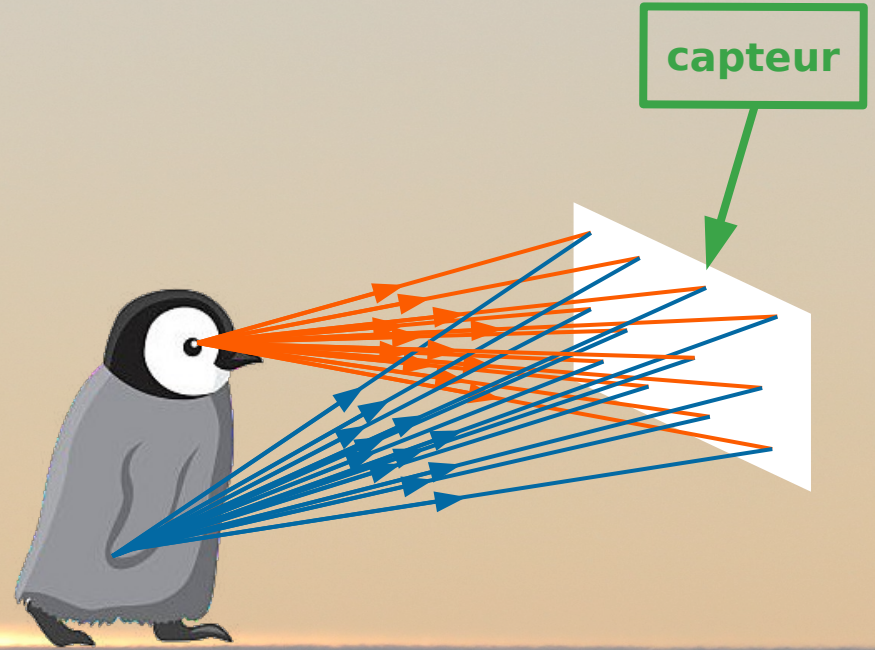
**Lumière**



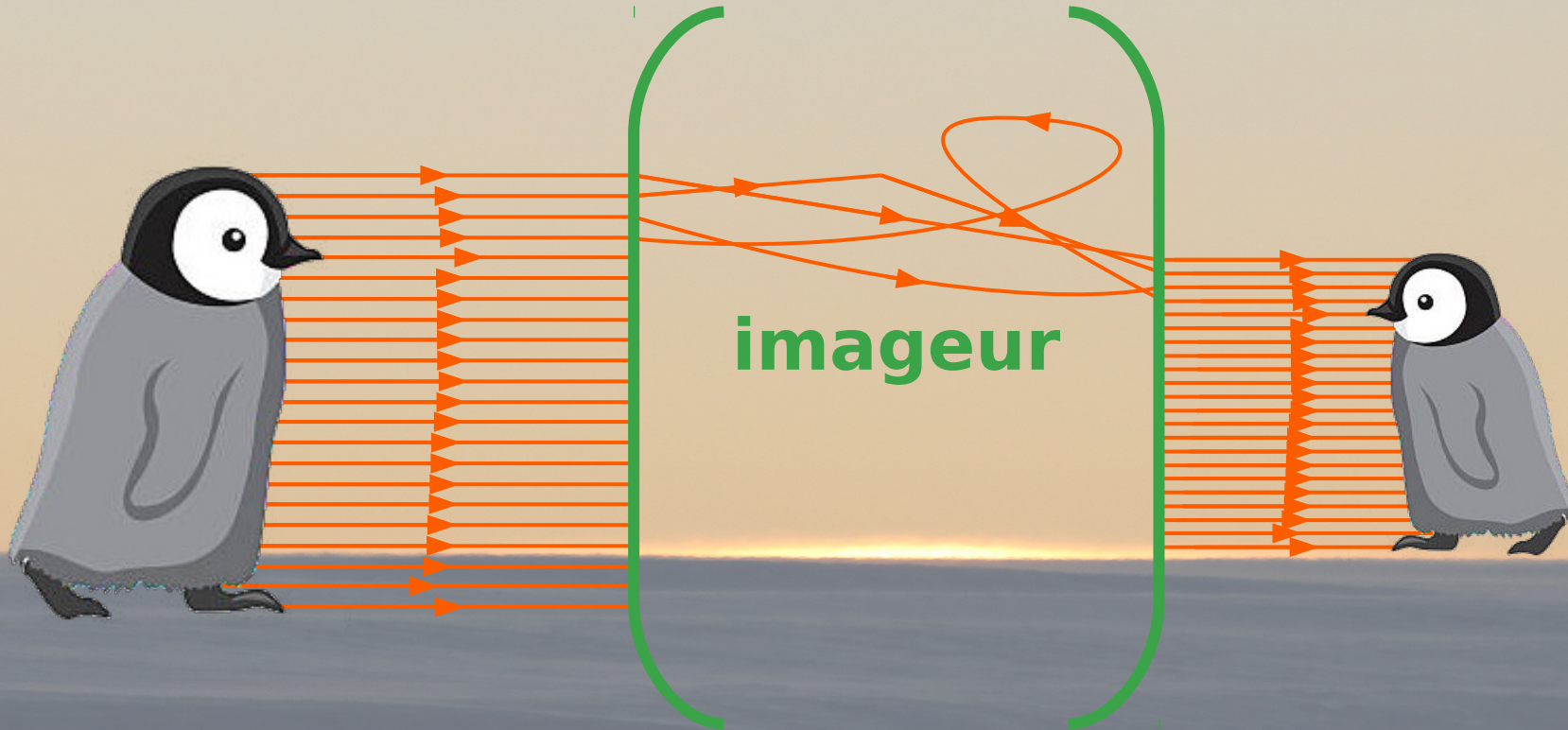
**Imageur**

**Capteur**

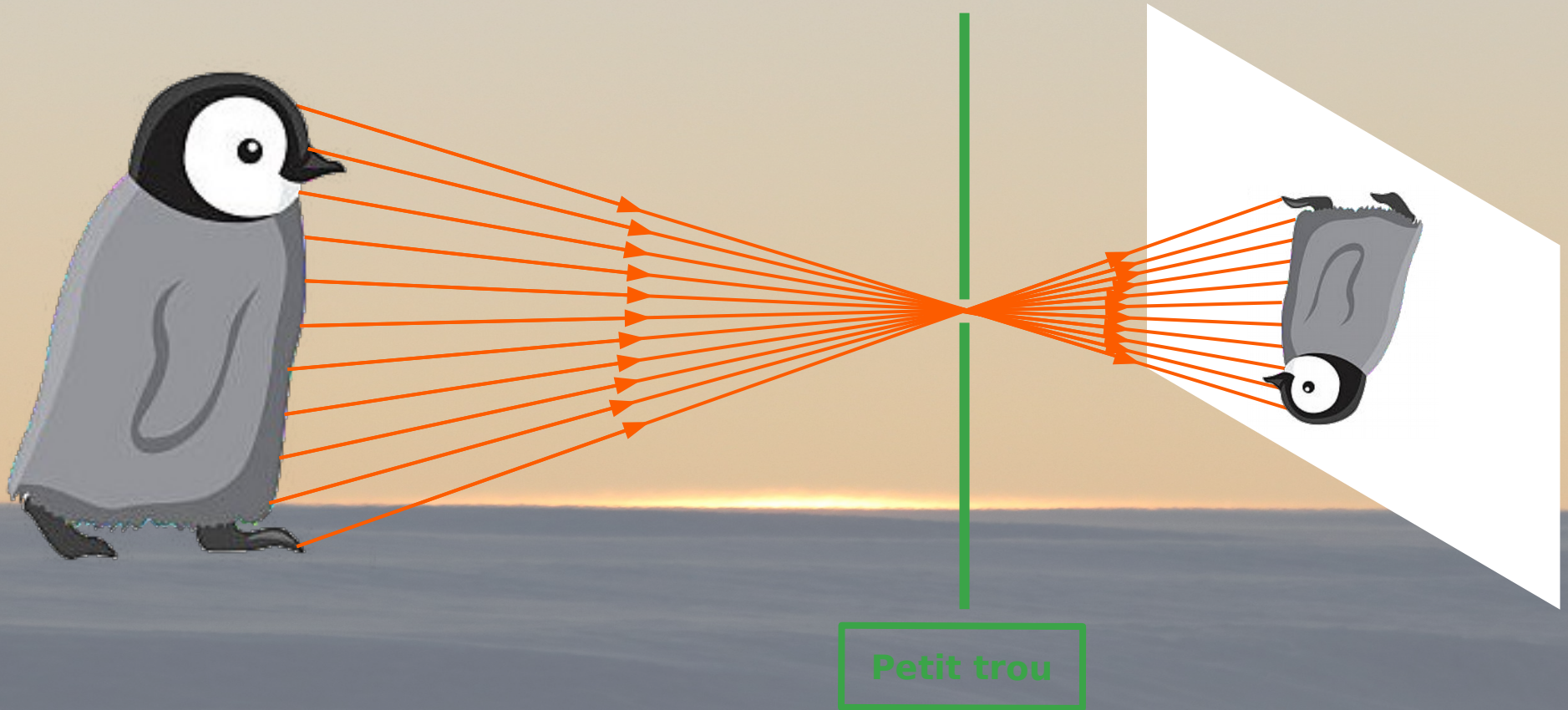
# Un imageur ? Pour quoi faire ?



# C'est quoi le principe de l'imageur ?



Alors, comment qu'on fait ?



## Et hop, un sténopé



# Deux problèmes !

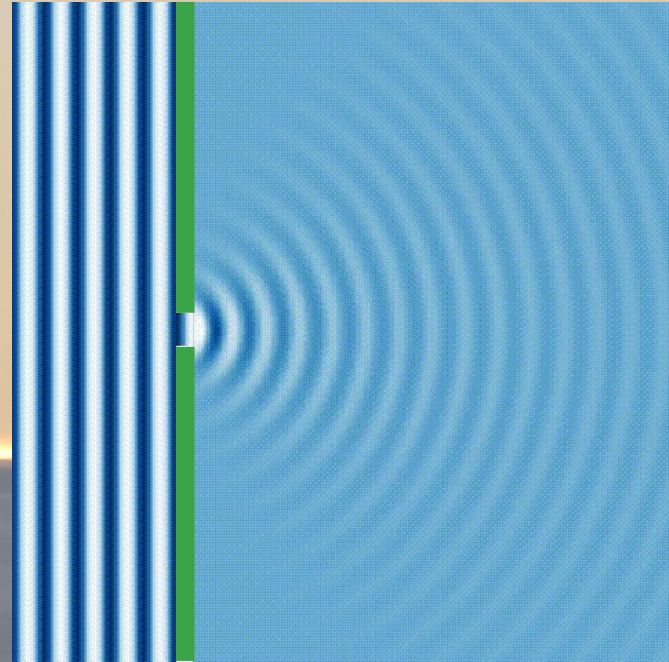
- **La diffraction**
- **Pas assez de lumière**

# Deux problèmes !

- **La diffraction**
- **Pas assez de lumière**

# C'est quoi la diffraction ? (fraction ;) )

- La diffraction des vagues





## Pourquoi la diffraction ?

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{autrement dit ...} \quad \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

... hum, pas facile à résoudre ici ...

... heureusement, M. Fresnel a une bonne idée pour nous sauver ...

$$E(M) = \frac{-i}{\lambda} \iint_{\Sigma} \frac{E(P)}{PM} e^{i \frac{2\pi PM}{\lambda}} d\Sigma$$

# La diffraction

- La lumière aussi est une onde ...

$\lambda$

$$\theta \approx \frac{\lambda}{a}$$

$a$

$\theta$

# La diffraction

- La lumière aussi est une onde ...

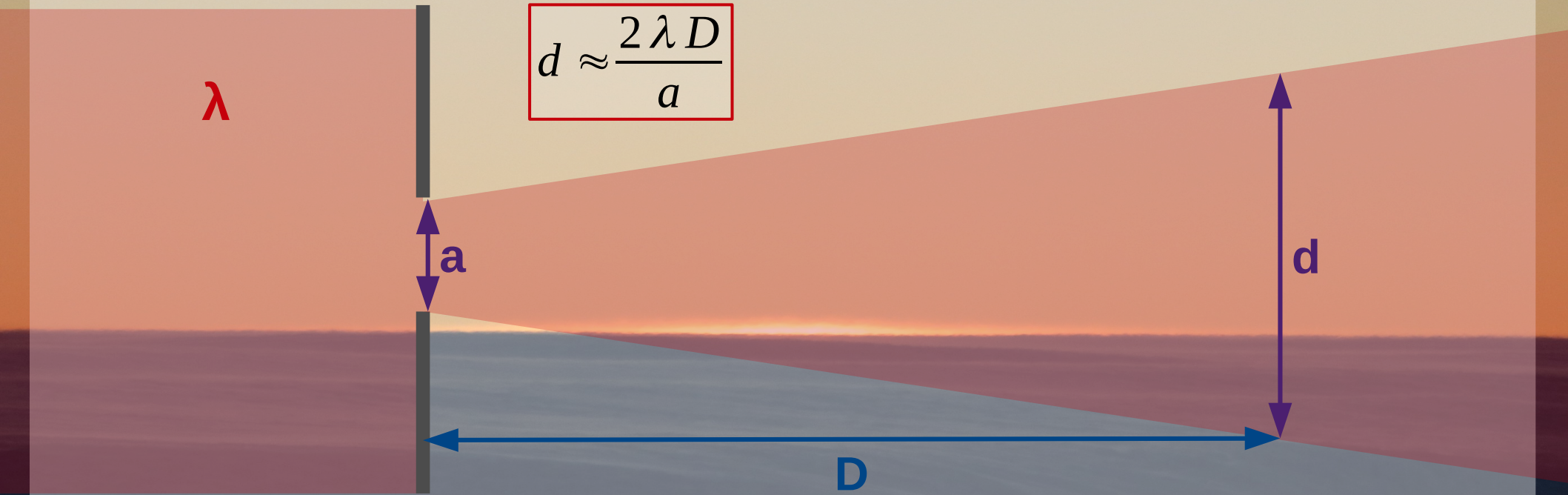
$\lambda$

$$d \approx \frac{2\lambda D}{a}$$

$a$

$d$

$D$

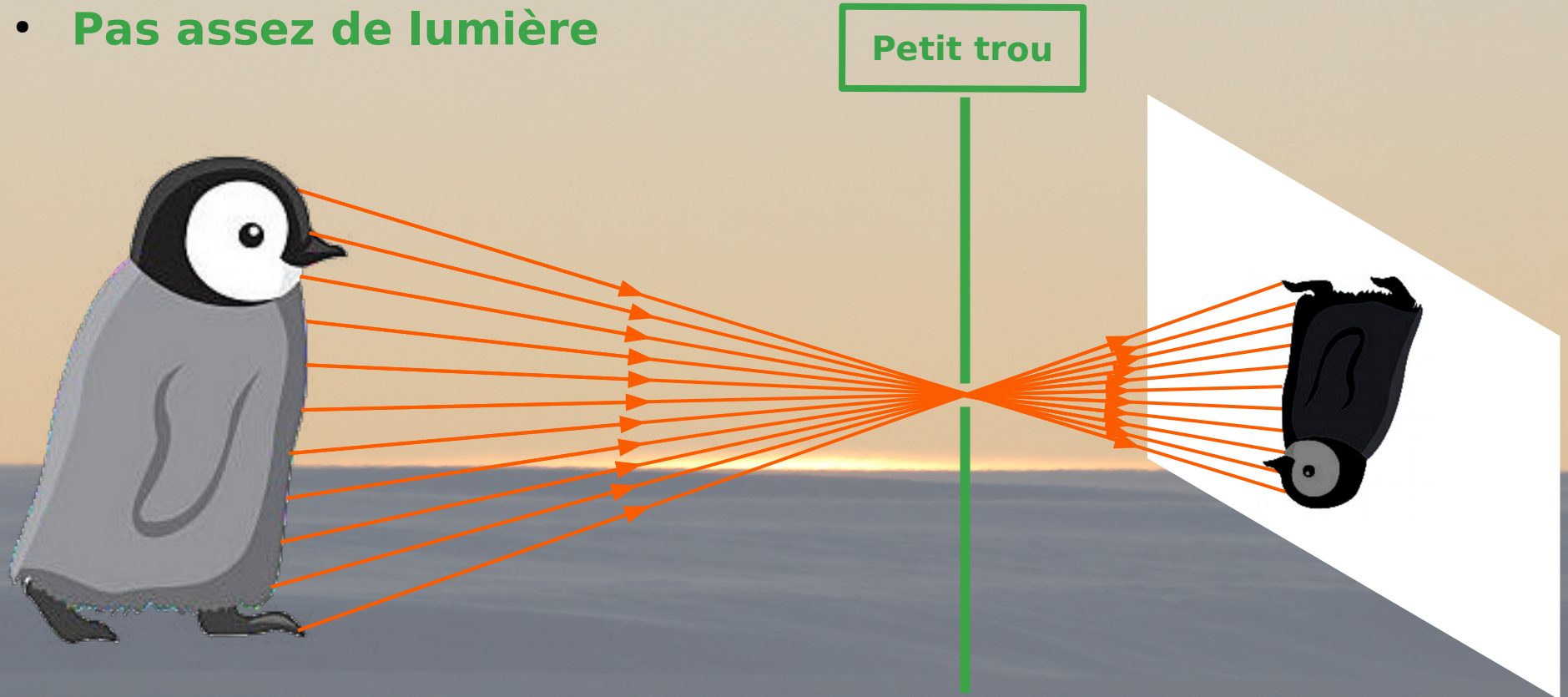


# Deux problèmes !

- **La diffraction**
- **Pas assez de lumière**

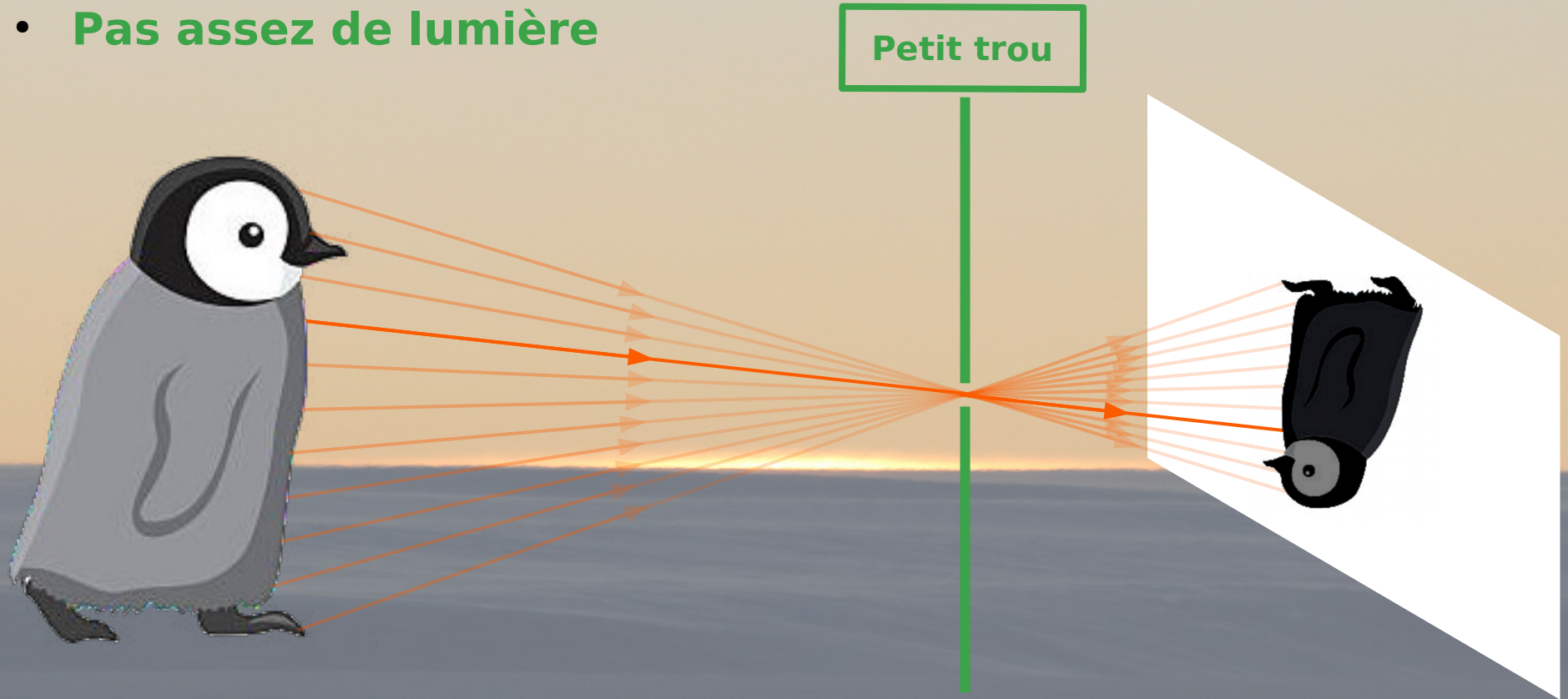
## Deuxième problème !

- Pas assez de lumière



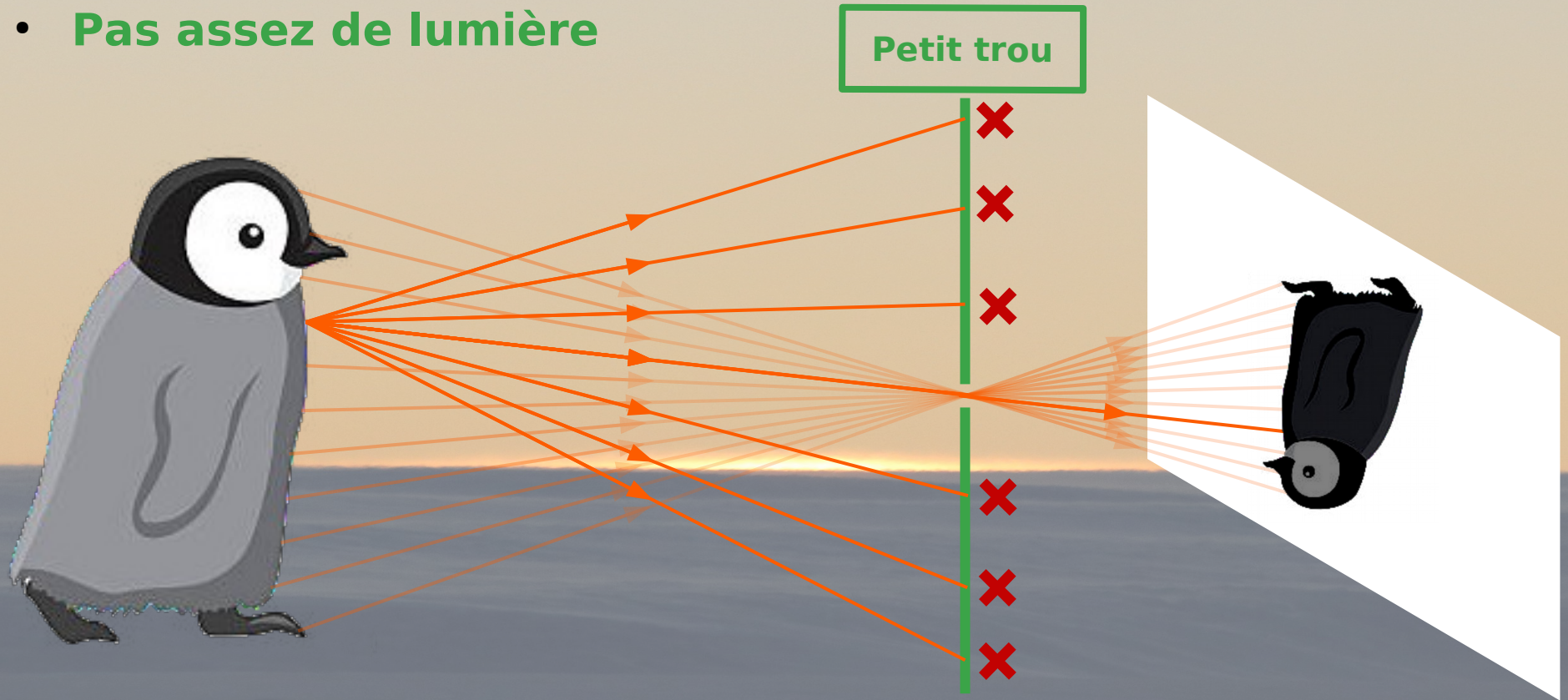
# Deux problèmes !

- Pas assez de lumière



# Deux problèmes !

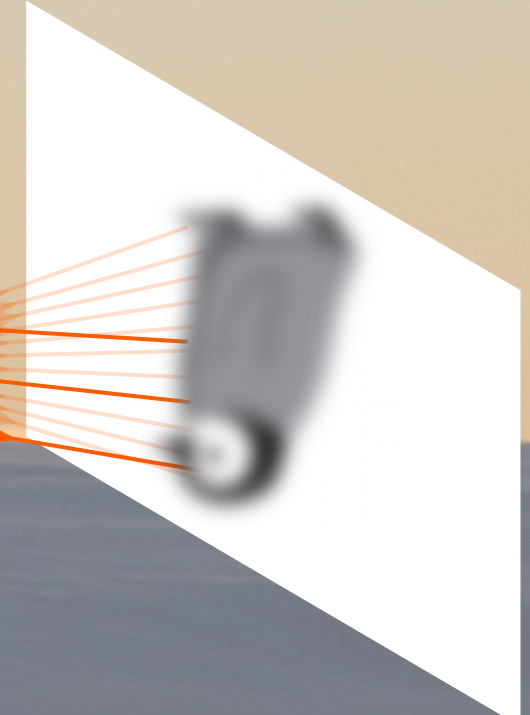
- Pas assez de lumière



# Deux problèmes !

- Des idées ?

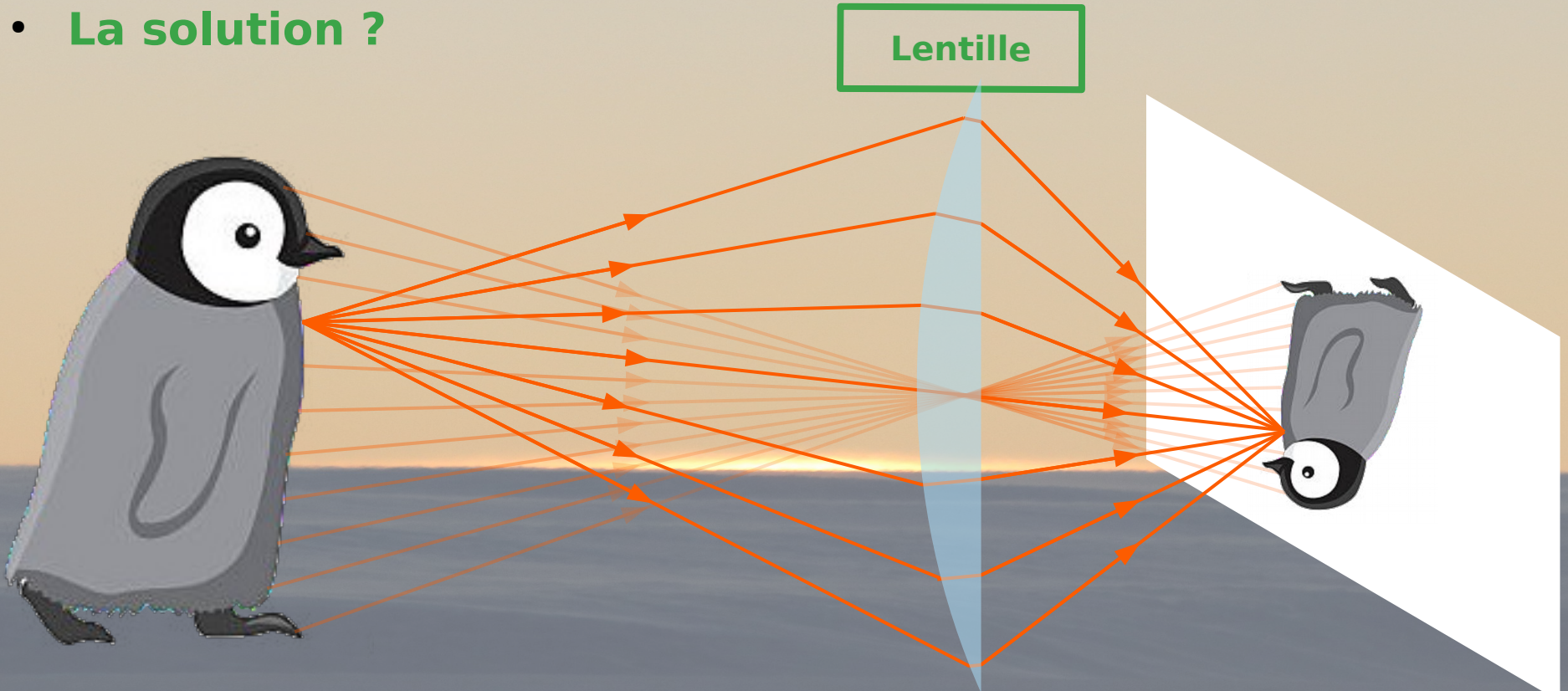
Plus grand trou



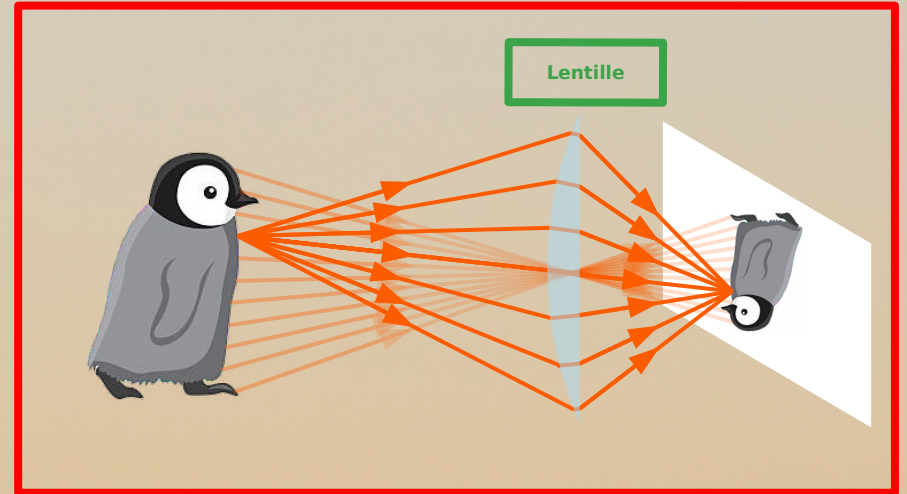
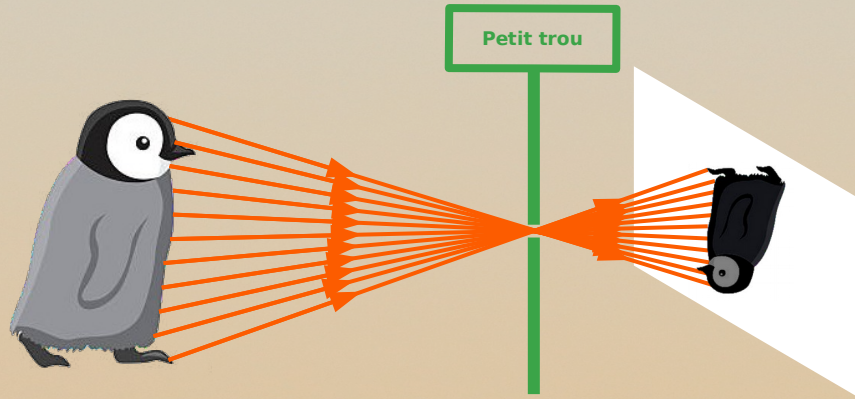


# Deux problèmes !

- La solution ?

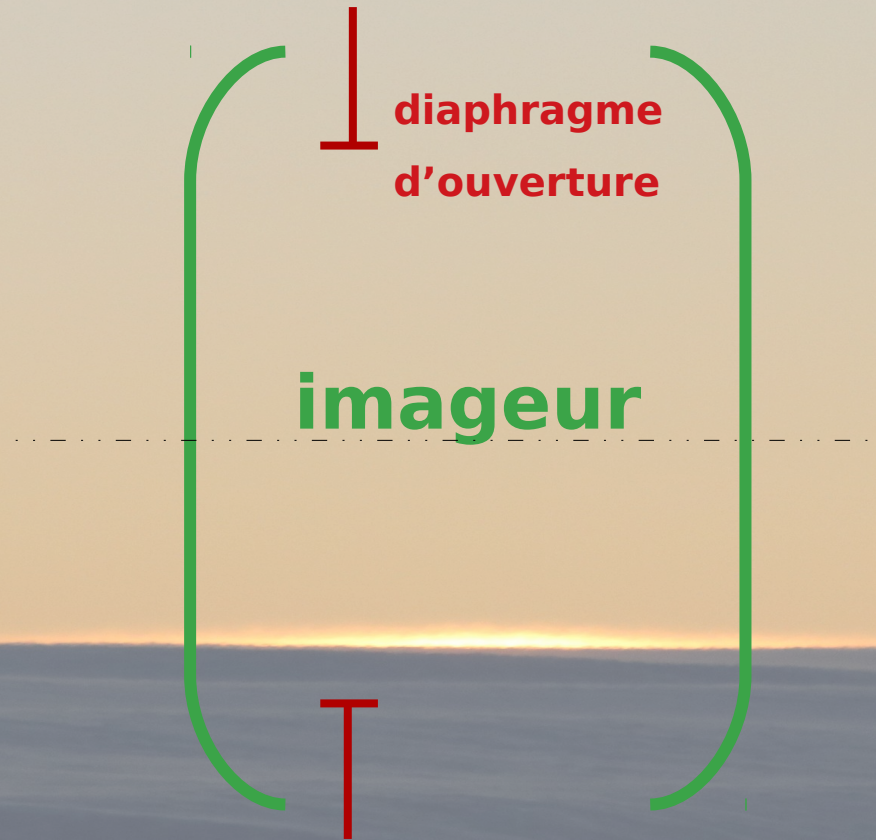


# Première notion : l'ouverture !

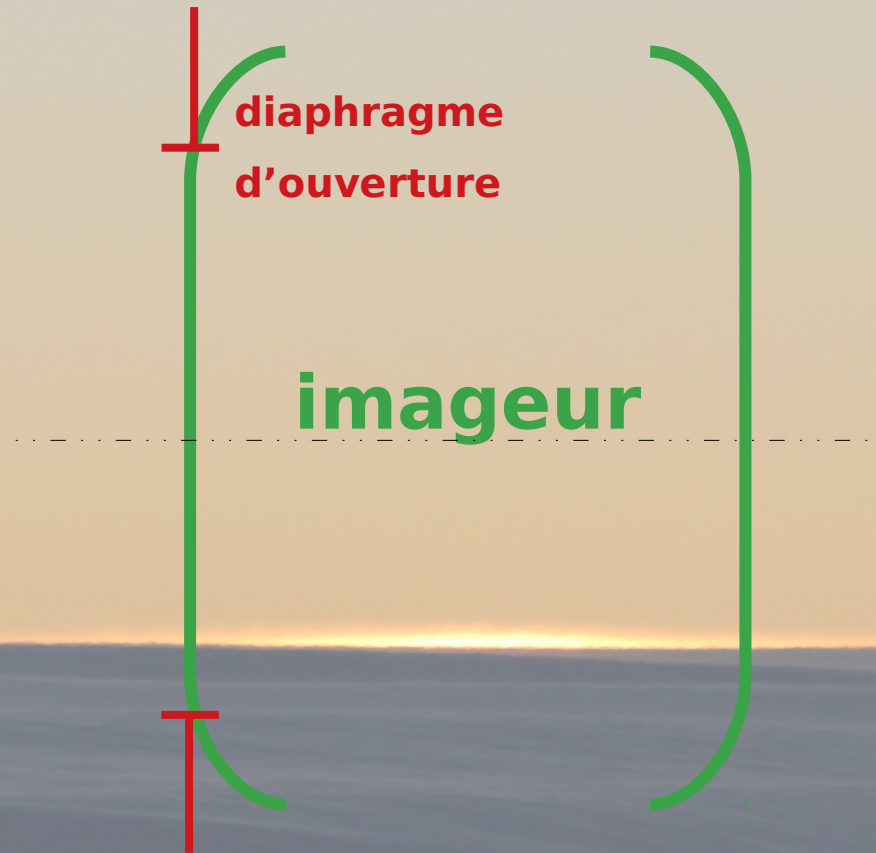


Quel est le système le plus ouvert ?

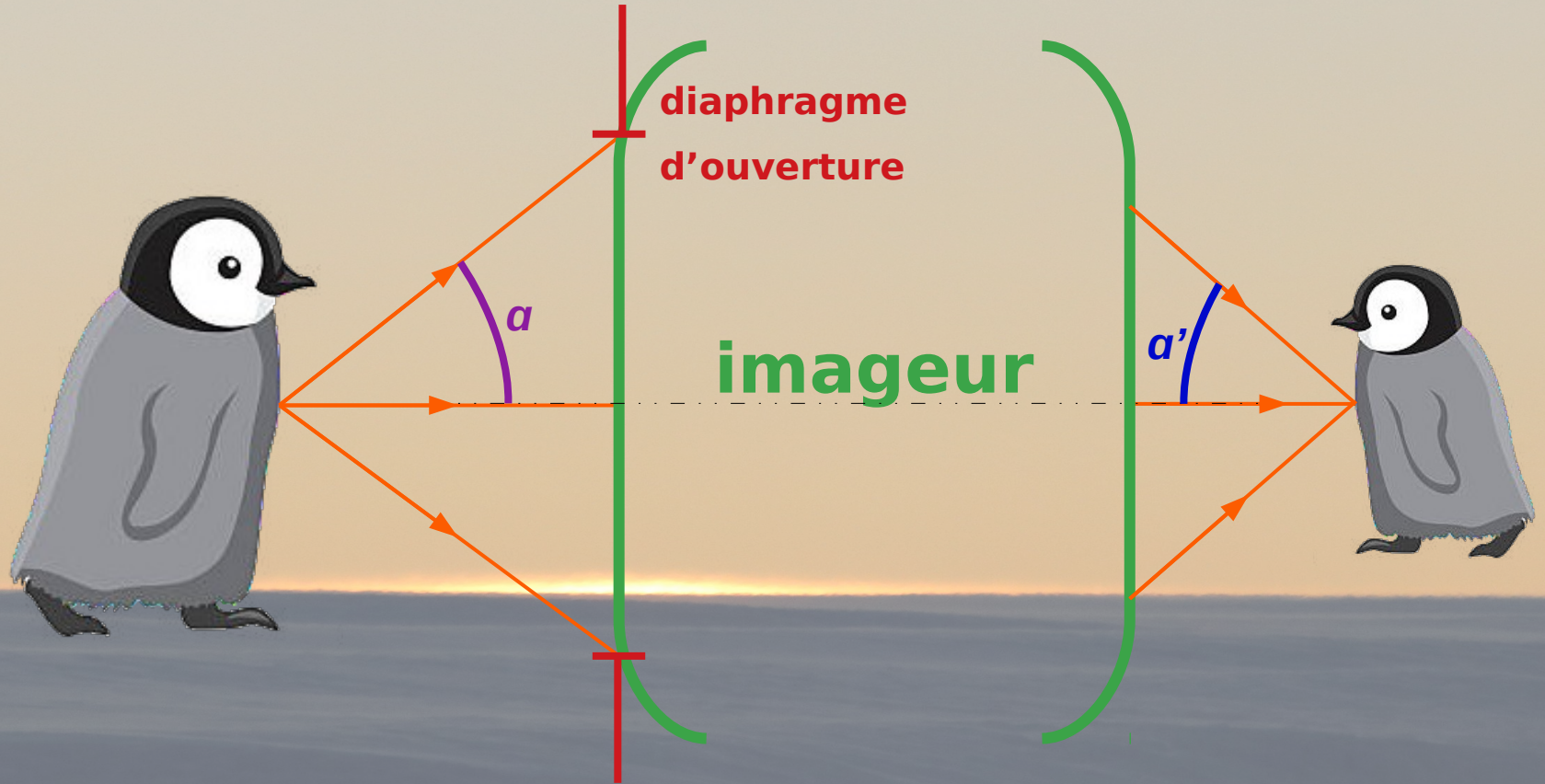
# C'est quoi exactement l'ouverture ?



# C'est quoi exactement l'ouverture ?



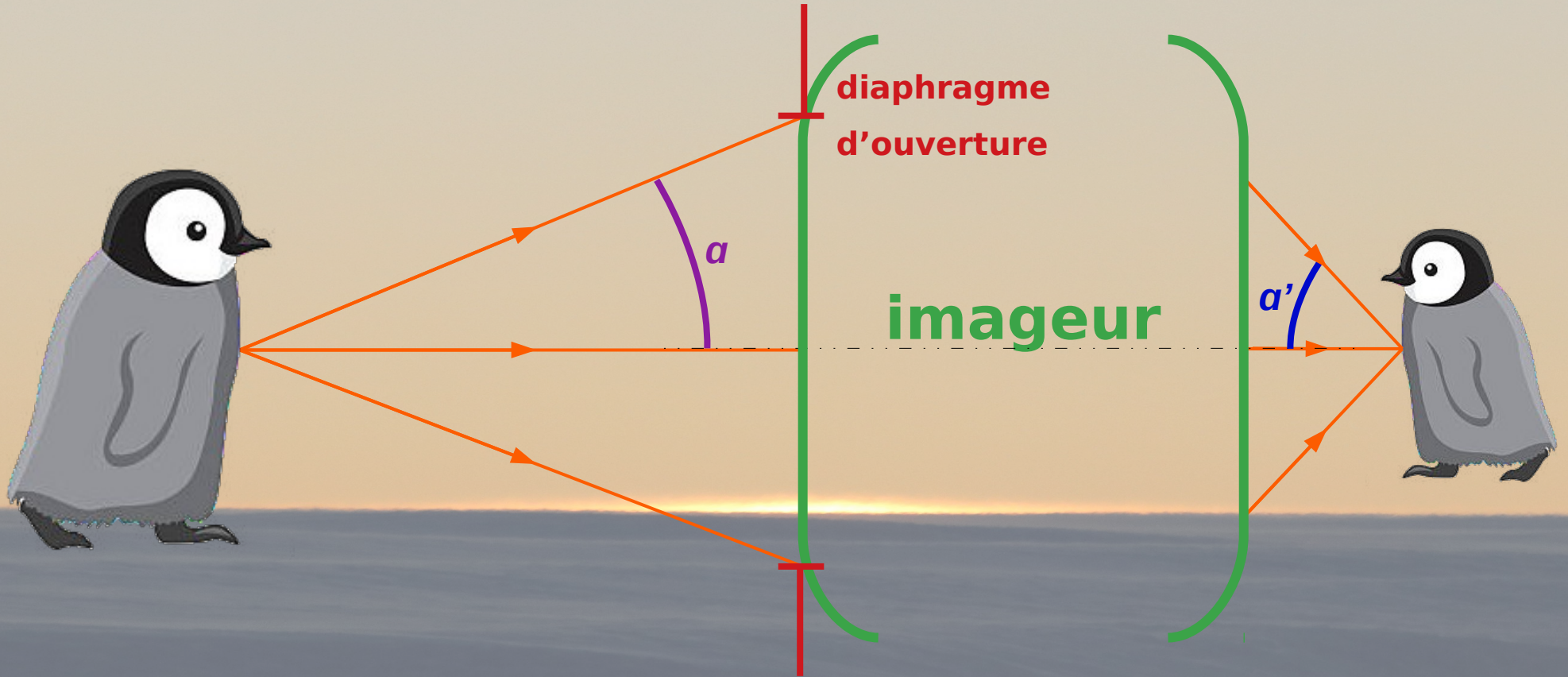
# C'est quoi exactement l'ouverture ?



$\sin \alpha = ON$  : Ouverture numérique objet

$\sin \alpha' = ON'$  : Ouverture numérique image **29**

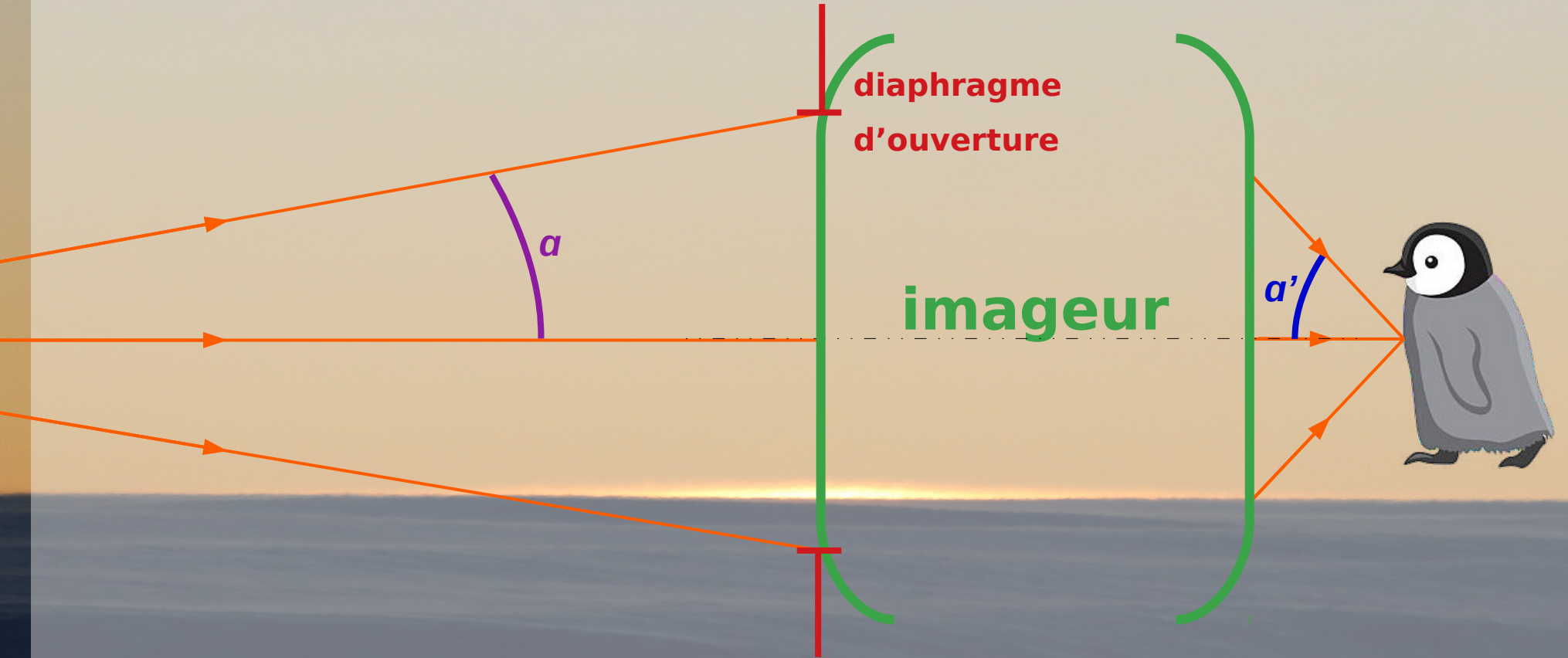
# C'est quoi exactement l'ouverture ?



$\sin \alpha = ON$  : Ouverture numérique objet

$\sin \alpha' = ON'$  : Ouverture numérique image

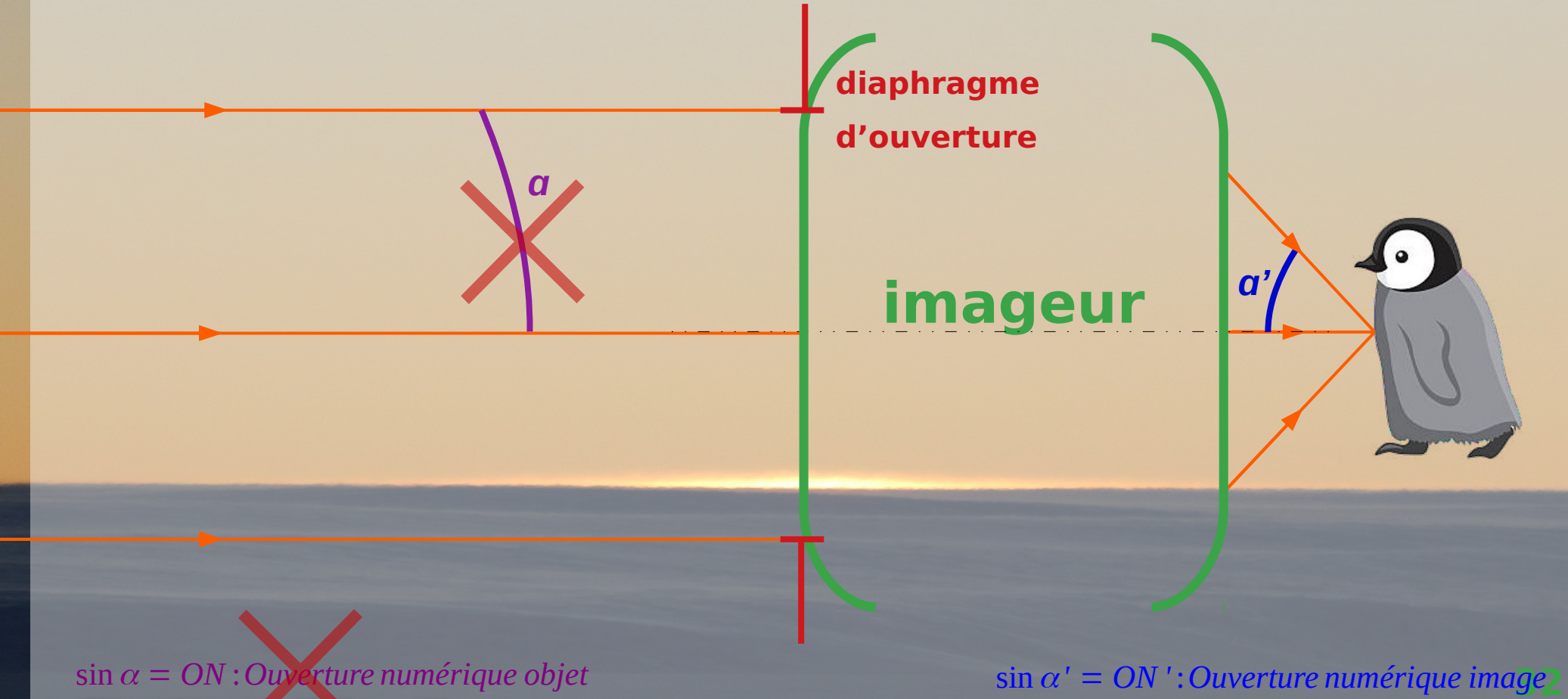
# C'est quoi exactement l'ouverture ?



$\sin \alpha = ON$  : Ouverture numérique objet

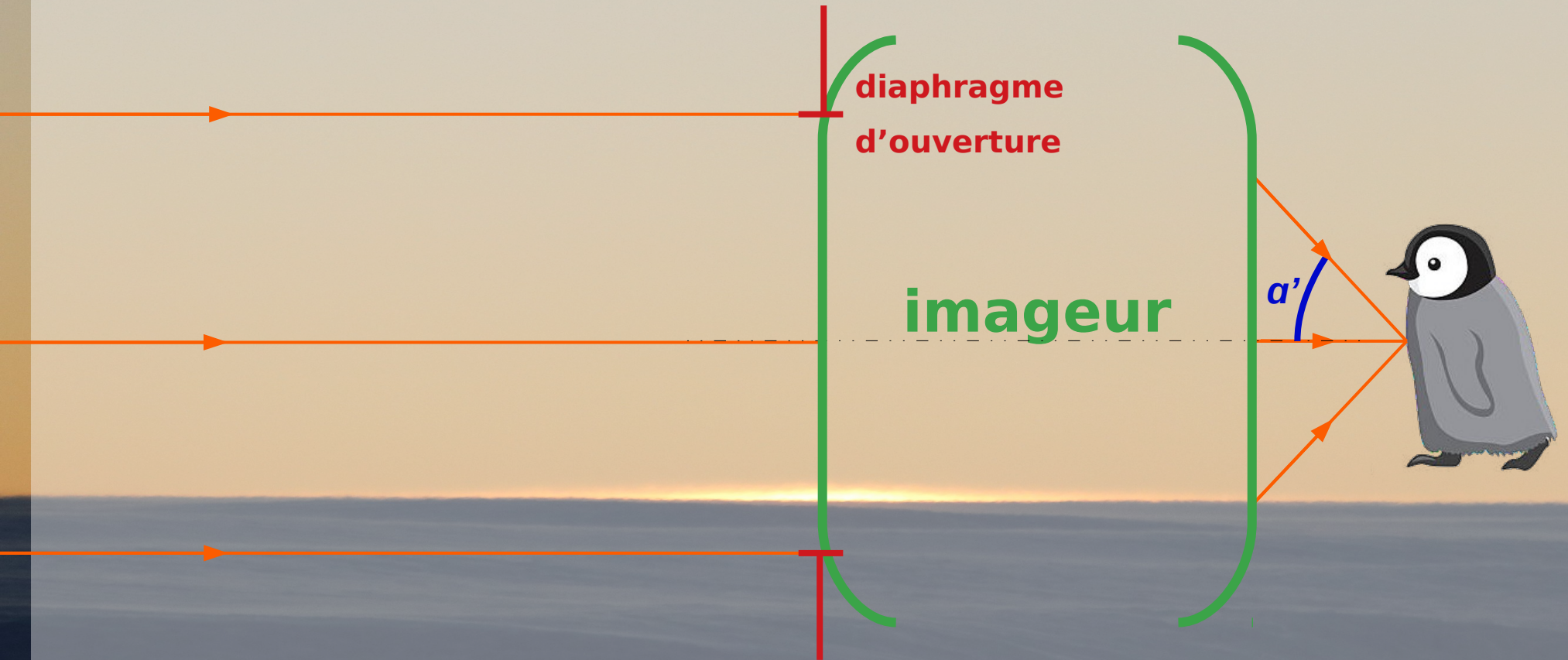
$\sin \alpha' = ON'$  : Ouverture numérique image **31**

# C'est quoi exactement l'ouverture ?



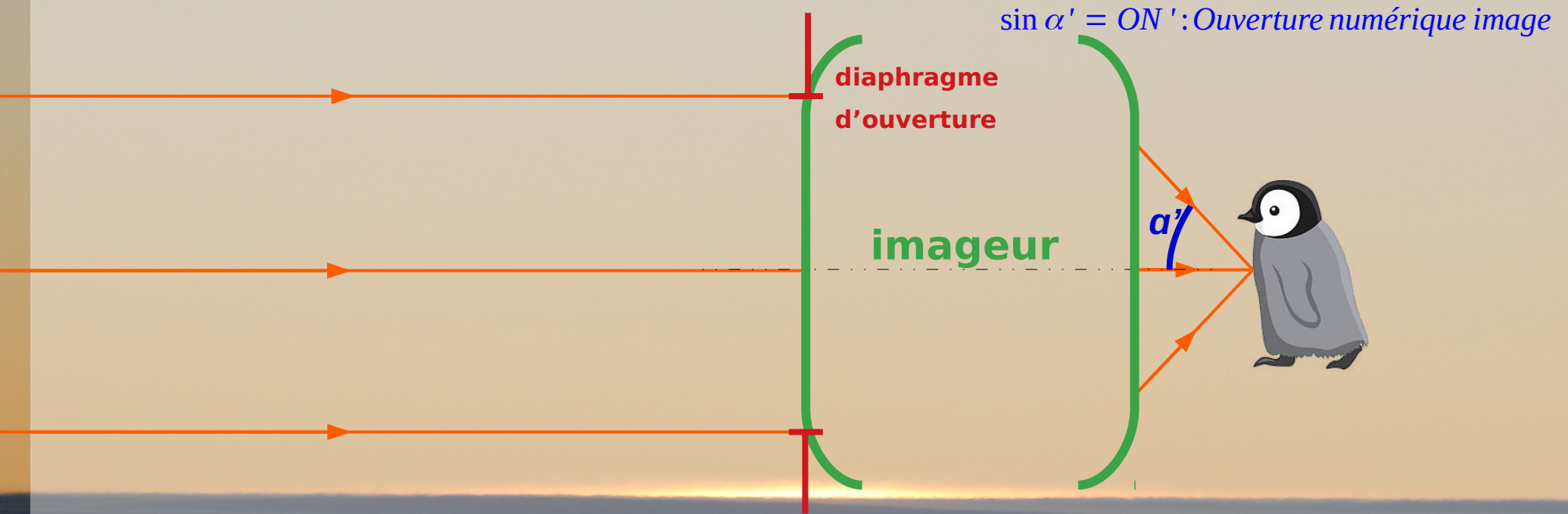


# C'est quoi exactement l'ouverture ?



$\sin \alpha' = ON'$  : Ouverture numérique image

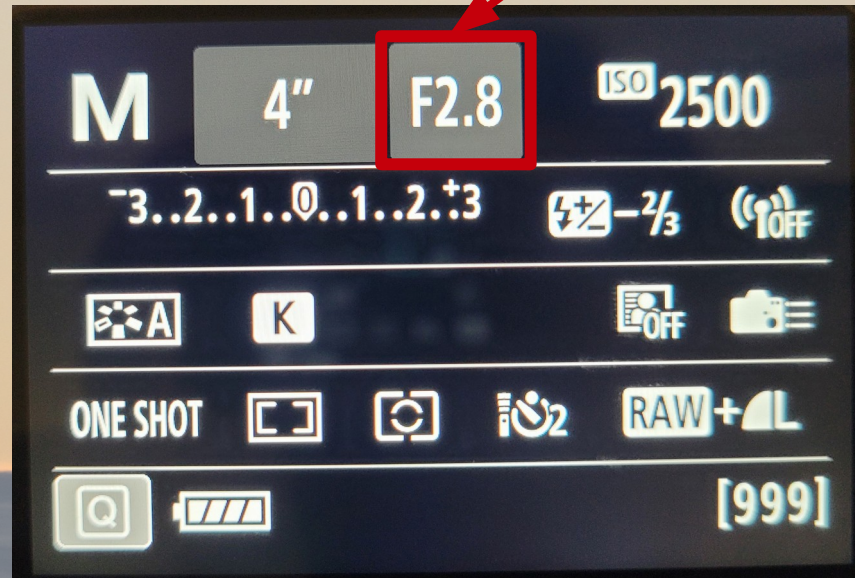
# Le nombre d'ouverture !



$$N = \frac{1}{2 \sin \alpha'}$$

# Le nombre d'ouverture !

C'est lui



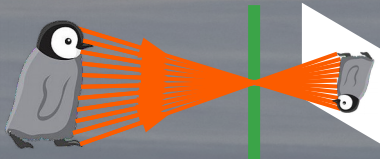
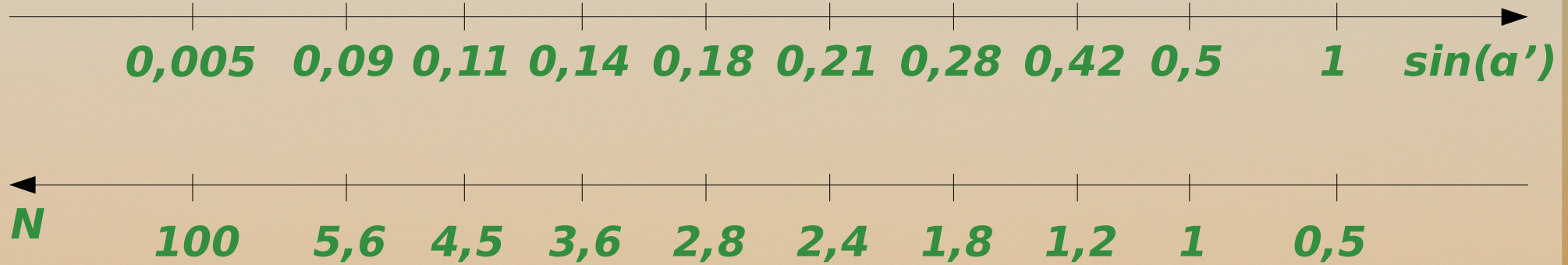
# Un peu de vocabulaire

- N est parfois noté F# (se dit « F number ») (en photo).
- On parle aussi de rapport d'ouverture, noté f/D (astro)
- On dit d'un système optique qu'il est ouvert quand N est petit, ou que l'ouverture numérique est grande. Sinon, on dit qu'il est fermé.
- On parle parfois seulement d'ouverture, ce qui peut laisser planer le doute. Pour ne pas se tromper, un système ouvert, c'est quand on a ouvert le diaphragme

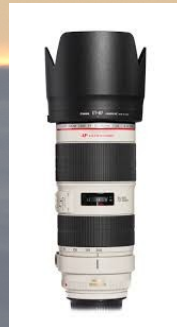
# Quelques valeurs

Fermé

Ouvert



Sténopé



# A quoi ça sert d'ouvrir ?



**Jouer sur la quantité de lumière**

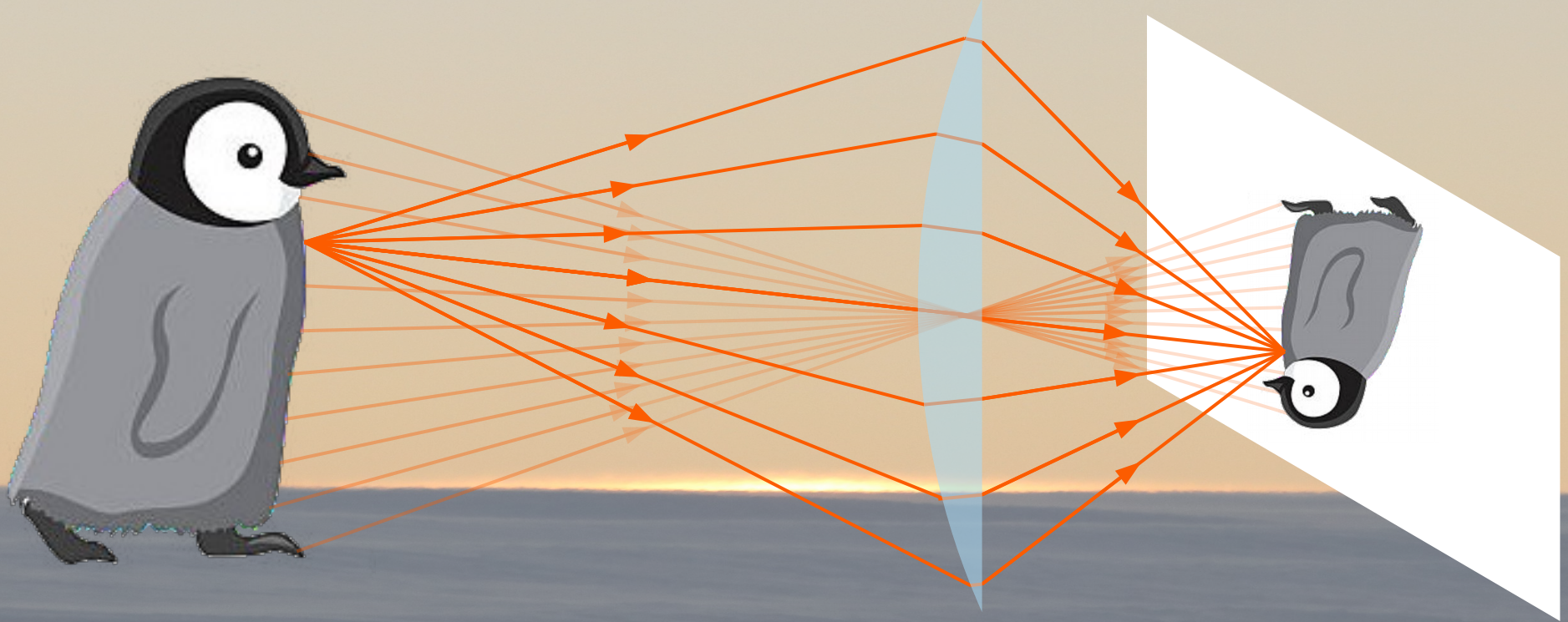


**Jouer sur la profondeur de champ**

# Deuxième notion : le champ (de vue) !

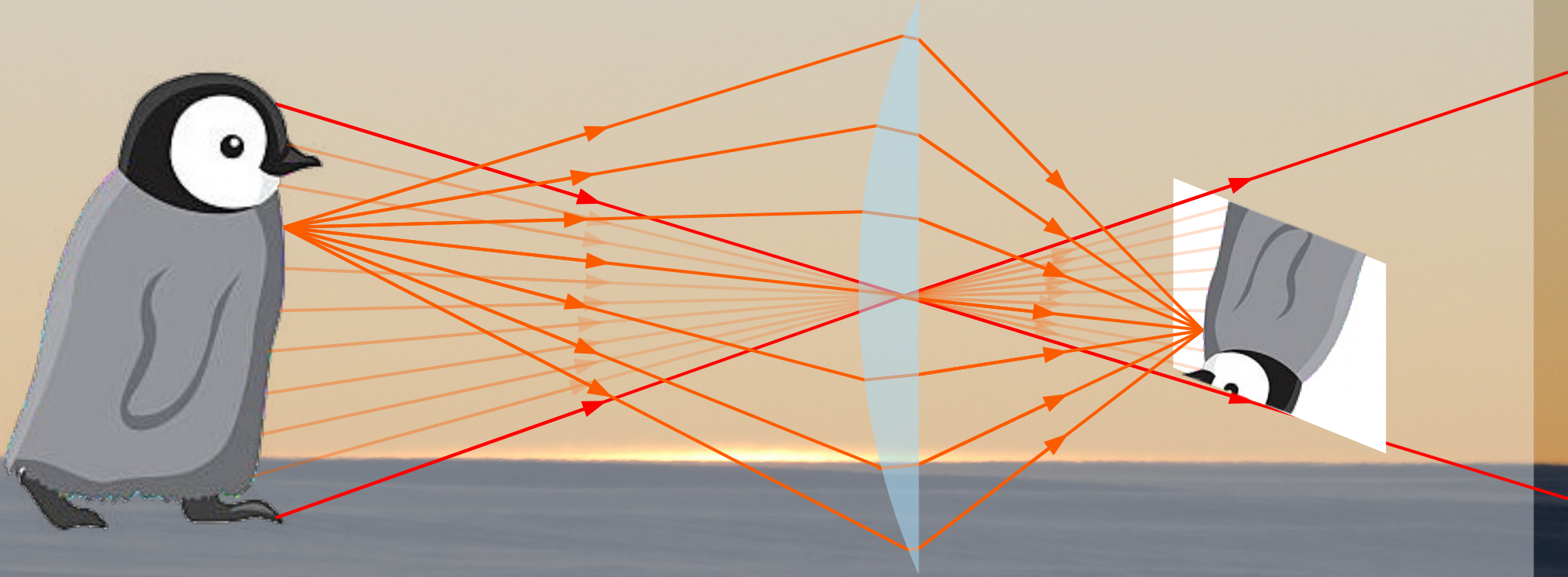


# Qu'est-ce qui limite le champ de vue ?



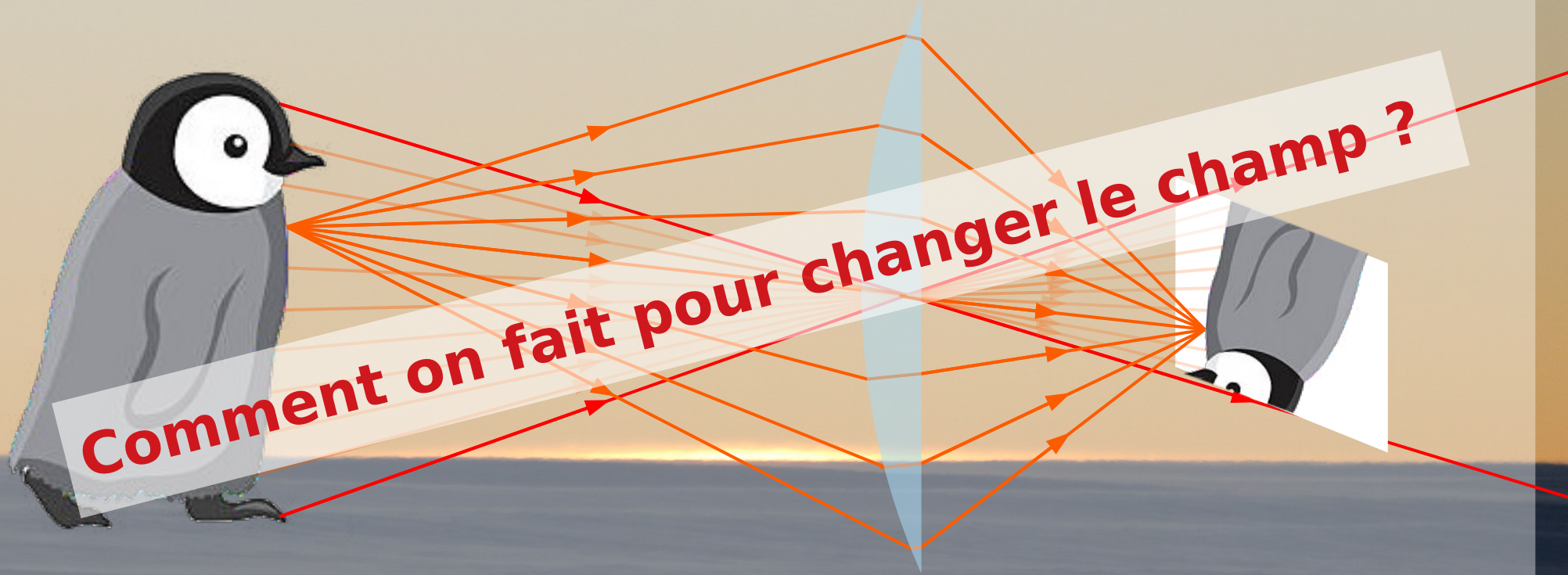


## Le capteur ...



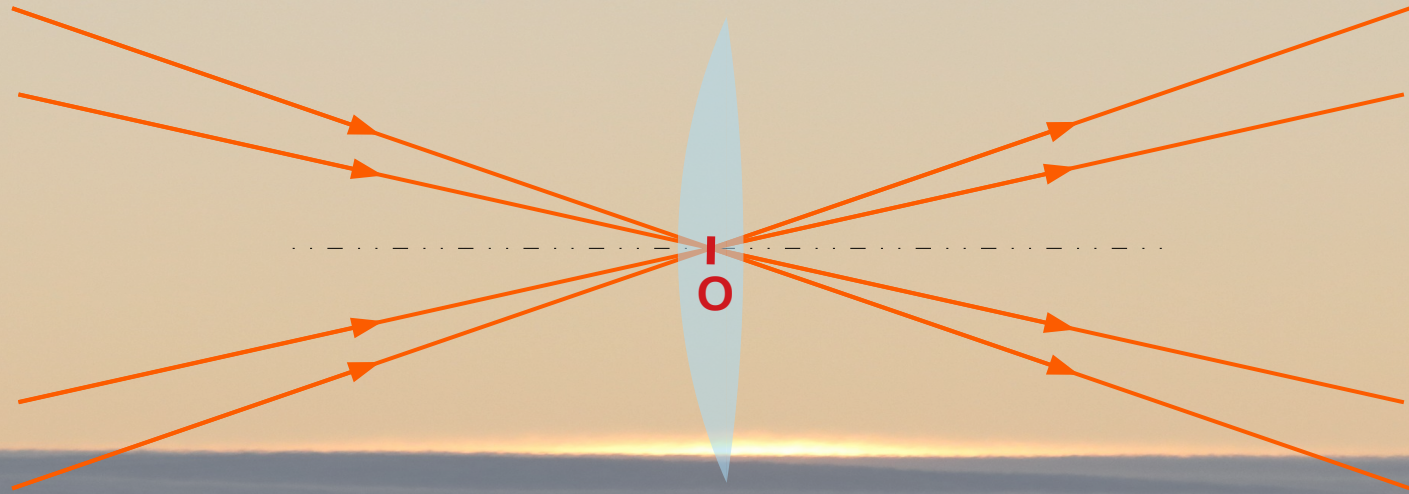
... mais on ne peut pas en changer ...

## Le capteur ...

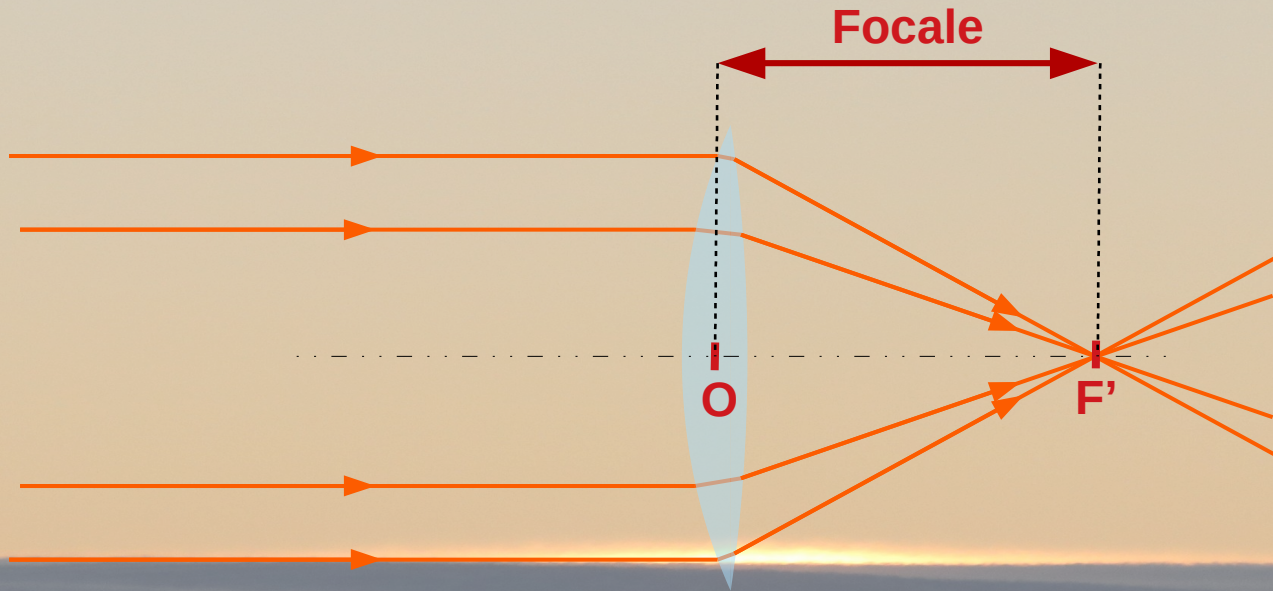


... mais on ne peut pas en changer ...

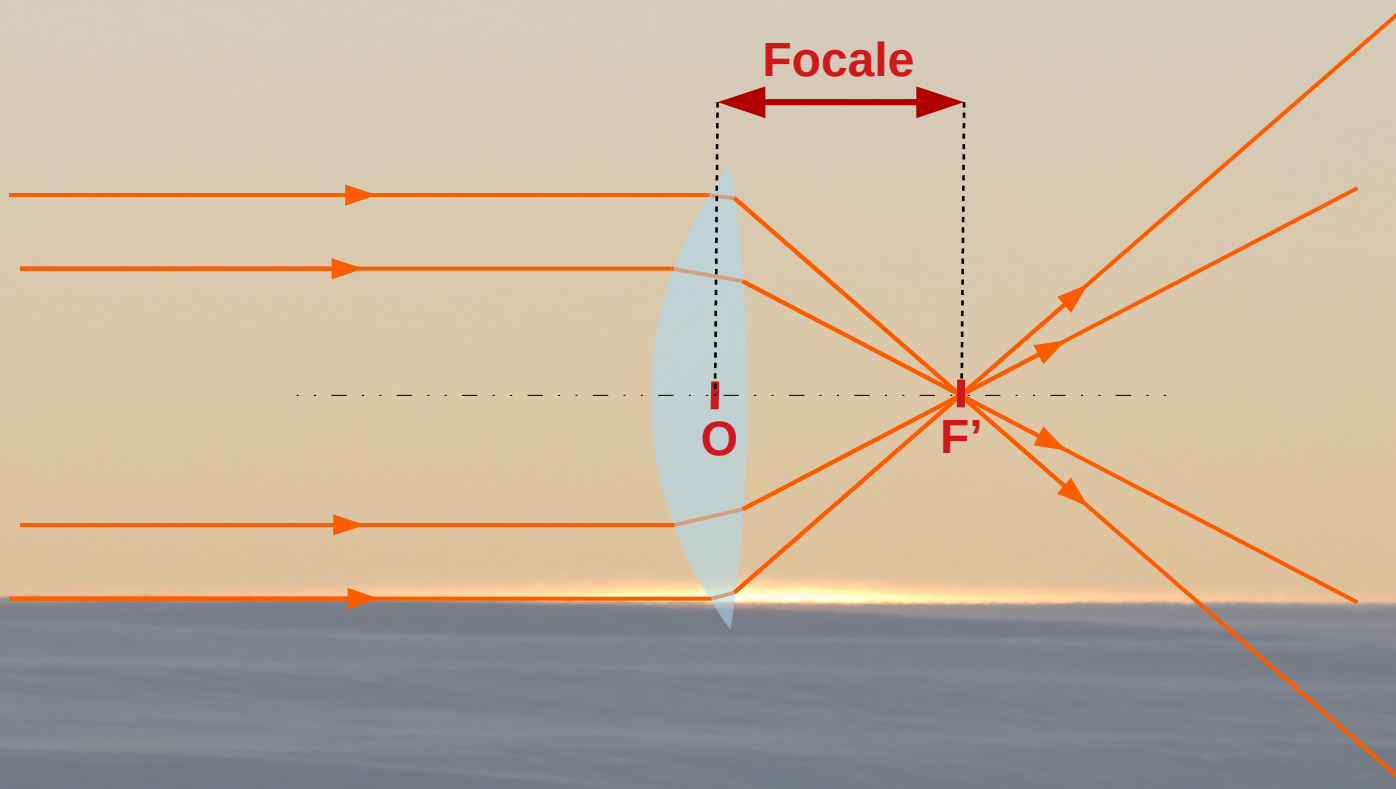
# Parlons focale ... avec une lentille



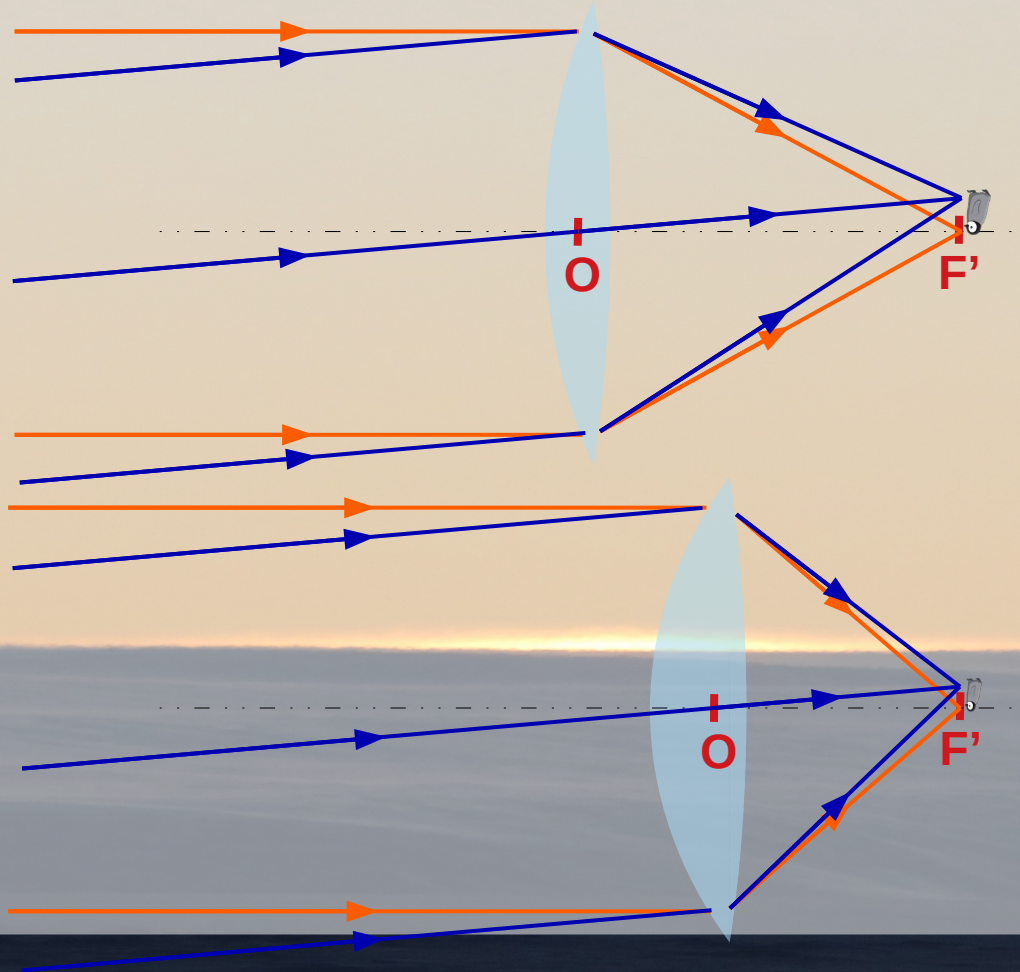
# Parlons focale ... avec une lentille



# Parlons focale ... avec une lentille

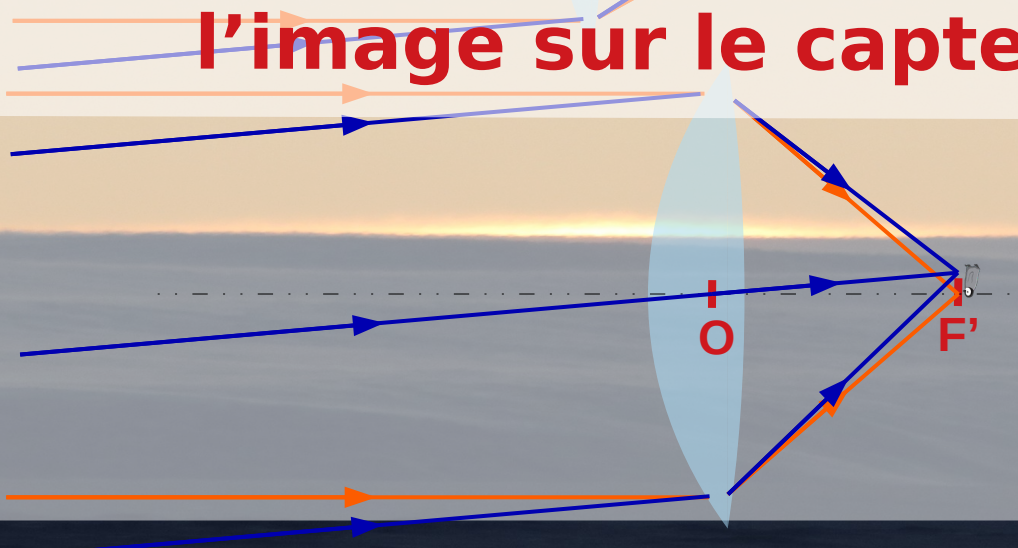
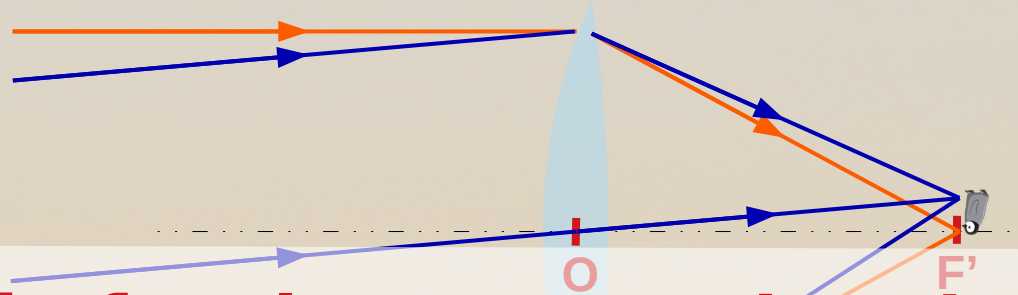


# Laquelle zoom le plus ?



## Laquelle zoom le plus ?

**Plus la focale est grande, plus on grandit l'image sur le capteur**

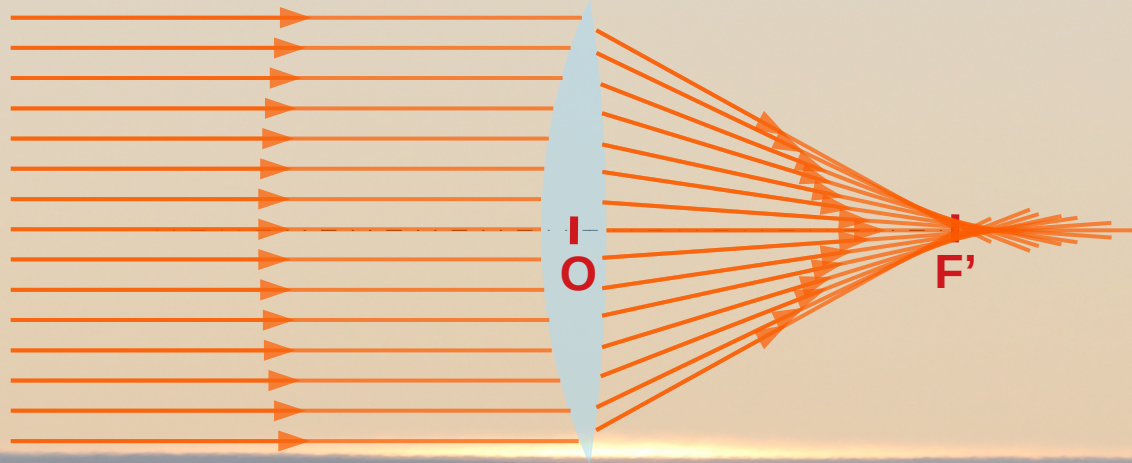


# Champ de vue et focale



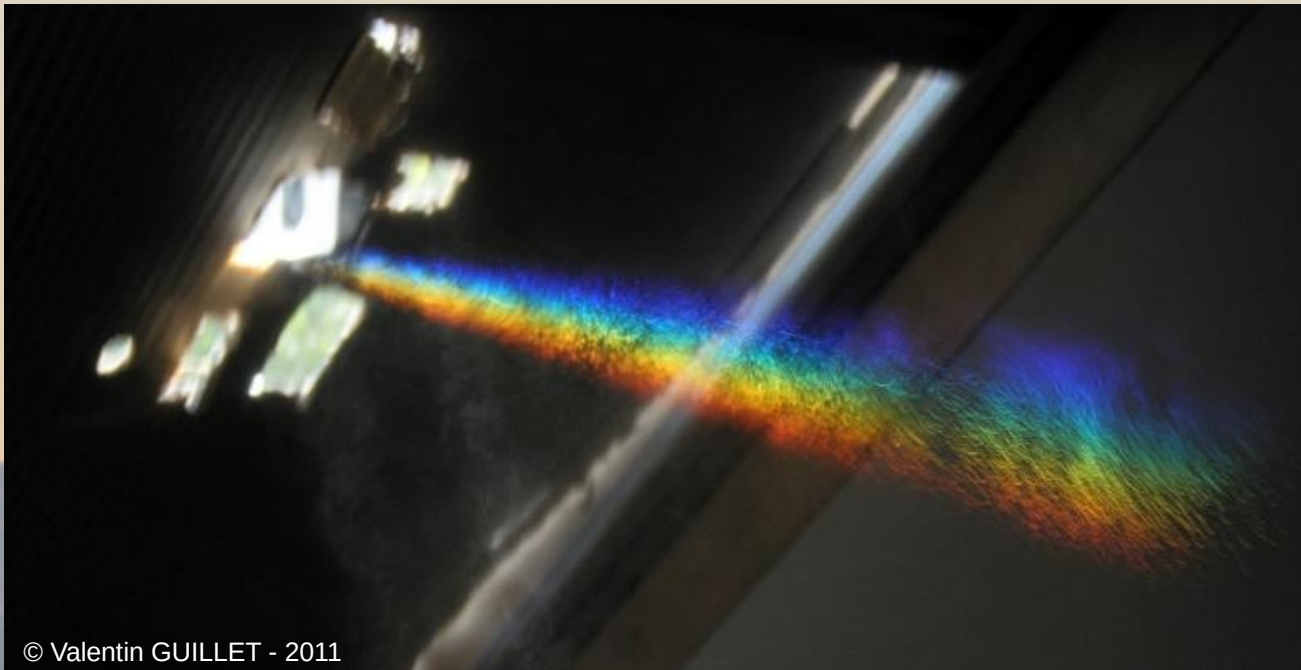
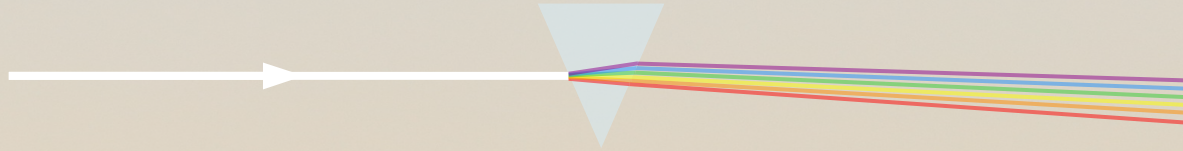


# Pourquoi on n'utilise pas une seule lentille ?



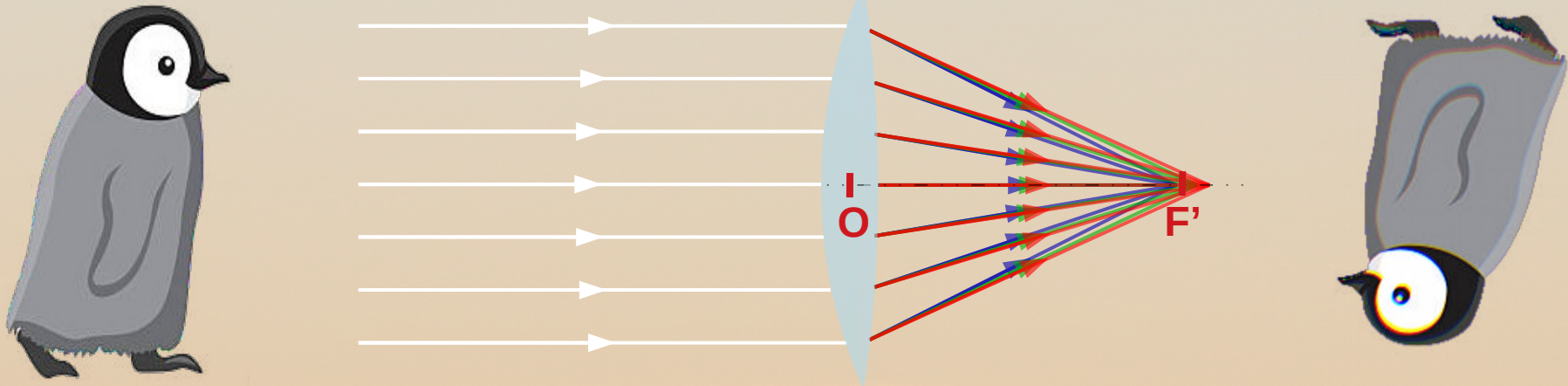
A cause des aberrations géométriques ...

# Parlons dispersion (spersion !)



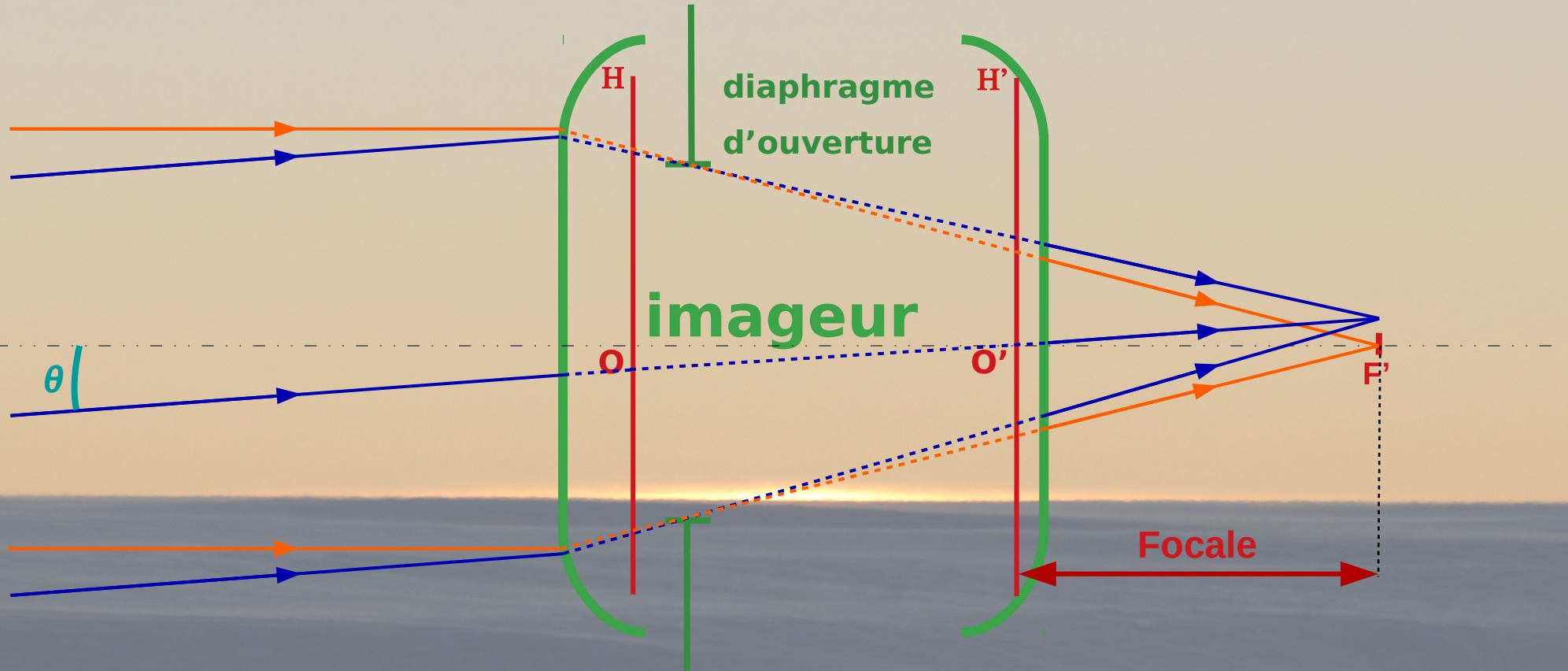
© Valentin GUILLET - 2011

# Pourquoi on n'utilise pas une seule lentille ?

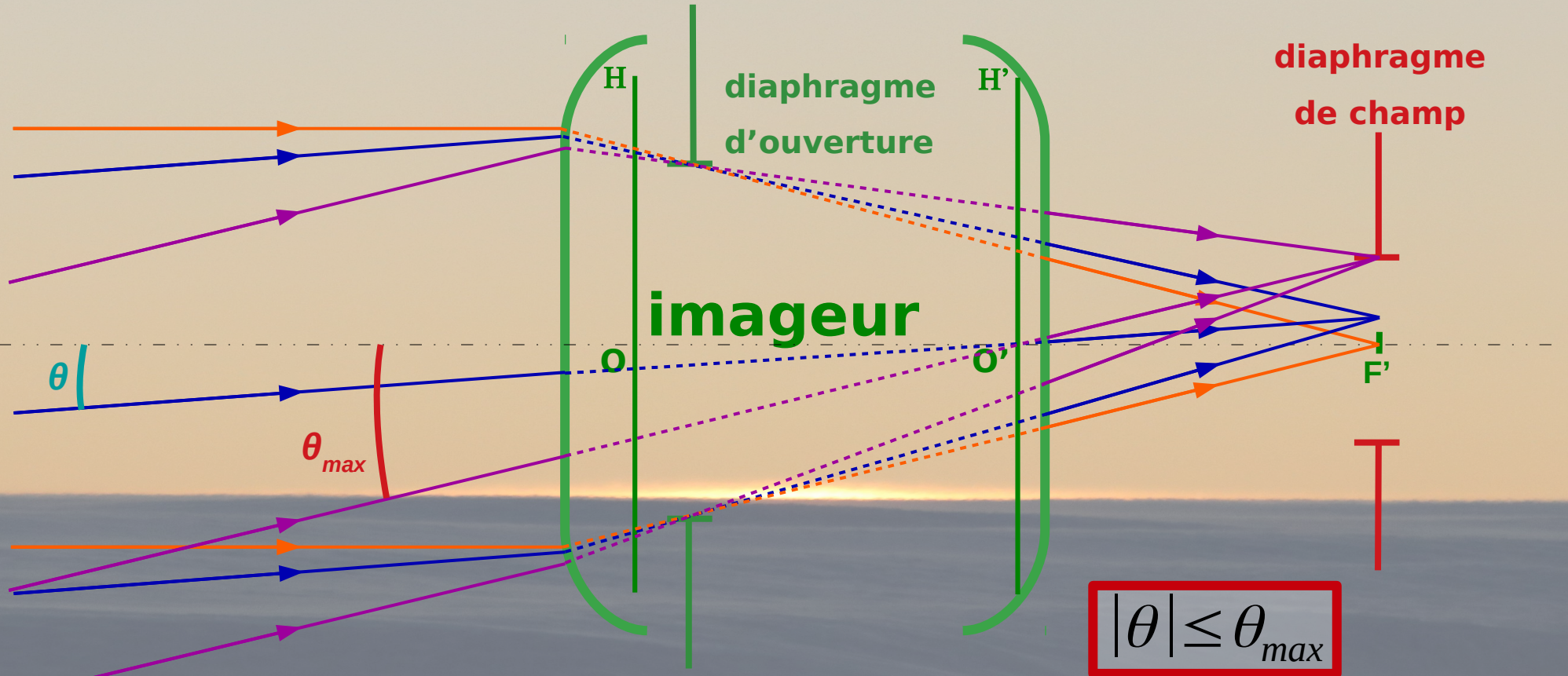


... et des aberrations chromatiques !

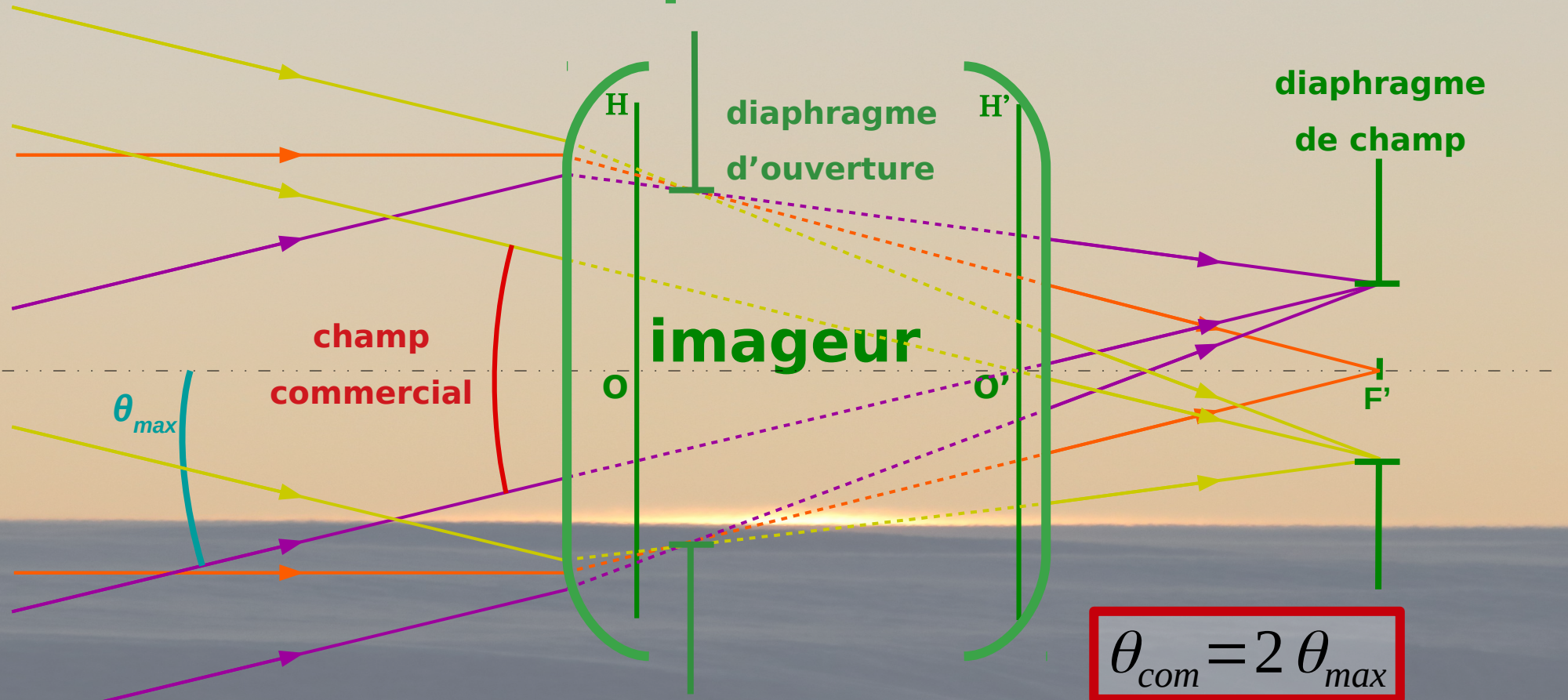
# Et avec plein de lentilles ?



# Diaphragme de champ : le capteur !

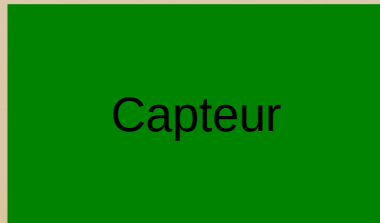


# Champ commercial

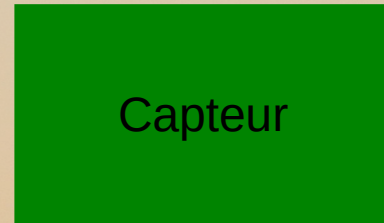


# Diaphragme de champ : le capteur !

diaphragme  
de champ ?

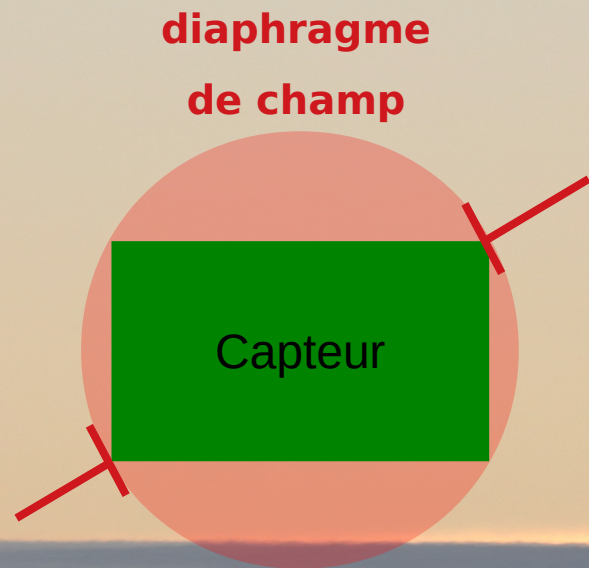


OU



diaphragme  
de champ ?

# Diaphragme de champ : le capteur !

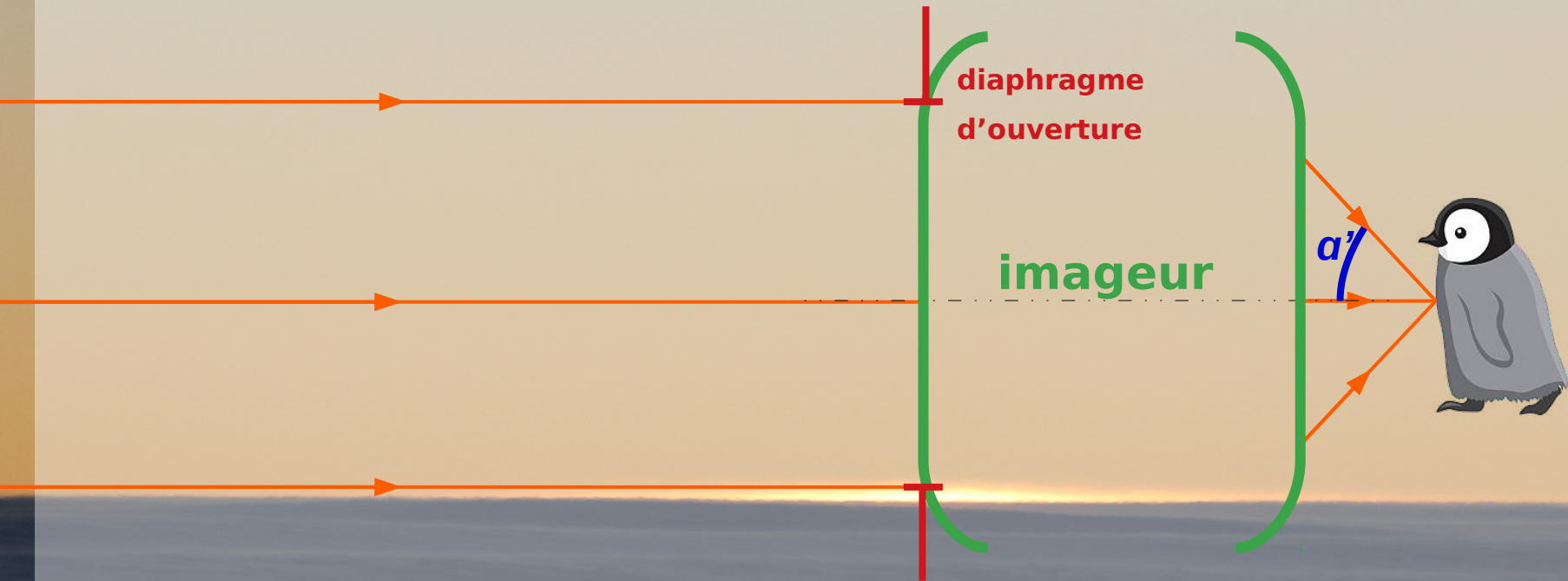


Constructeur	Petit format APS-C	Grand format Full Frame
Canon	EF-S	EF
Fujifilm	X	G
Nikon	DX	FX
Sony	DT E	F FE



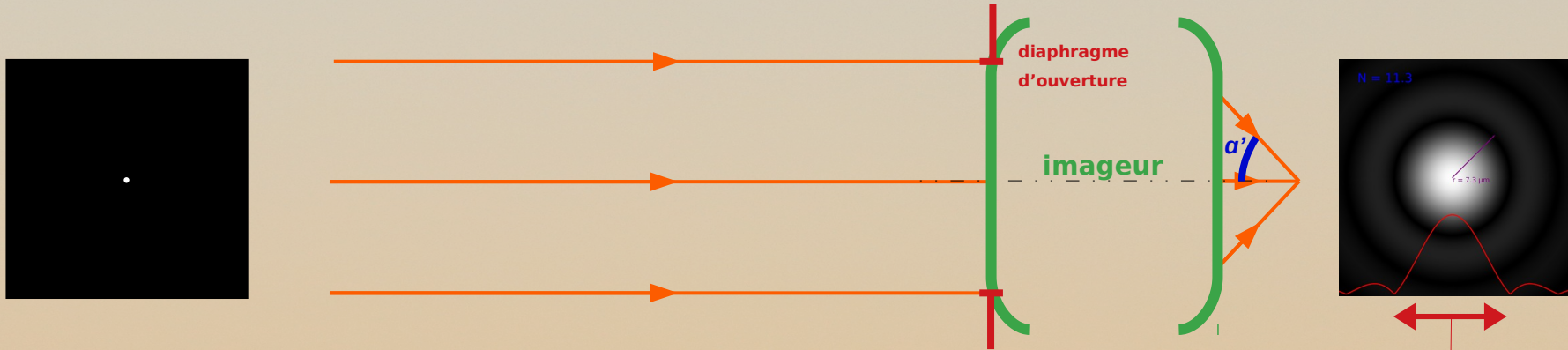
# La diffraction : le retour !

$\sin \alpha' = ON'$  : Ouverture numérique image



# La diffraction : le retour !

$\sin \alpha' = ON'$  : Ouverture numérique image

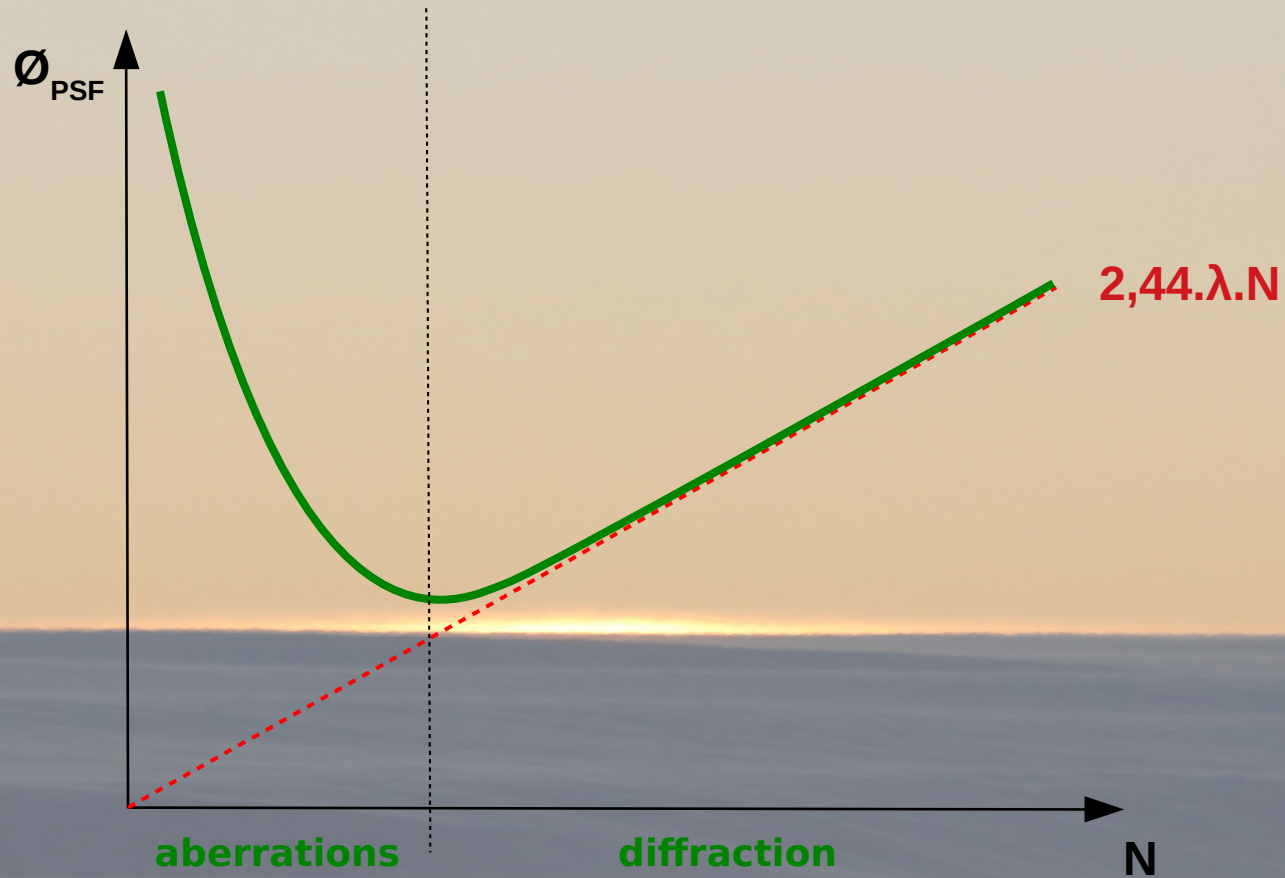


$$\varnothing_{Airy} = 2,44 \lambda N$$

en infini => foyer

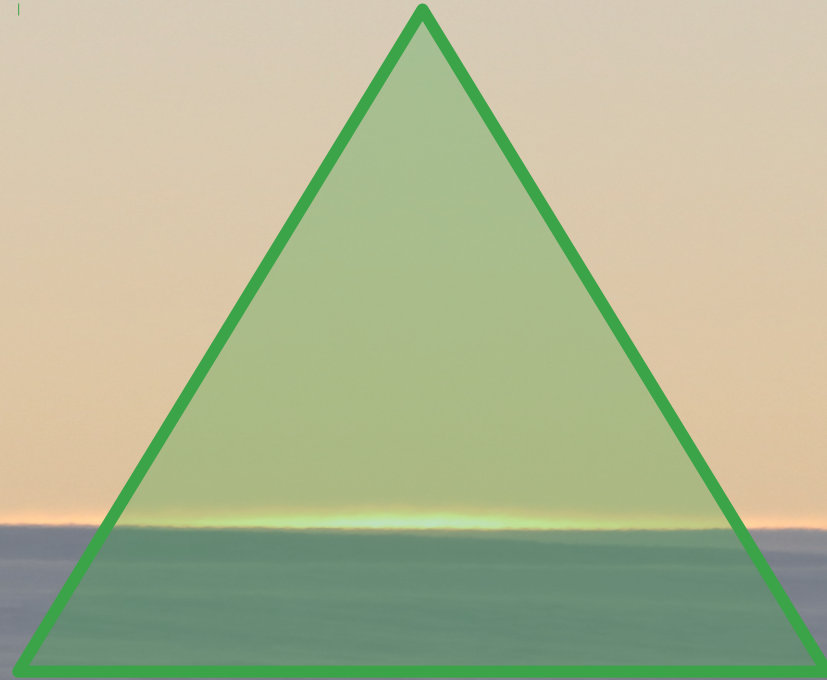
$$\varnothing_{Airy} = 1,22 \frac{\lambda}{(n') \sin \alpha'}$$

# La PSF : aberrations + diffraction



# Parlons lumière

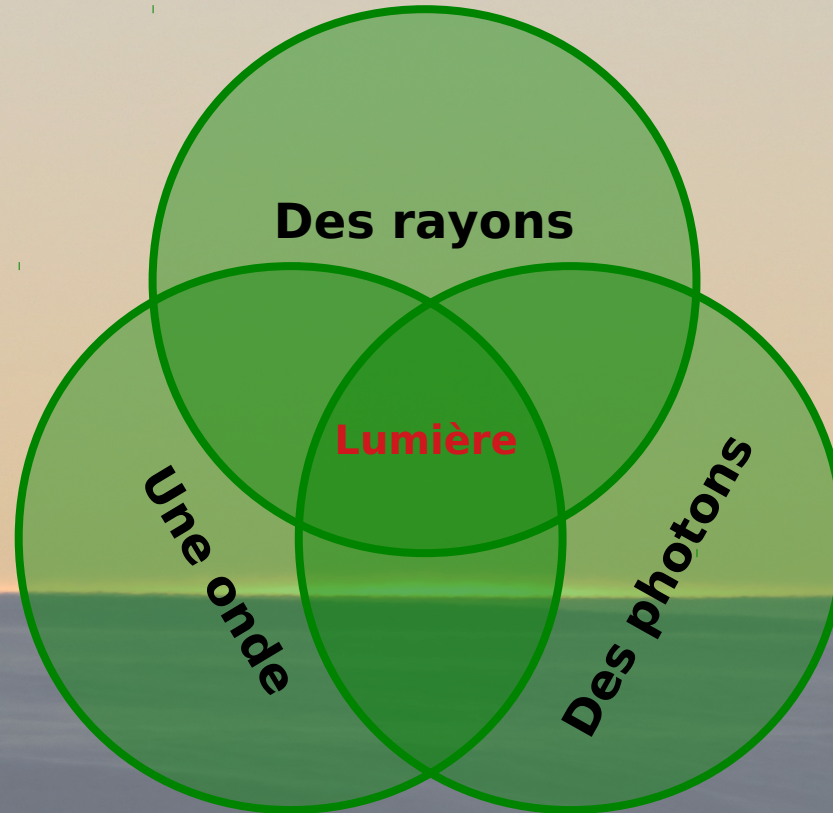
**Lumière**



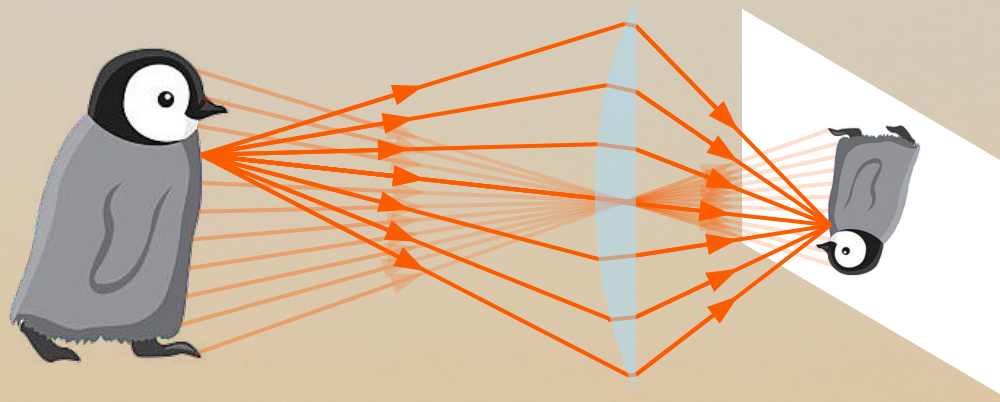
**Imageur**

**Capteur**

# C'est quoi la lumière ?



# Des rayons ? C'est facile à tracer !



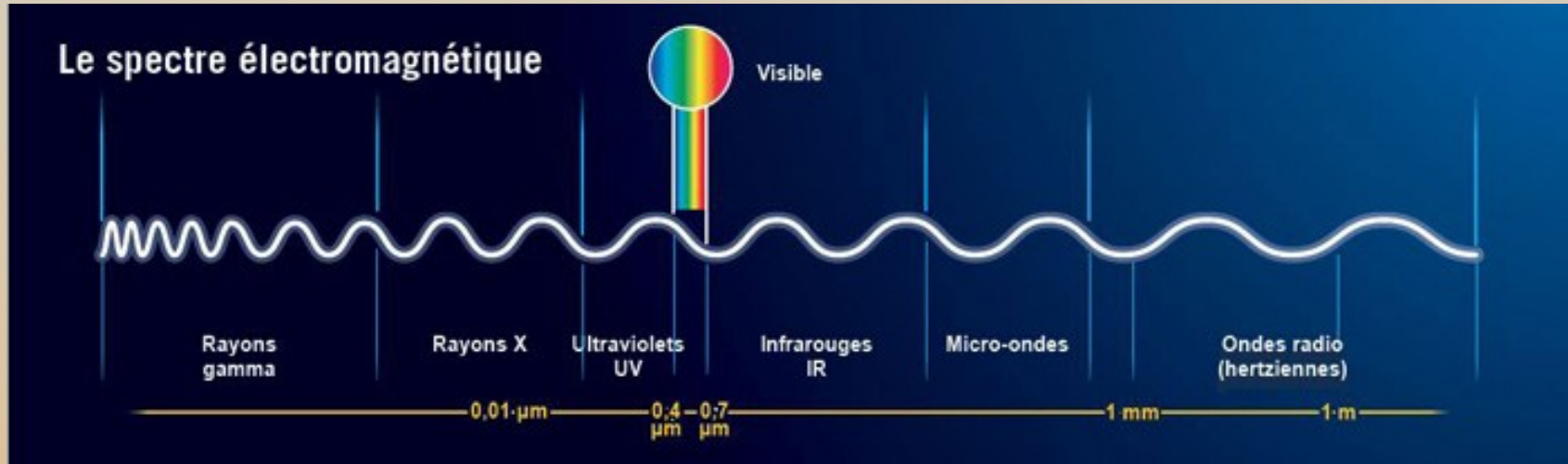
**C'est suffisant pour expliquer pas mal de phénomènes**

**Parfait pour la taille d'un objet sur le capteur**

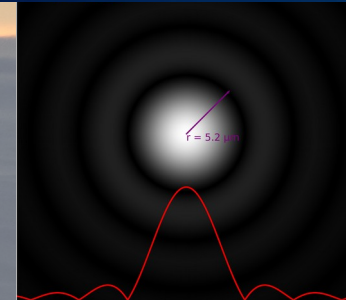
**Suffisant pour comprendre les aberrations**

# Une onde ? C'est pas très intuitif !


La lumière, un morceau du spectre électromagnétique !



Nécessaire pour comprendre  
les couleurs et la diffraction

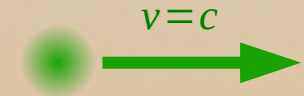


# Un photon ? C'est quoi ce truc ?




A red dot representing a photon moving to the right, indicated by a red arrow. Above the arrow is the text  $v=c$ . To the left of the dot is the equation  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



A green dot representing a photon moving to the right, indicated by a green arrow. Above the arrow is the text  $v=c$ . To the left of the dot is the equation  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



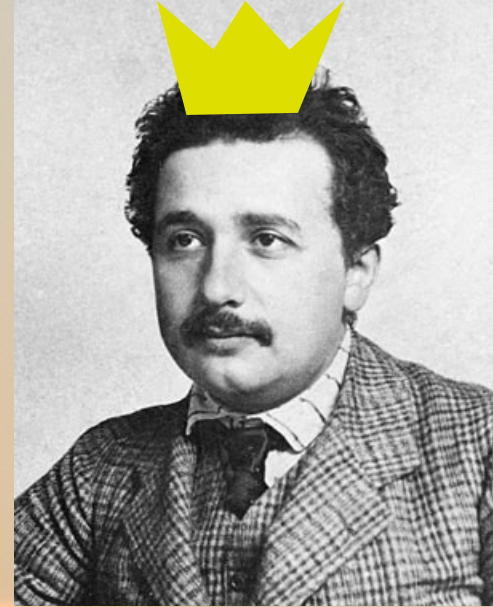
A blue dot representing a photon moving to the right, indicated by a blue arrow. Above the arrow is the text  $v=c$ . To the left of the dot is the equation  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



$$l(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

Loi du corps noir



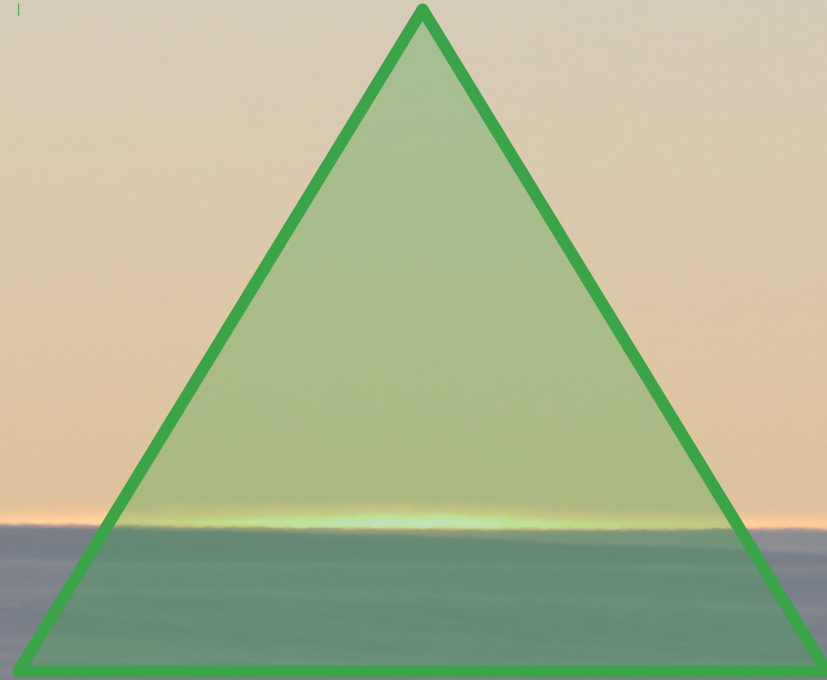
$$h\nu = W_s + \frac{1}{2}m\nu^2$$

Effet photo-électrique



# Parlons capteur

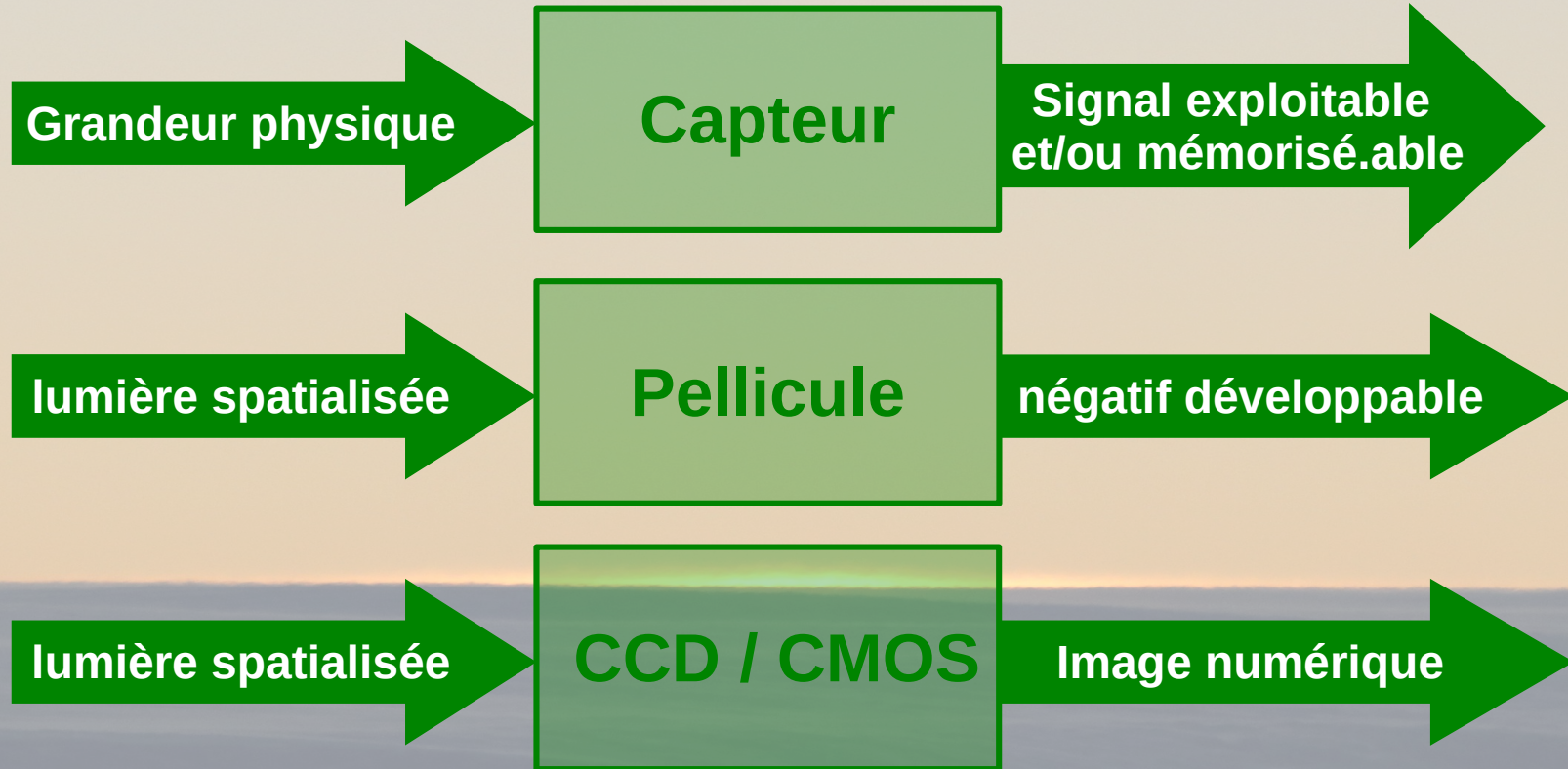
**Lumière**



**Imageur**

**Capteur**

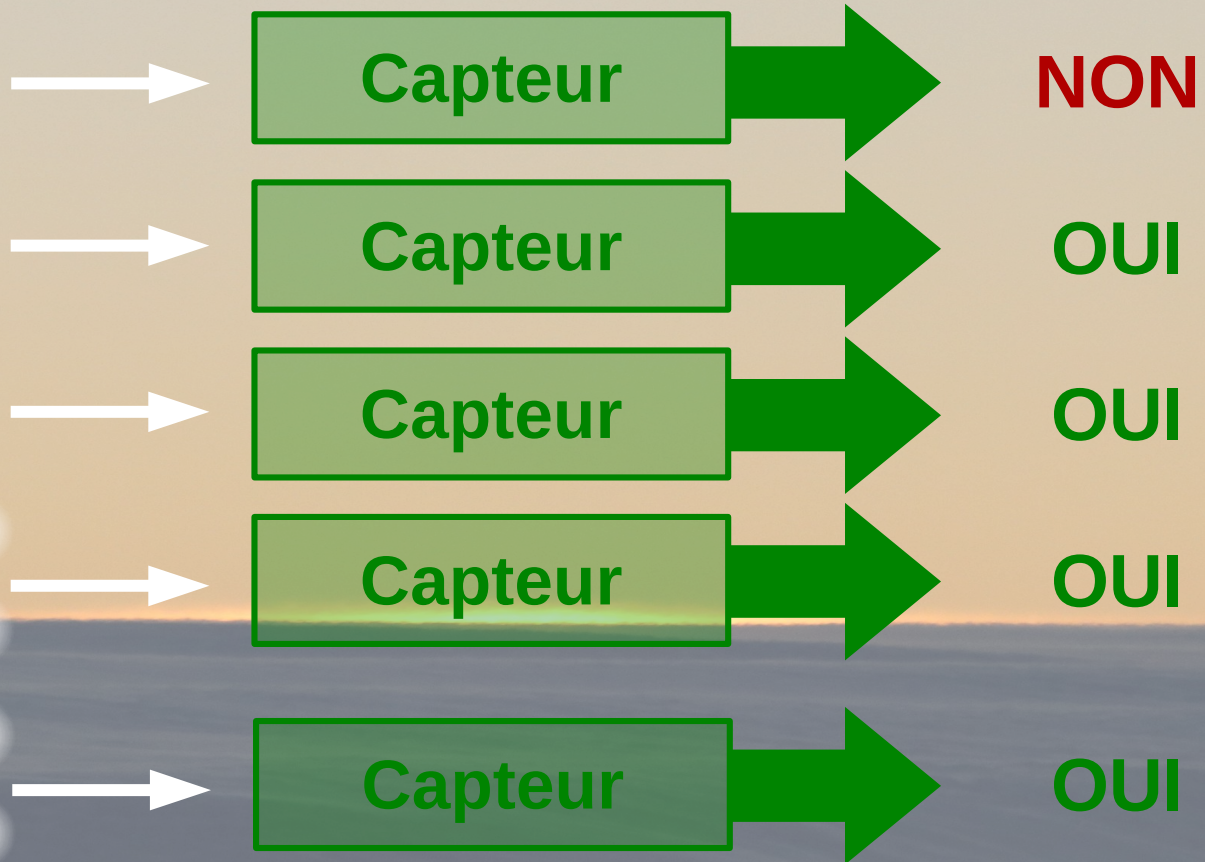
# C'est quoi, un capteur ?



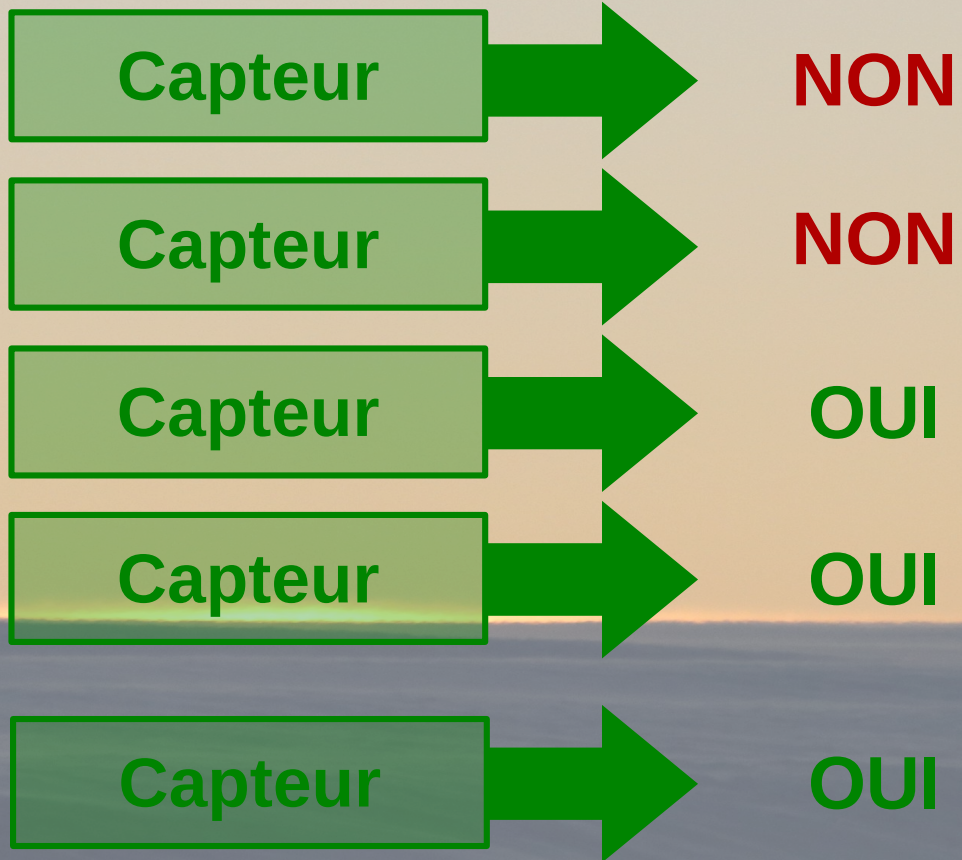
# La grandeur physique d'entrée ?

On mesure la lumière

# Une solution ?



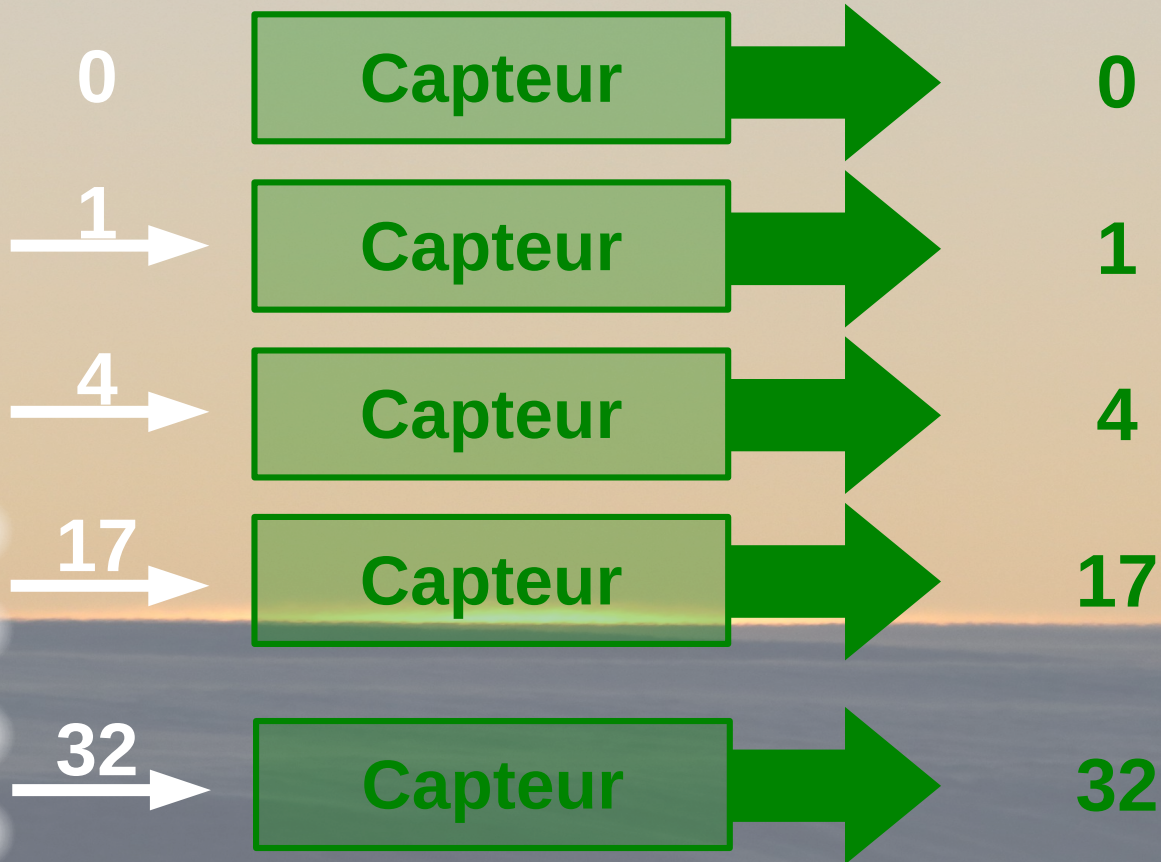
## Ou avec un seuil ...



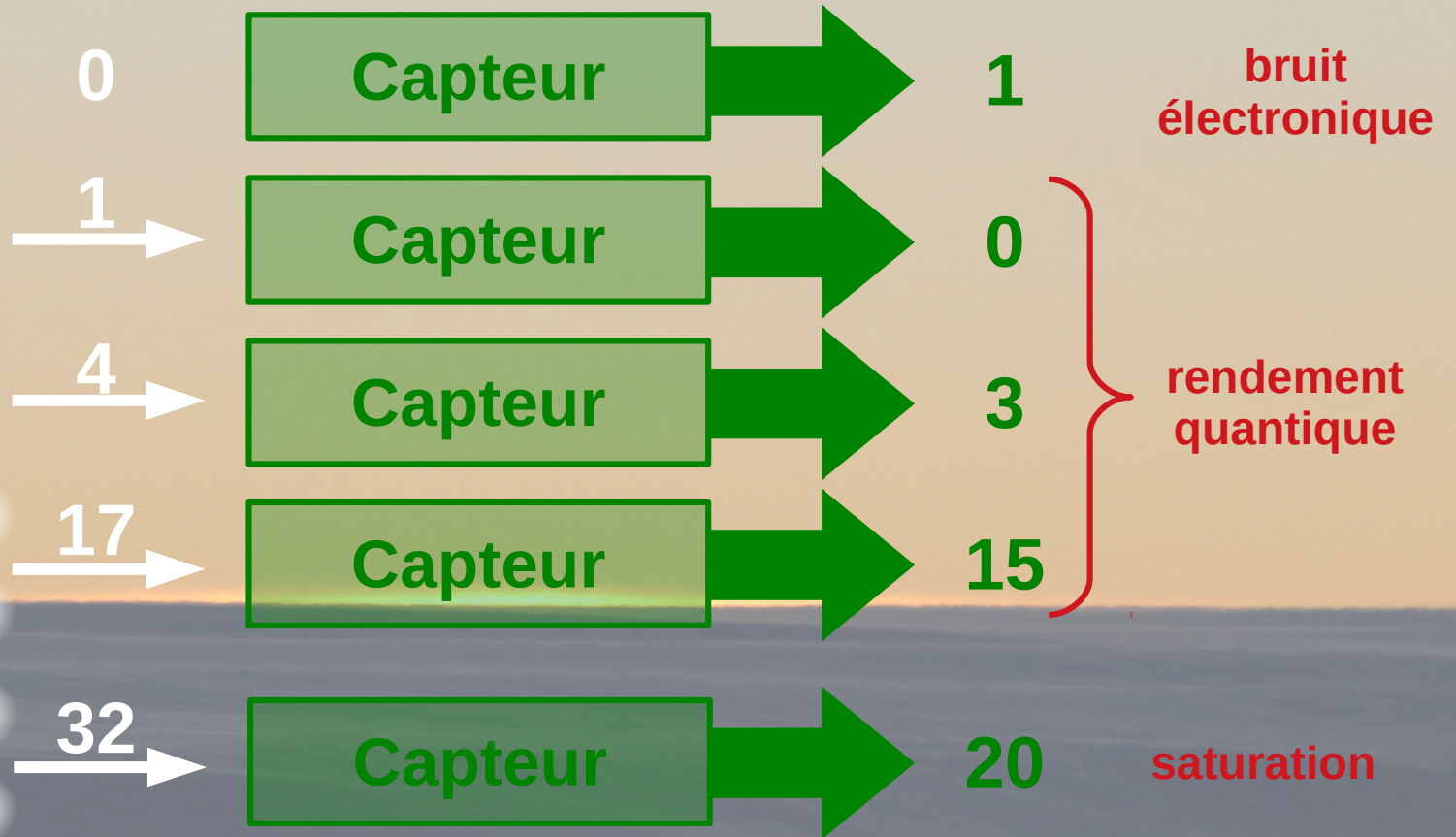
# Le résultat



# La solution idéale



## En pratique

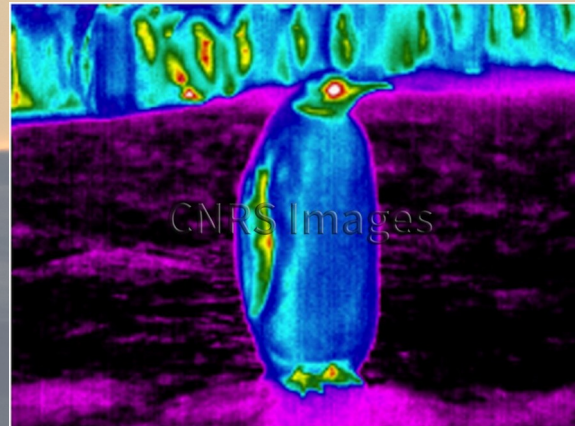
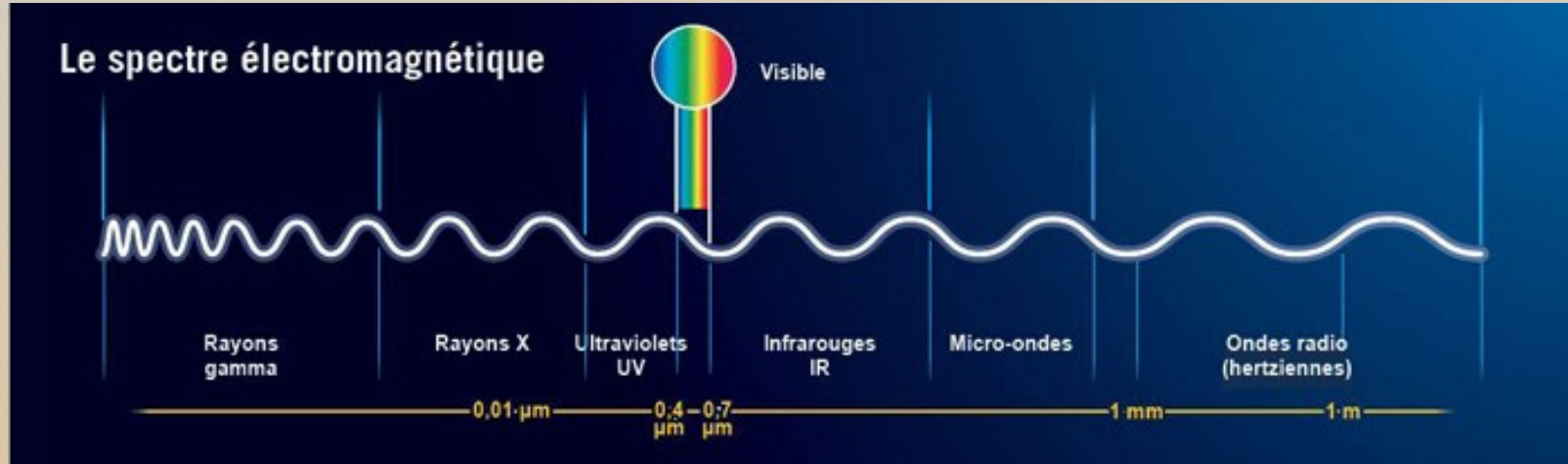




# La grandeur physique d'entrée ?

On mesure **une quantité** de lumière

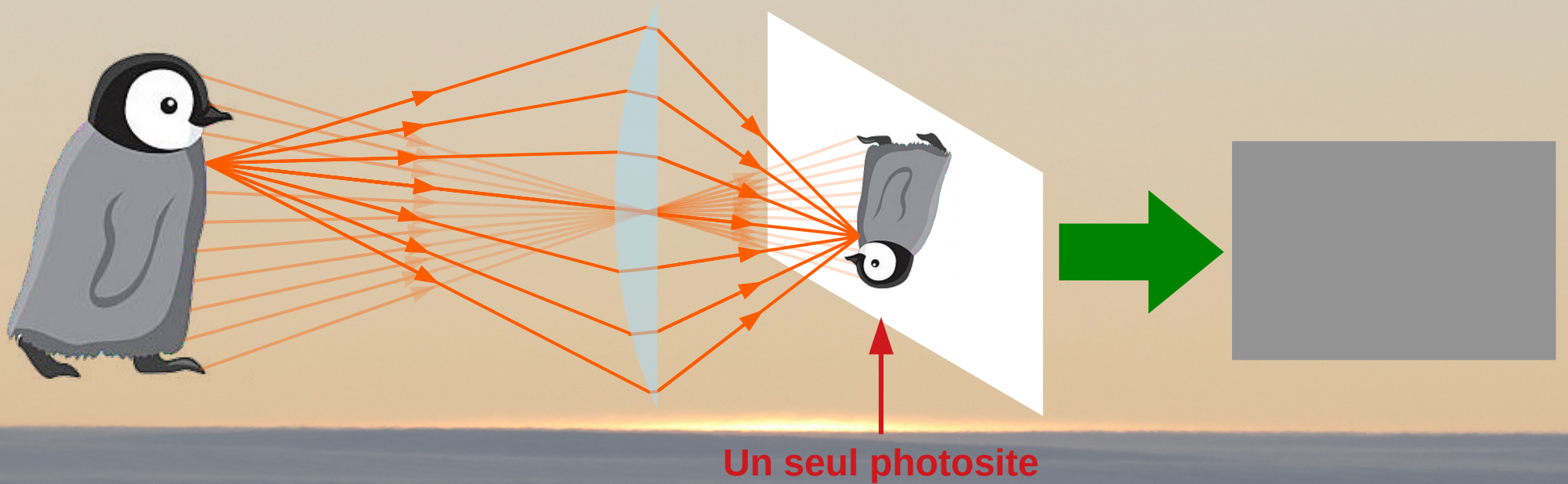
# Quelle lumière nous intéresse ?



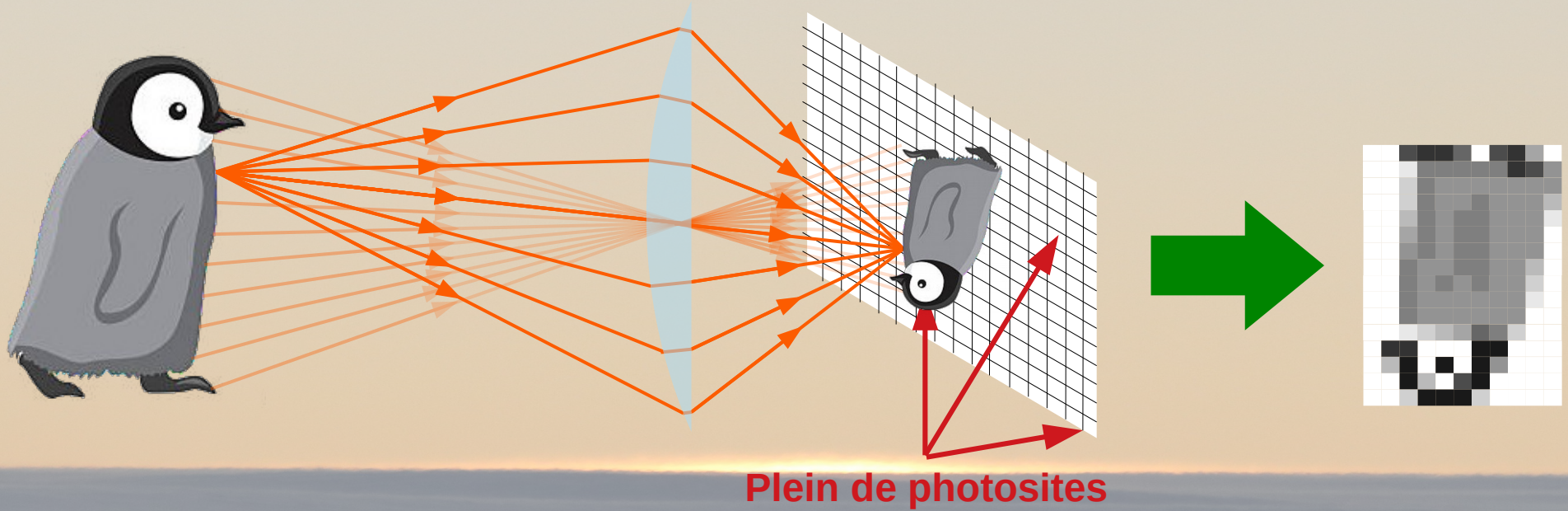
# La grandeur physique d'entrée ?

On mesure une quantité de lumière entre 400 nm et 800 nm  
(visible)

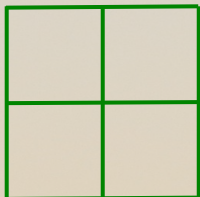
# La lumière spatialisée



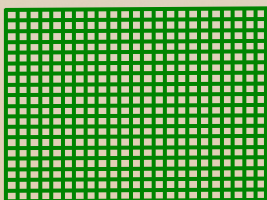
# La lumière spatialisée



# La définition d'image



$2 \times 2 = 4$  pixels



$23 \times 18 = 414$  pixels

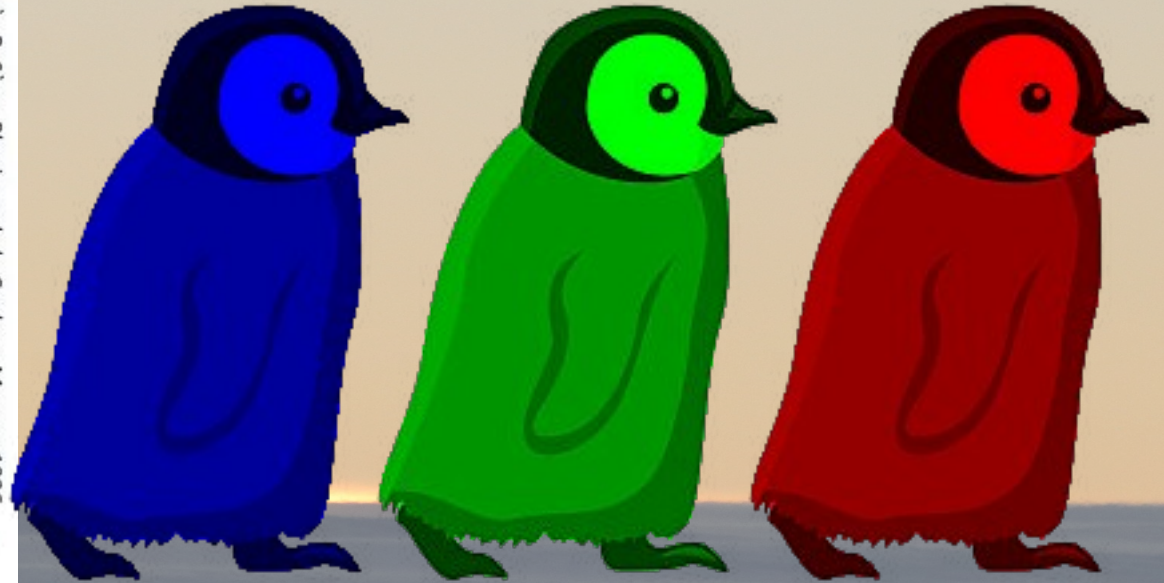
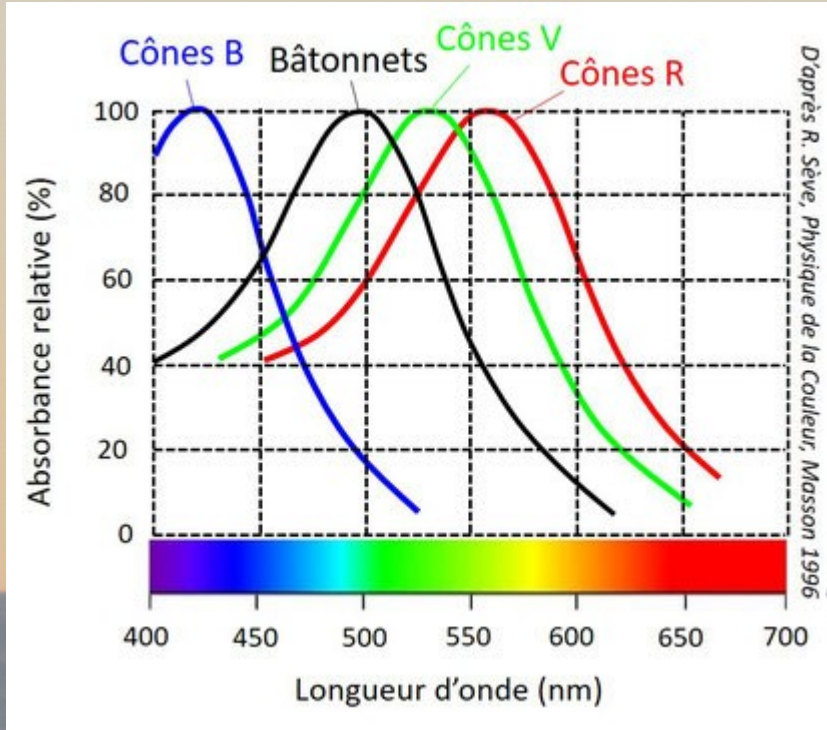


$6288 \times 4056 = 25\,504\,128$  pixels  
 $\approx 25,5$  Méga pixels

# La grandeur physique d'entrée ?

On mesure une quantité de lumière entre 400 nm et 800 nm  
sur chacun des photosites.

# Et avec un peu de couleurs ?



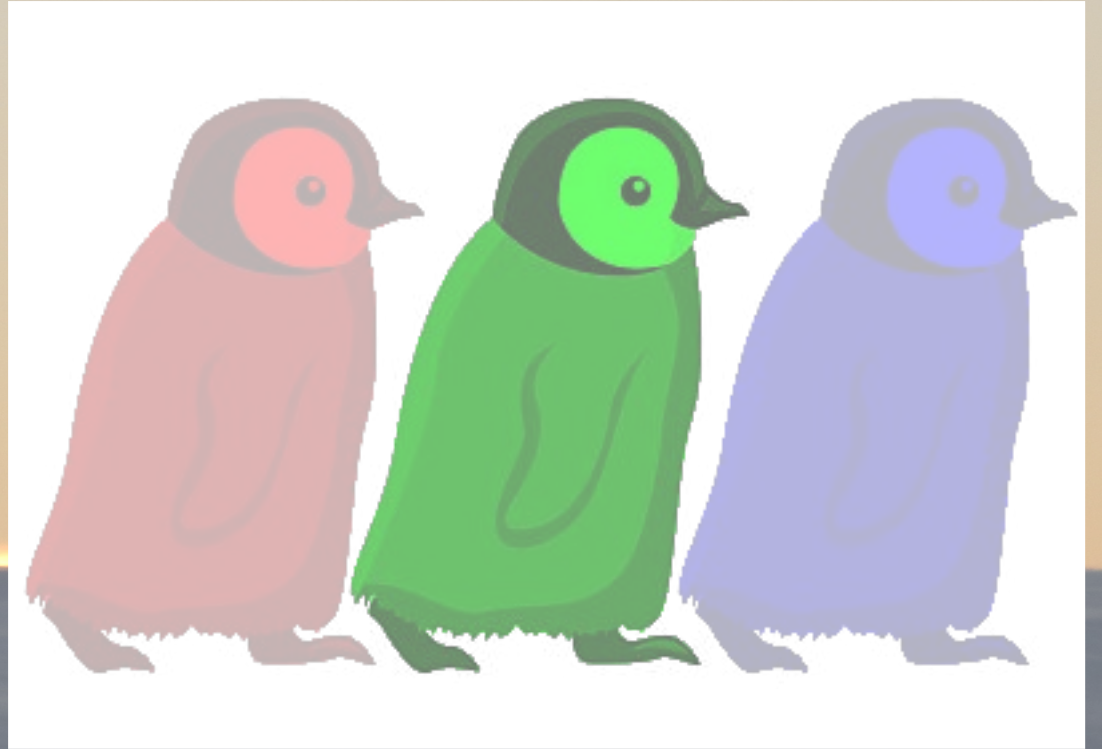
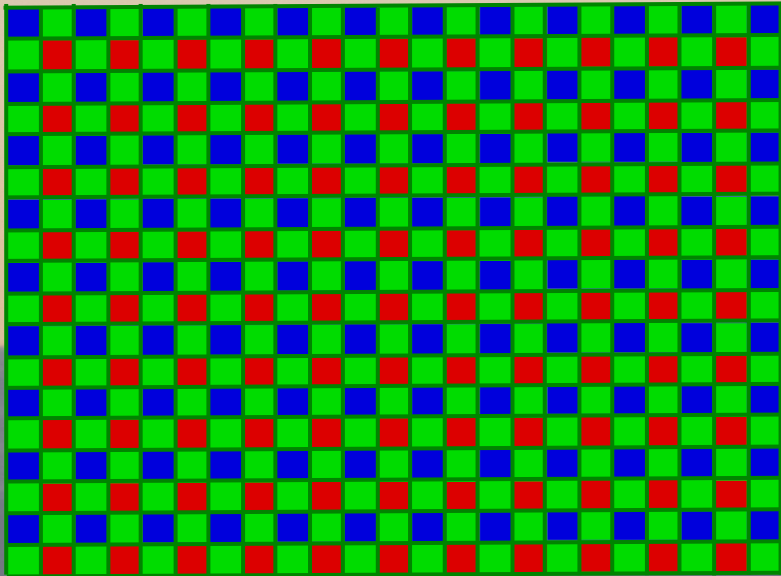
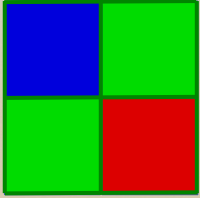
Vision photopique (de jour)



# Synthèse additive



# Matrice de Bayer

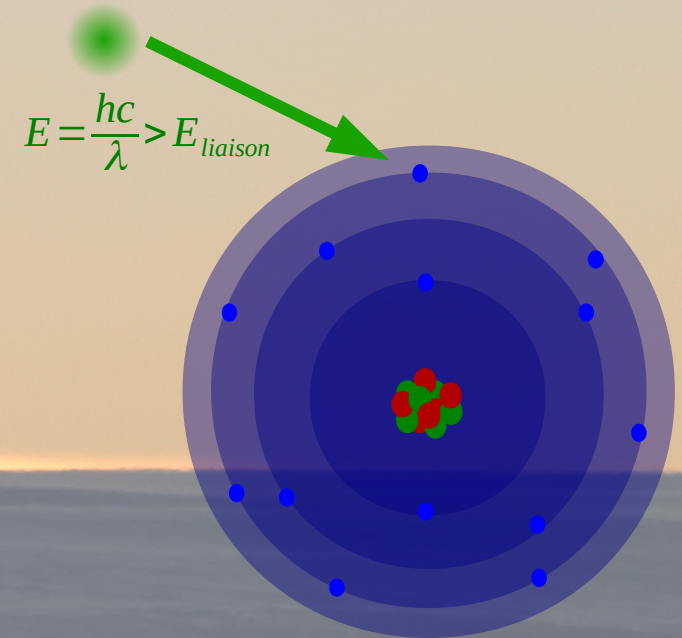
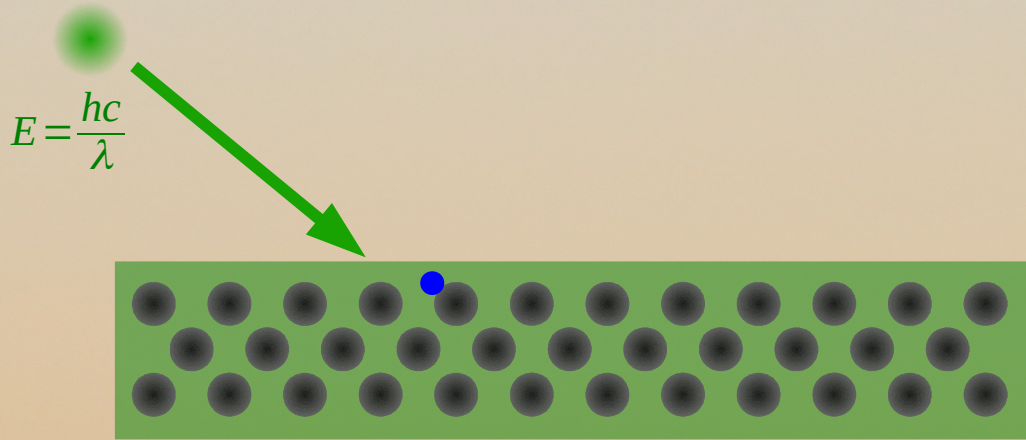


# La grandeur physique d'entrée ?

On mesure une quantité de lumière entre 400 nm et 800 nm  
séparée en trois canaux (trichromie) sur chacun des  
photosites.

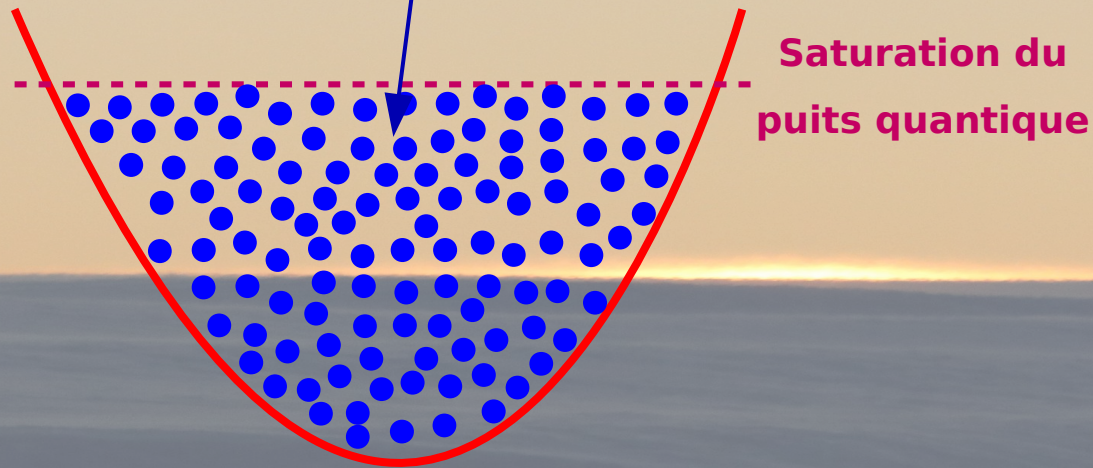
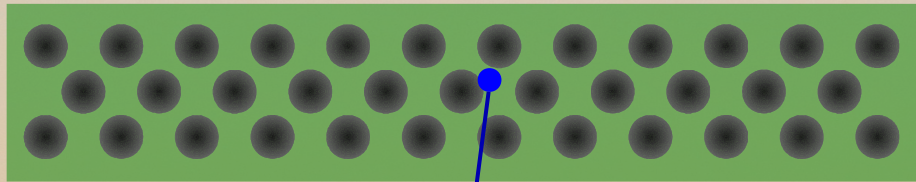
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 1 : effet photo-électrique



# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 2 : Le puits quantique

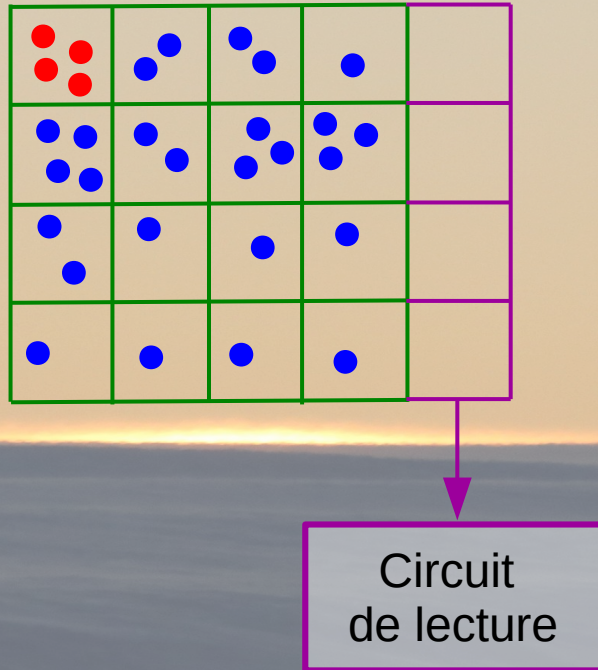


« Oupsi, j'ai saturé mes puits quantiques »



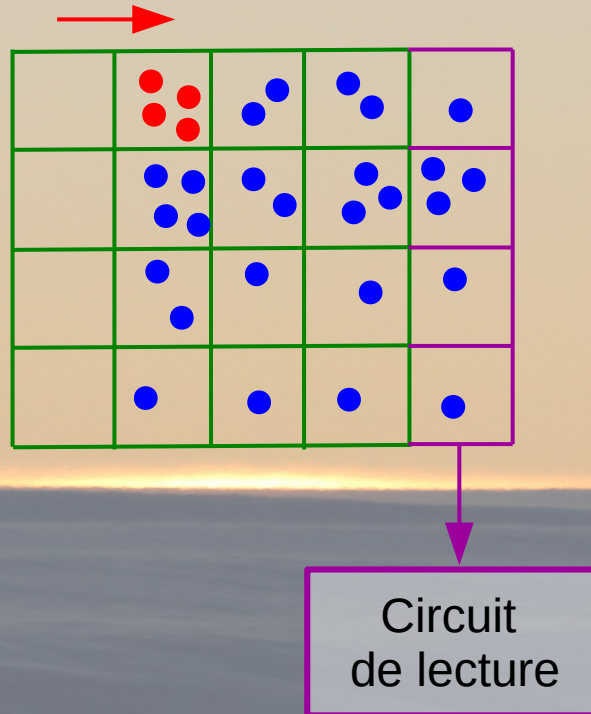
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 3 : Le transfert de charges



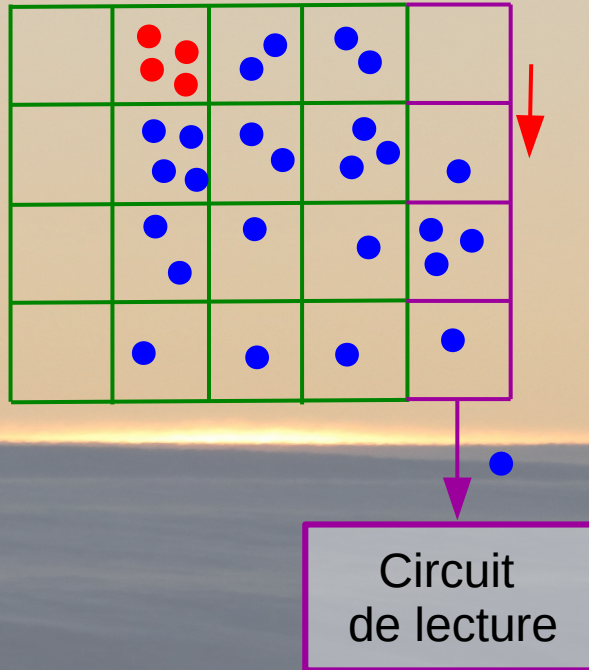
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 3 : Le transfert de charges



# Comment ça marche un capteur CCD ?

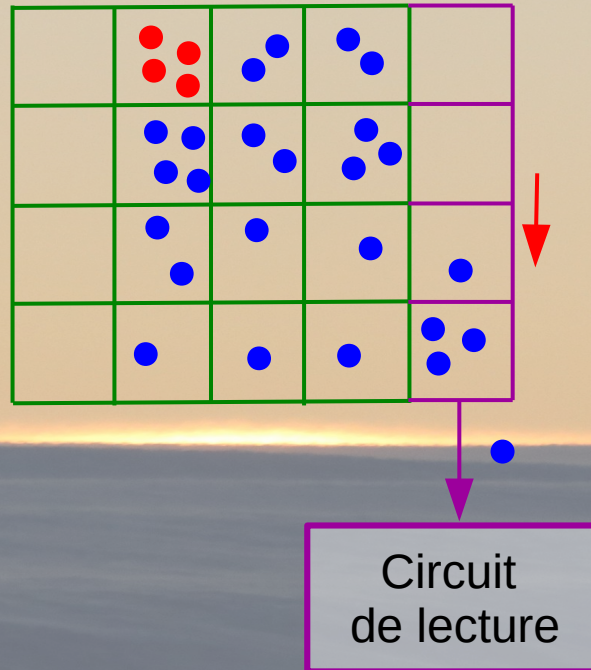
## Etape 3 : Le transfert de charges





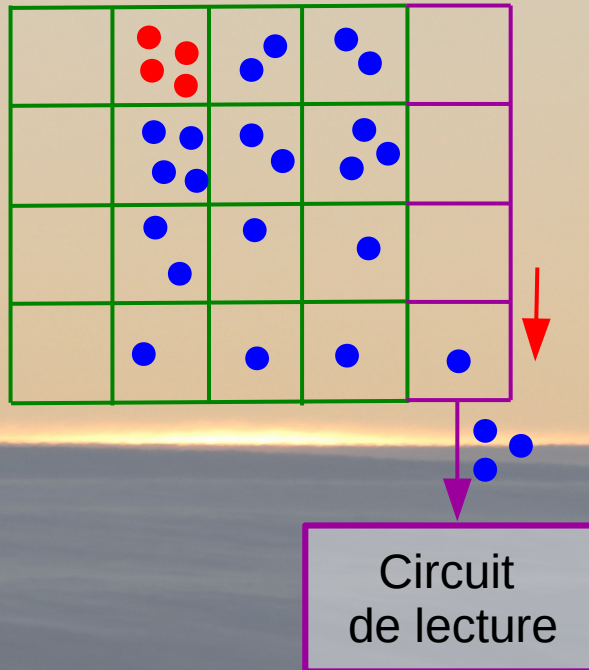
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 3 : Le transfert de charges



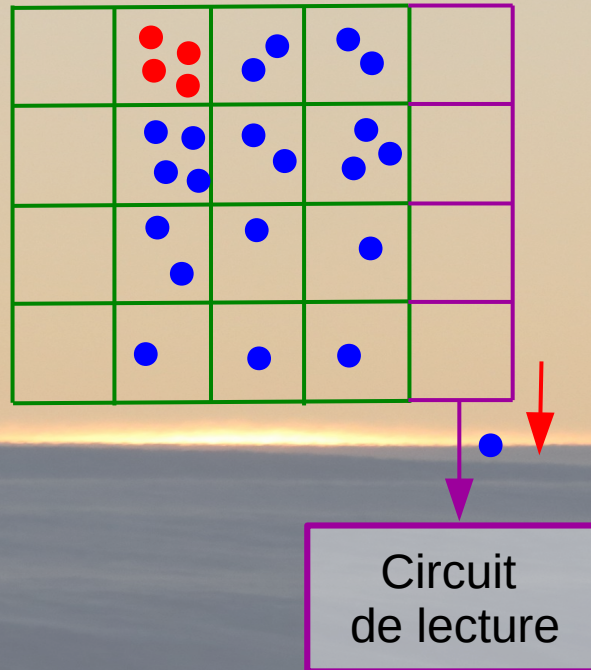
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 3 : Le transfert de charges



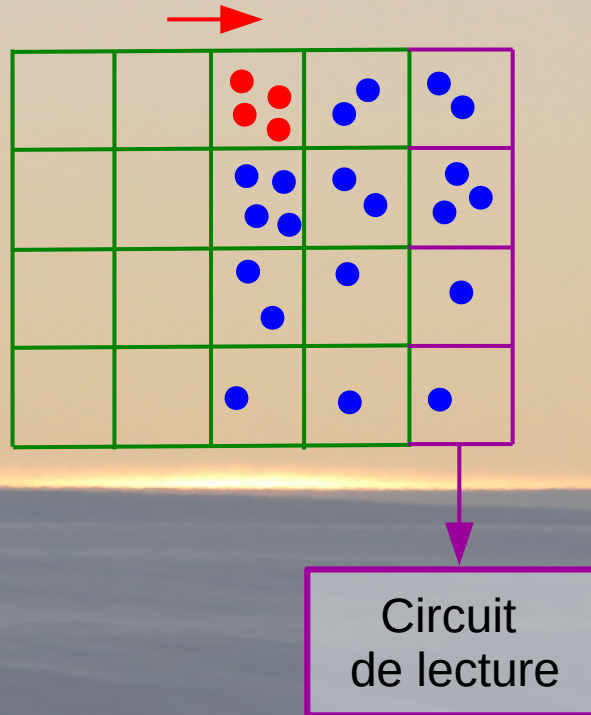
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 3 : Le transfert de charges



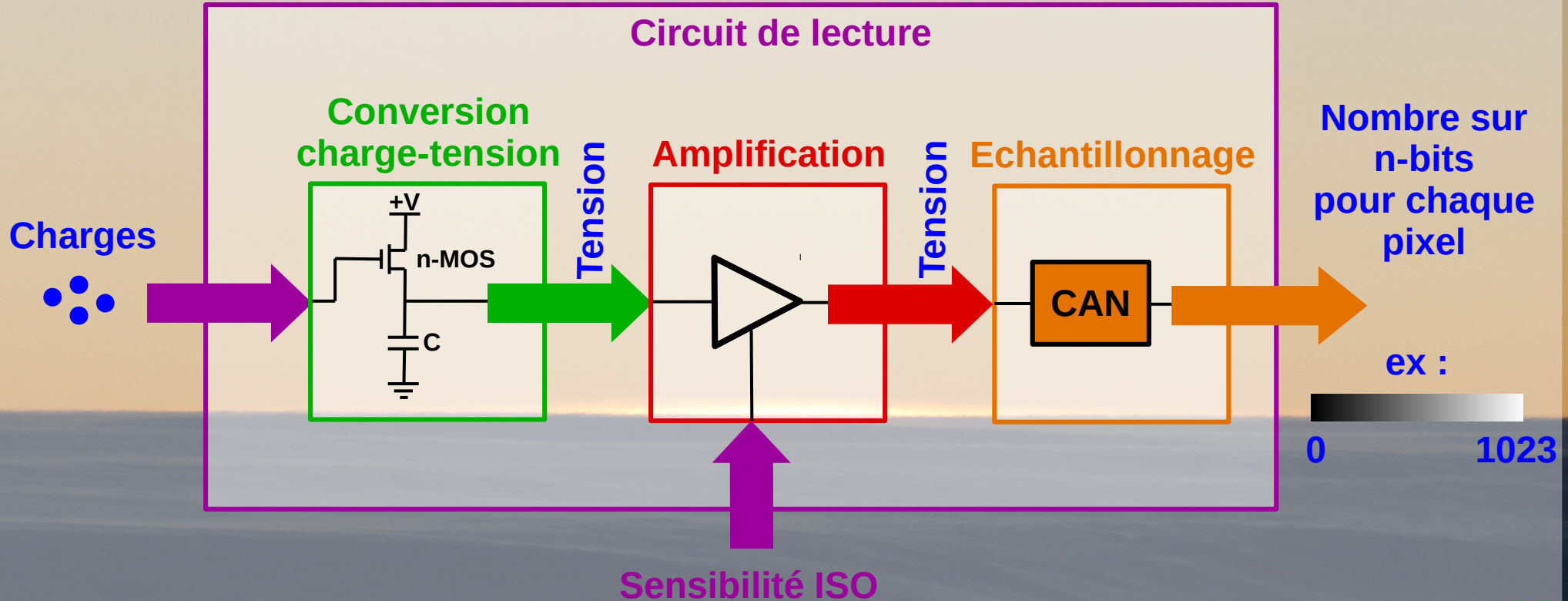
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 3 : Le transfert de charges



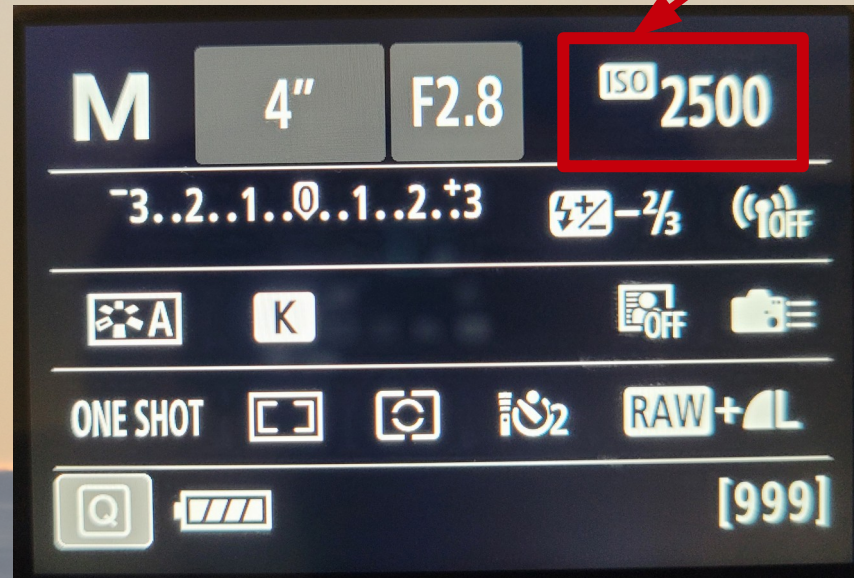
# Comment ça marche un capteur CCD ?

## Etape 4 : La conversion en image numérique



# La sensibilité ISO

C'est elle

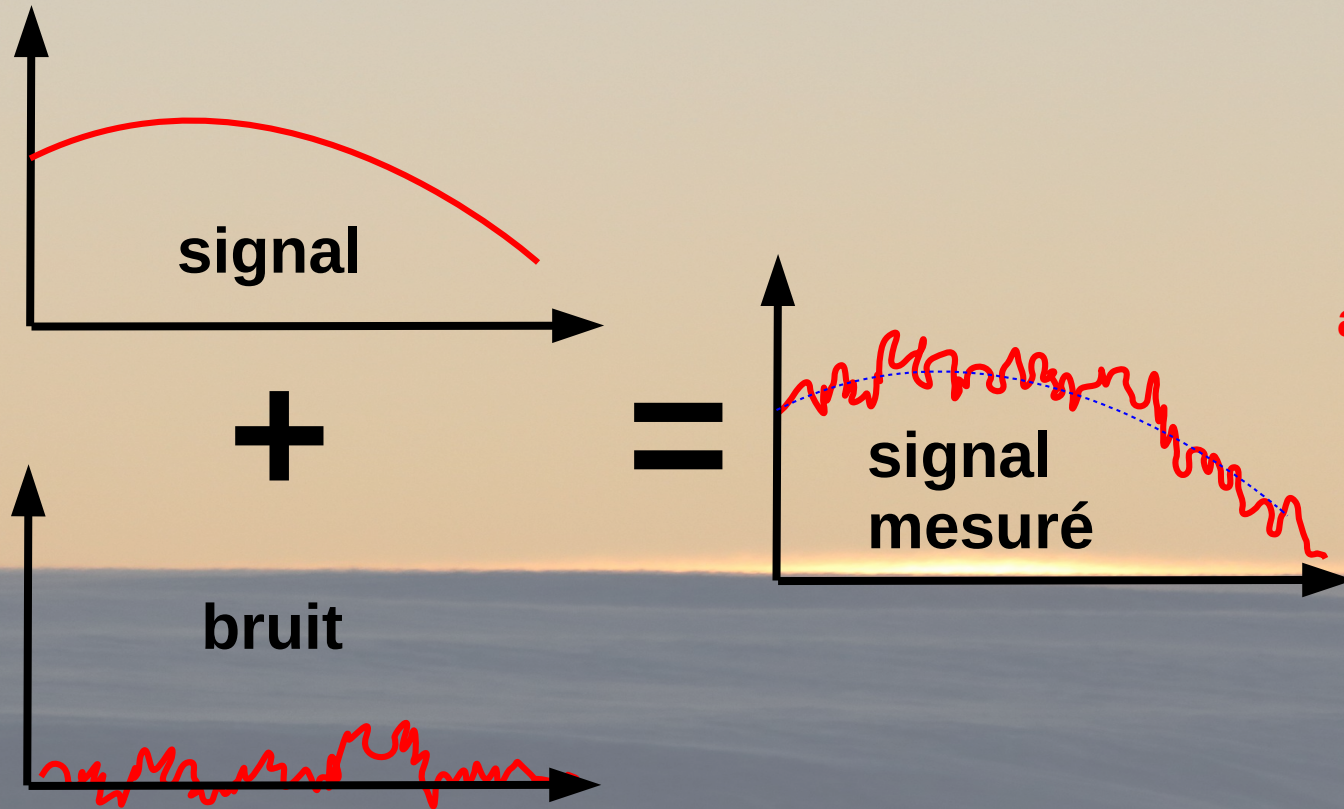


# La sensibilité ISO

- La sensibilité ISO correspond à la sensibilité du capteur
- Elle commande le gain d'amplification
- Attention, monter en ISO peut être intéressant, mais si on amplifie le signal, on amplifie aussi le bruit !
- Dès que c'est possible, il est intéressant de diminuer les ISO.
- Pour la première photo de l'Histoire, la sensibilité était de 10 ISO, aujourd'hui, certains boîtiers montent à 800 000 ISO

# Le bruit en photo

C'est quoi un bruit ?

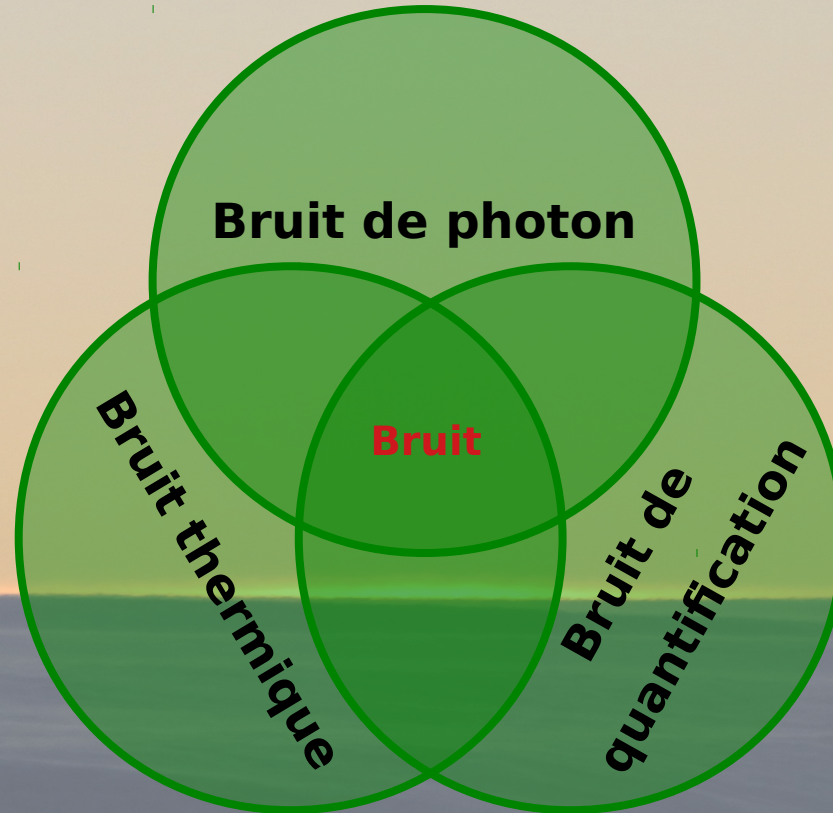


$$\frac{\text{signal}}{\text{bruit}} = \text{RSB} = \text{SNR}$$

aussi grand que possible

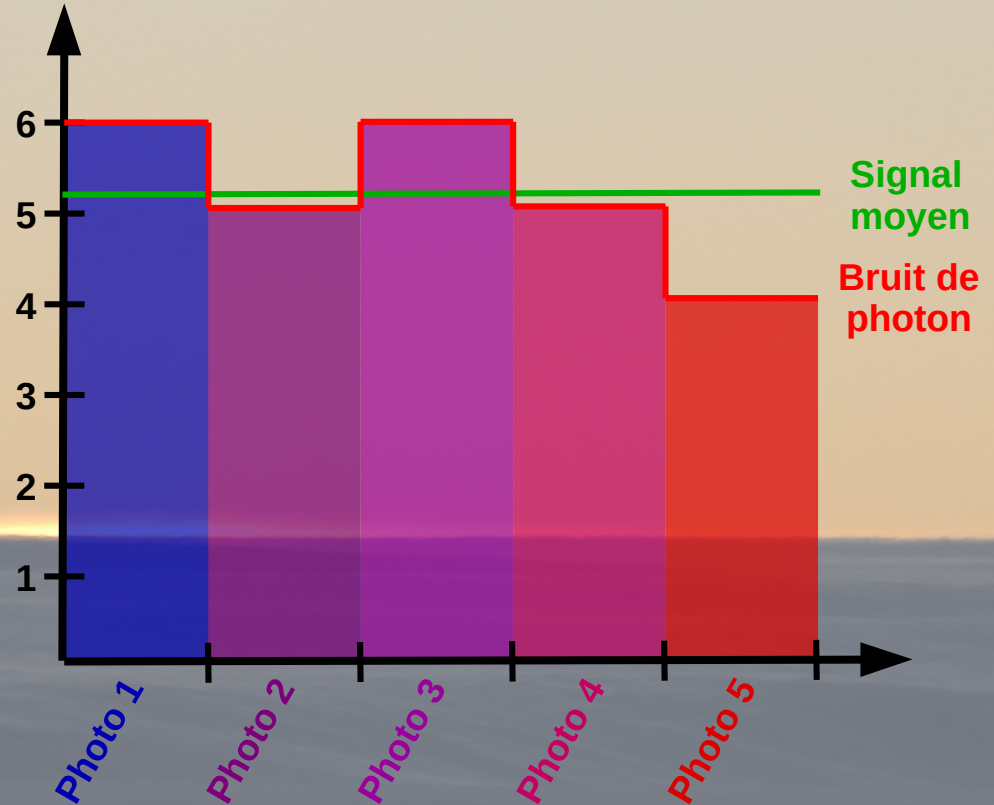
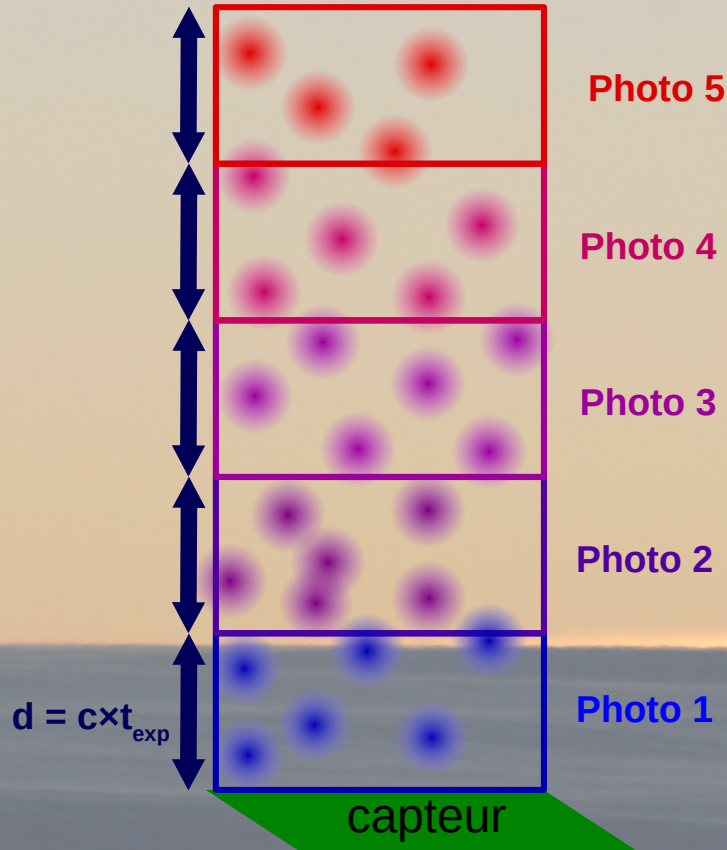


# Le bruit en photo





# Le bruit de photon





# Le bruit de photon

**Pour limiter son effet, il faut plus de photons :**

- plus gros photosites (astronomie)
- exposer plus longtemps



# Le bruit thermique (bruit Johnson)

« C'est quoi la température ? »

« un mouvement des particules (agitation thermique) »

« C'est quoi un courant électrique ? »

« un mouvement ordonné de particules chargées »

« Dans un appareil photo, il y a de l'électricité, et il fait chaud (plus que  $0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$ ). Il y a donc des électrons qui bougent à cause de la température et ça crée un bruit »

# Le bruit thermique (bruit Johnson)

« C'est quoi la température ? »

**Pour limiter son effet, il faut diminuer la température) :**

« C'est quoi un courant électrique ? »

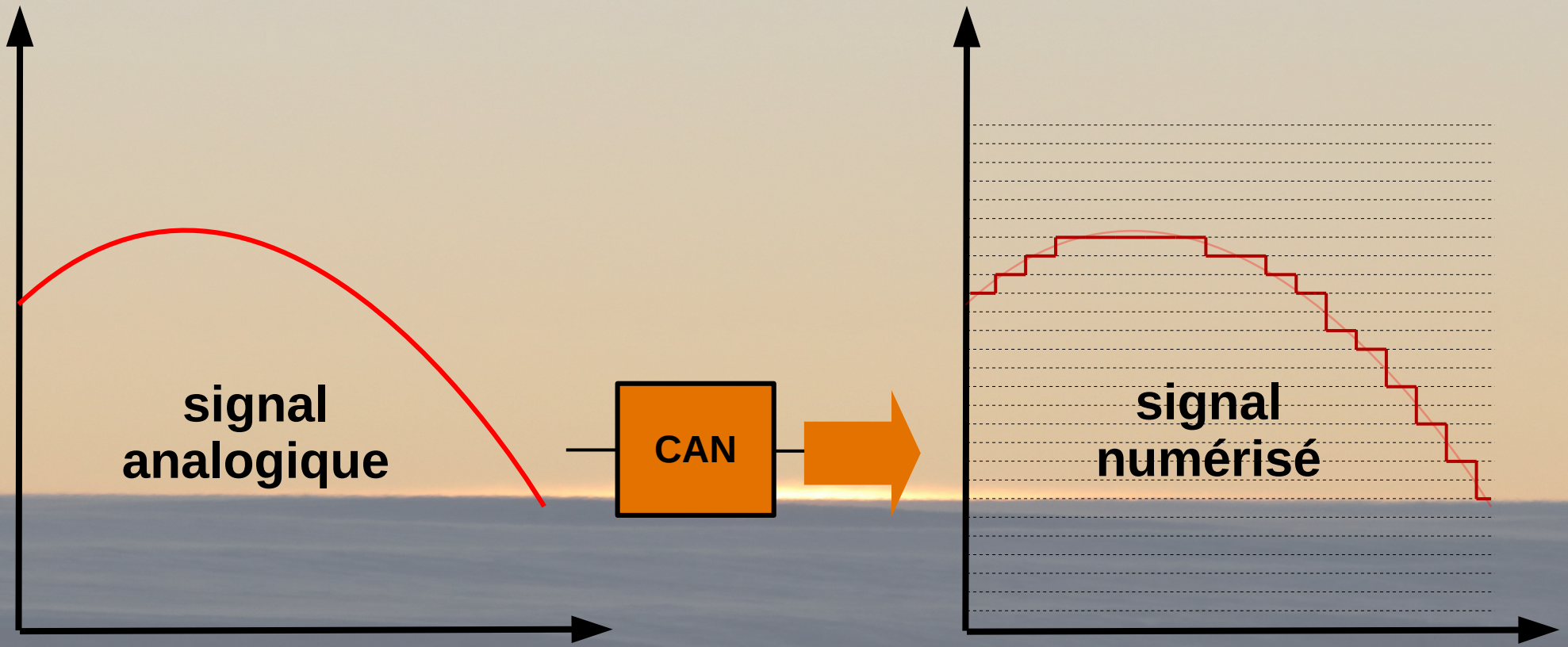
**- capteur refroidi** (un peu en visible, beaucoup en IR)

« un mouvement ordonné de particules chargées »

**Ici, en Antarctique, par  $-20^{\circ}\text{C}$ , on réduit de 14 % le**

« **bruit thermique par rapport à la métropole ( $20^{\circ}\text{C}$ )**  
(plus que  $0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$ ). Il y a donc des électrons qui bougent  
à cause de la température et ça crée un bruit »

# Le bruit de quantification



# Le bruit de quantification

**Pour limiter son effet, il faut :**

**- quantifier sur le plus de bits possible**

(8-10 en commercial)

**- exploiter toute la plage dynamique du capteur**

(sans saturer les puits quantiques)

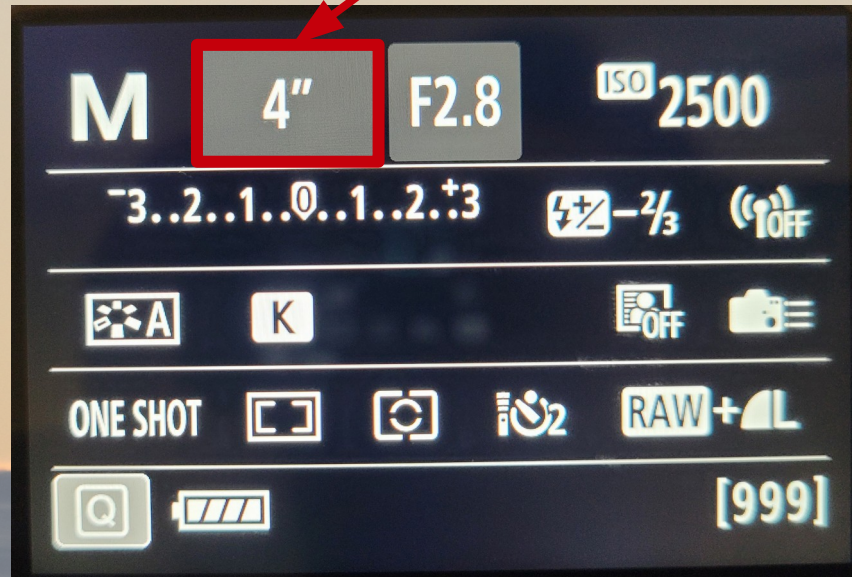
signal  
analogique



signal  
numérisé

# La durée d'exposition

C'est elle





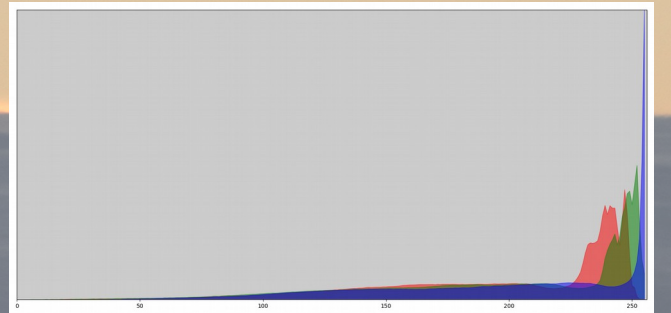
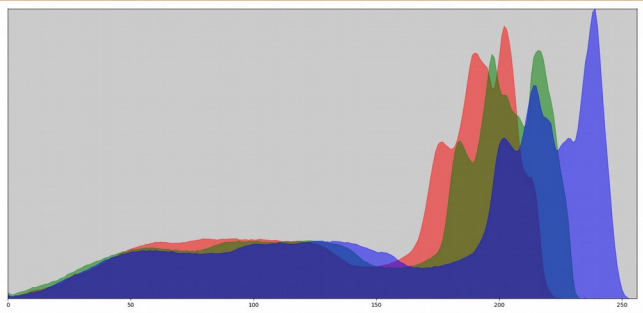
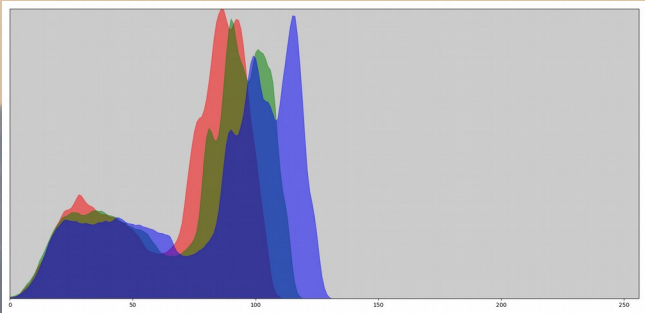
# La durée d'exposition

- Autrement appelé temps de pose, elle correspond au temps durant lequel le capteur est exposé à la lumière.
- Augmenter le temps de pose permet de capturer plus de lumière. Attention, il ne faut pas saturer les puits quantiques.
- Sur des sujets en mouvement, il est essentiel de diminuer le temps de pose pour ne pas qu'il y ait de flou de bouger.

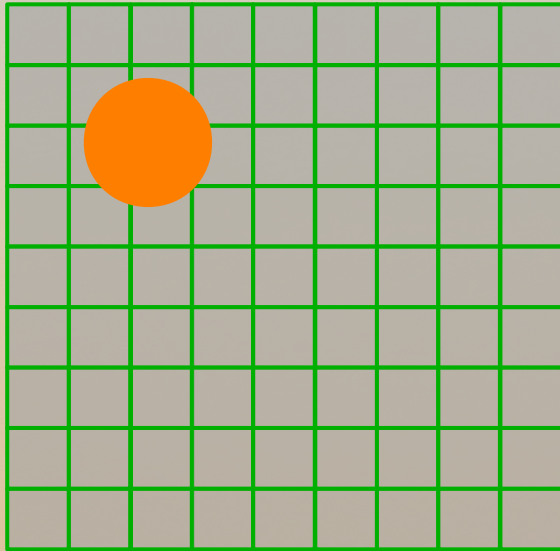
# La grandeur physique d'entrée ?

On mesure **la quantité totale** de lumière (entre 400 nm et 800 nm) séparée en trois canaux (trichromie) sur chacun des photosites, **reçue sur la durée d'exposition.**

# Histogramme

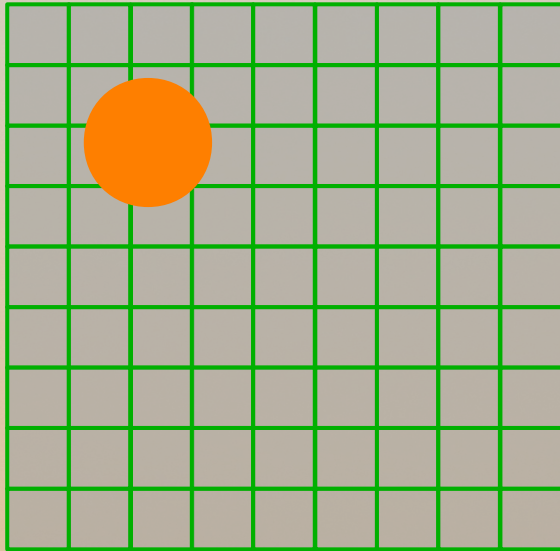


# Flou de bouger

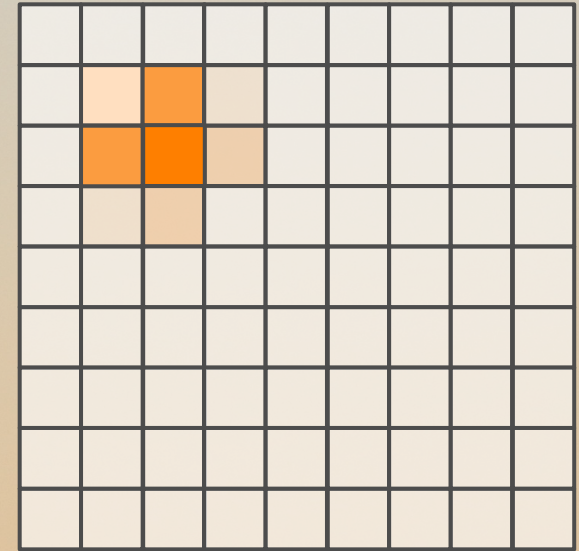


capteur

# Flou de bouger

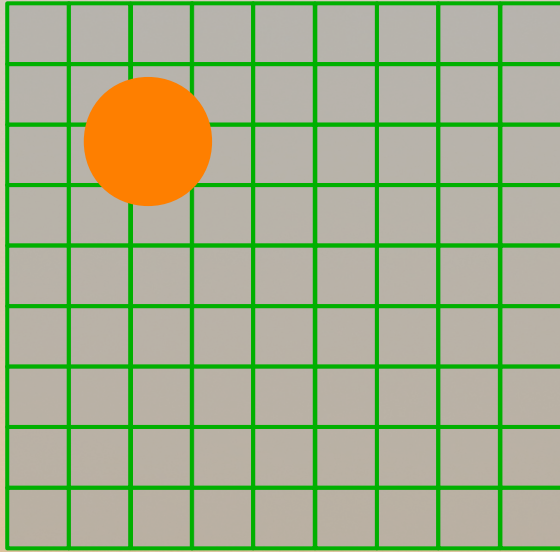


capteur



IM\_0001.JPEG

# Flou de bouger

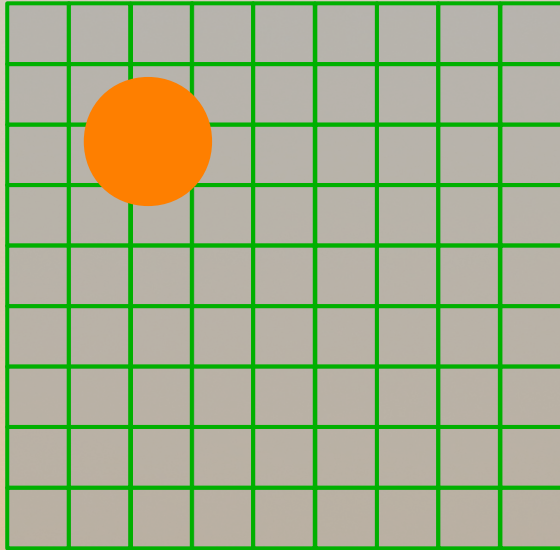


capteur



Obturbateur  
fermé

# Flou de bouger

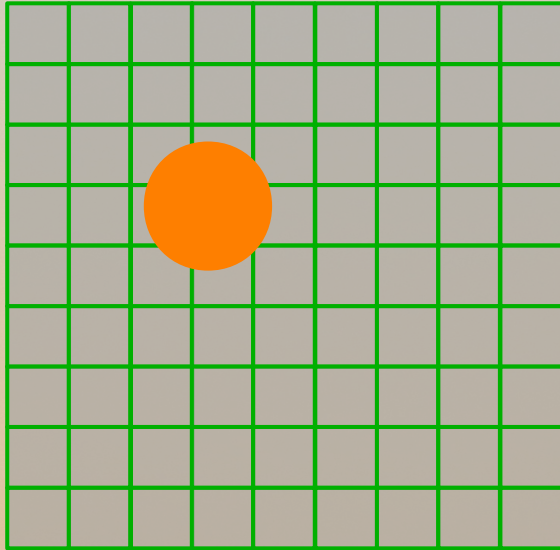


capteur



Obturbateur  
ouvert

# Flou de bouger



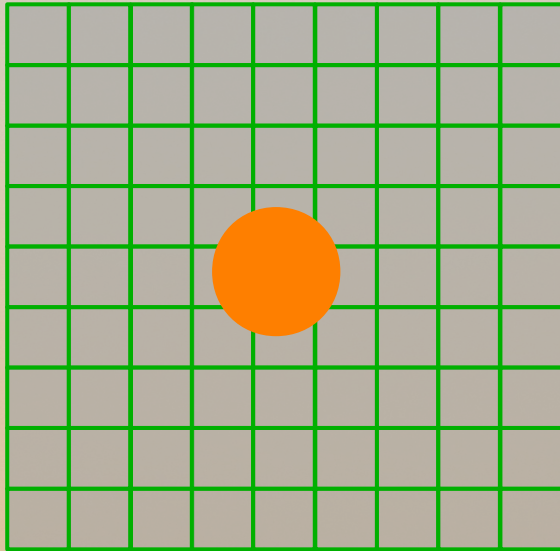
capteur



Obturbateur  
ouvert



# Flou de bouger

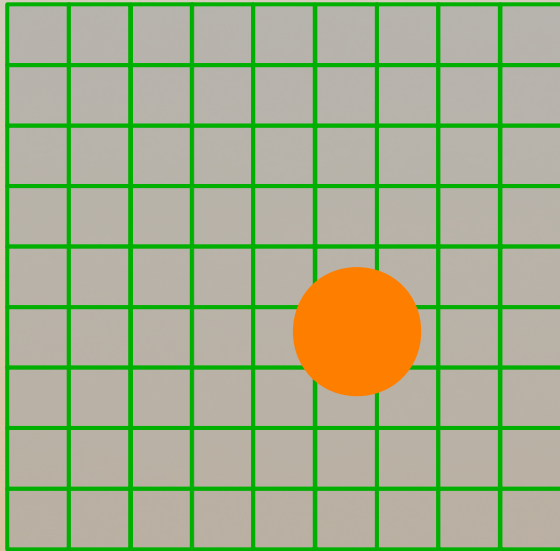


capteur



Obturbateur  
ouvert

# Flou de bouger

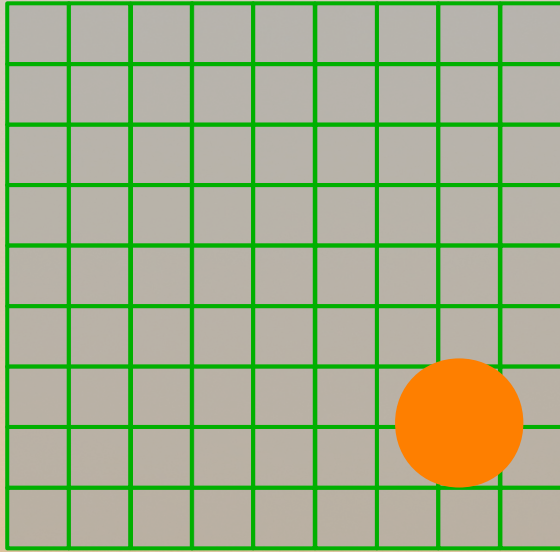


capteur



Obturbateur  
ouvert

# Flou de bouger

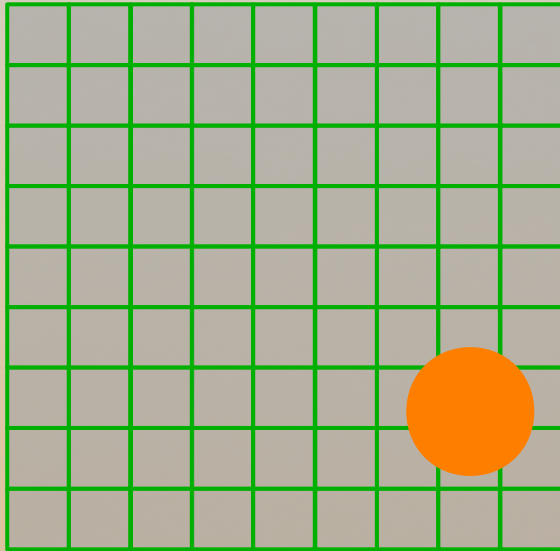


capteur

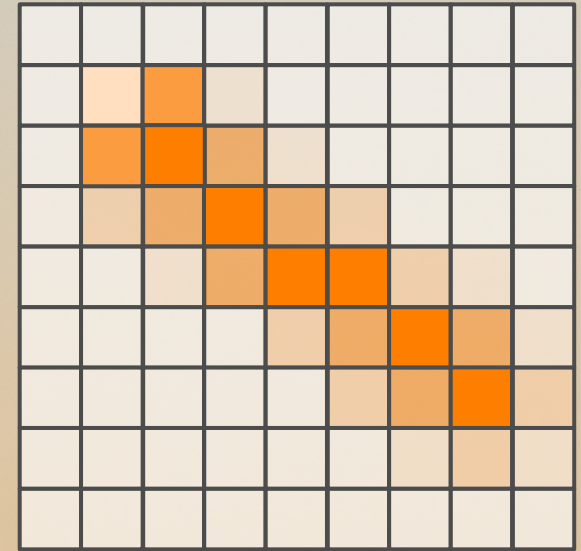


Obturbateur  
ouvert

# Flou de bouger



capteur

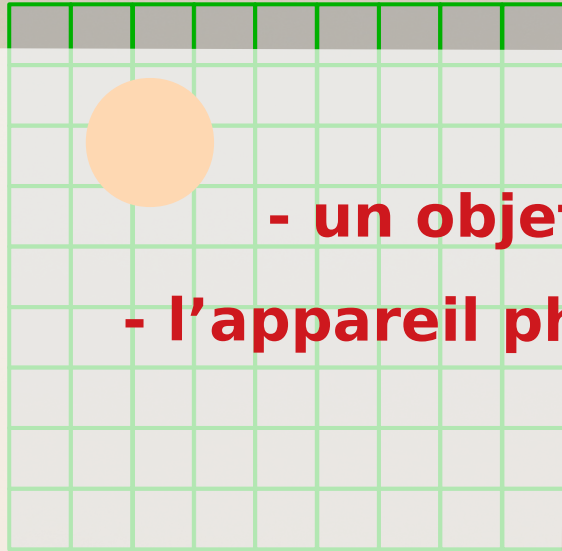


IM\_0001.JPEG



Obturbateur  
fermé

# Flou de bouger



- Deux causes :**
- un objet en mouvement dans le champ
  - l'appareil photo qui bouge au cours de la photo



**Pour limiter son effet :**

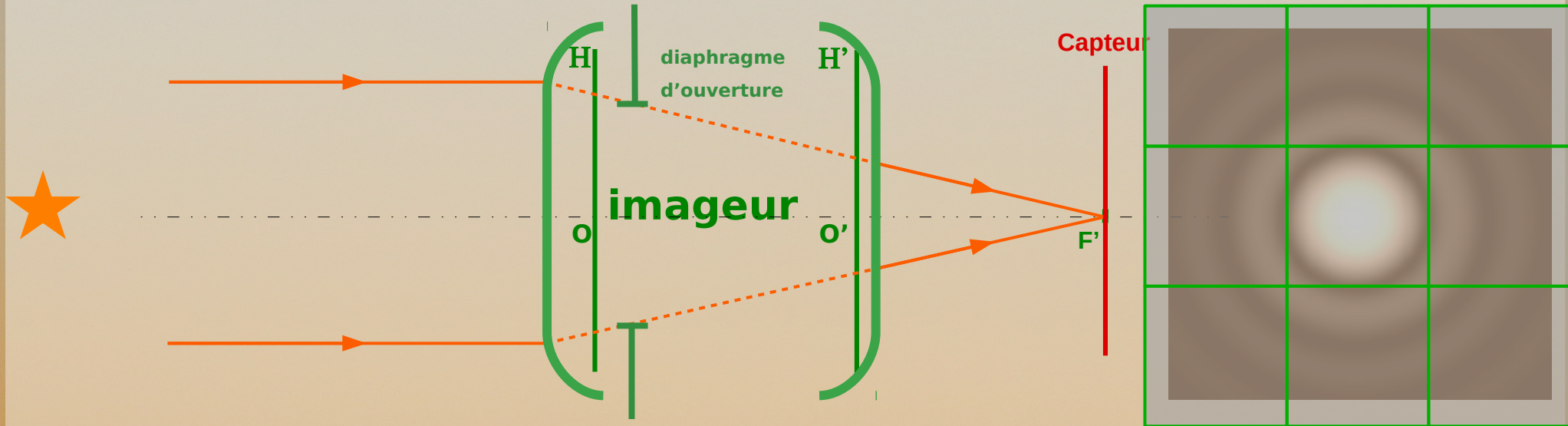
- Diminuer la durée d'exposition
- Utiliser un trépied pour les pauses longues (>1/20'')



Obturbateur  
fermé

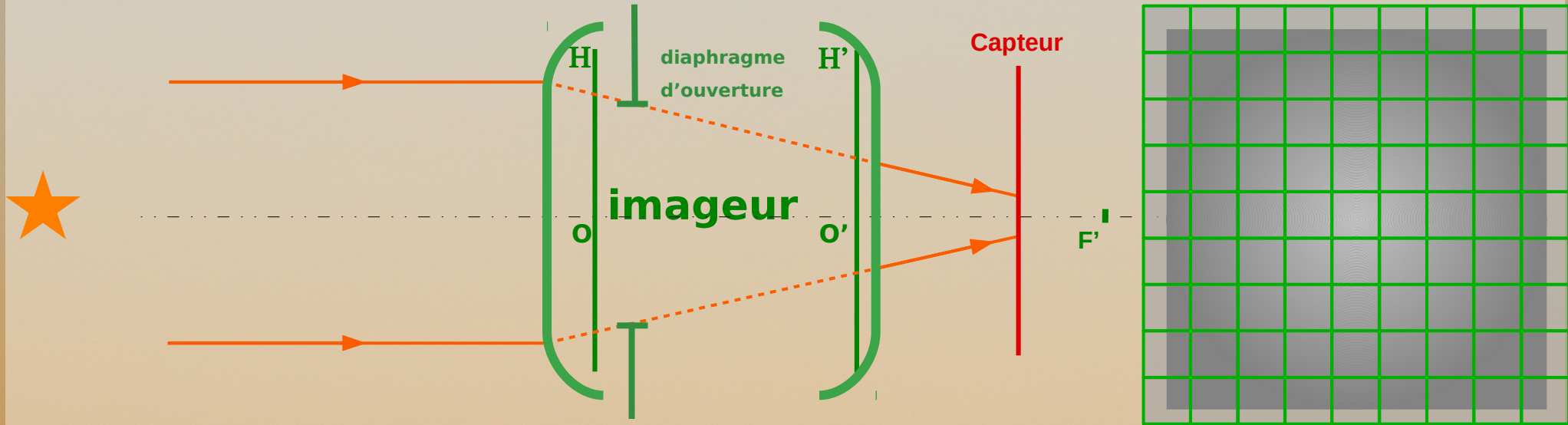
IM\_0001.JPEG

# C'est quoi, une image nette ?



**La taille d'un photosite doit être similaire au diamètre de la PSF  
(Tache d'Airy en limite de diffraction)**

# C'est quoi, une image floue ?



**L'image d'un objet ponctuel est plus grande qu'un photosite**

## Et la profondeur de champ ?



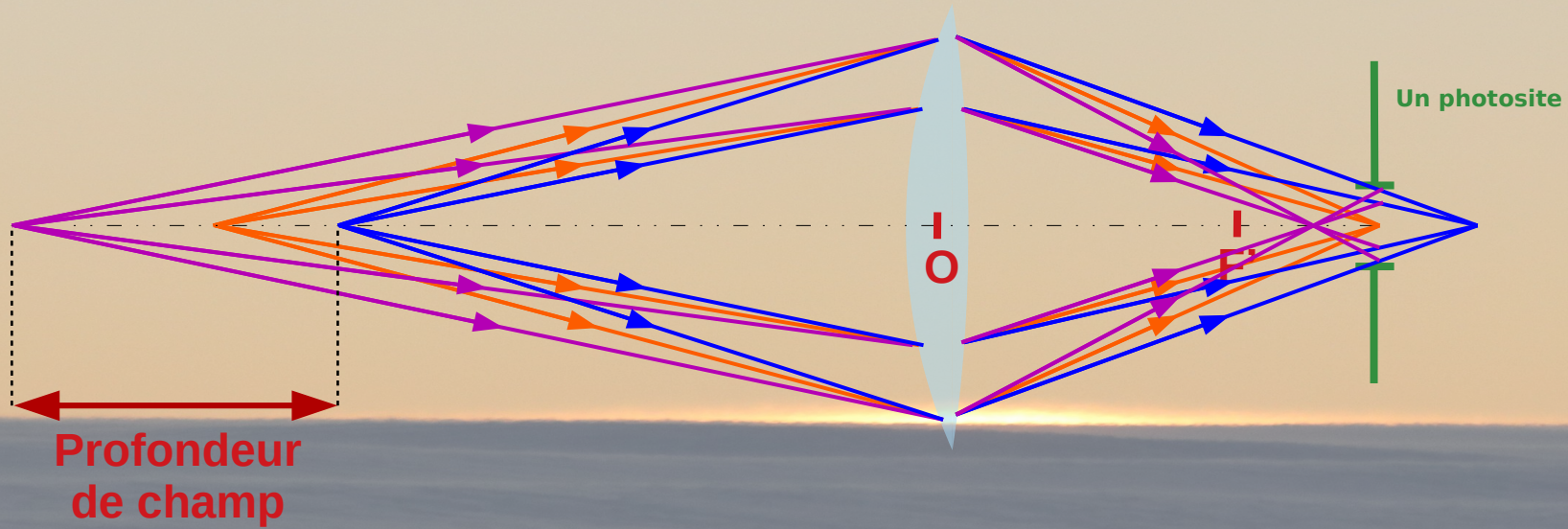
**Grande profondeur de champ**



**Faible profondeur de champ**



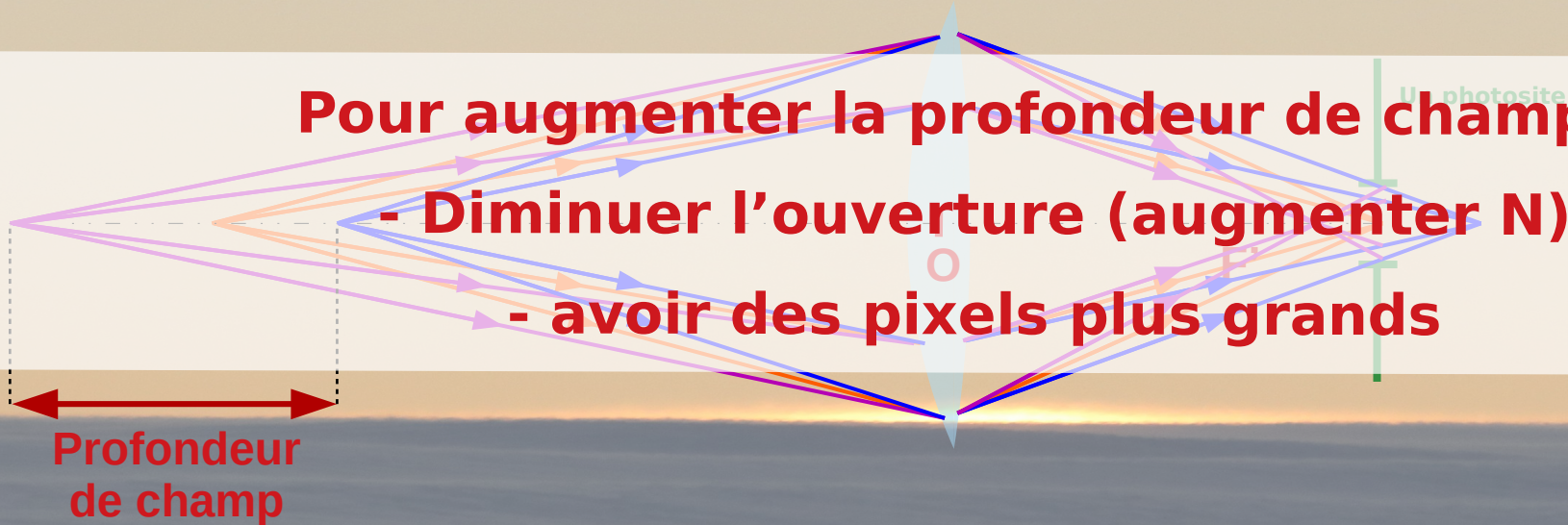
# Et la profondeur de champ ?



# Et la profondeur de champ ?

Pour augmenter la profondeur de champ :

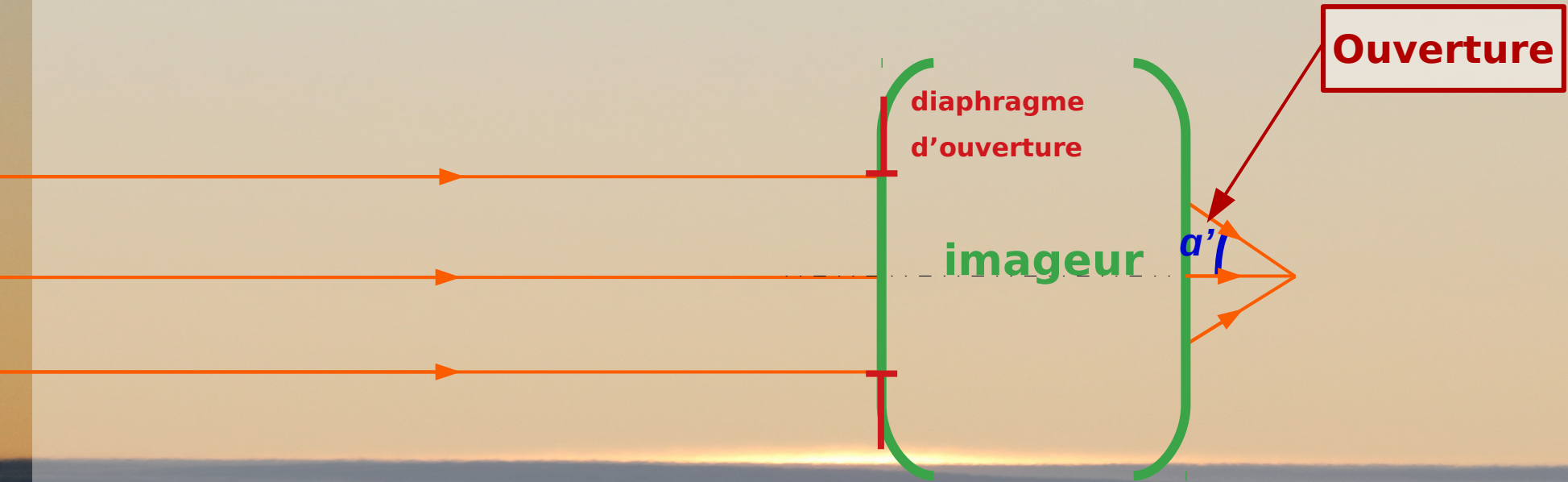
- Diminuer l'ouverture (augmenter N)
- avoir des pixels plus grands



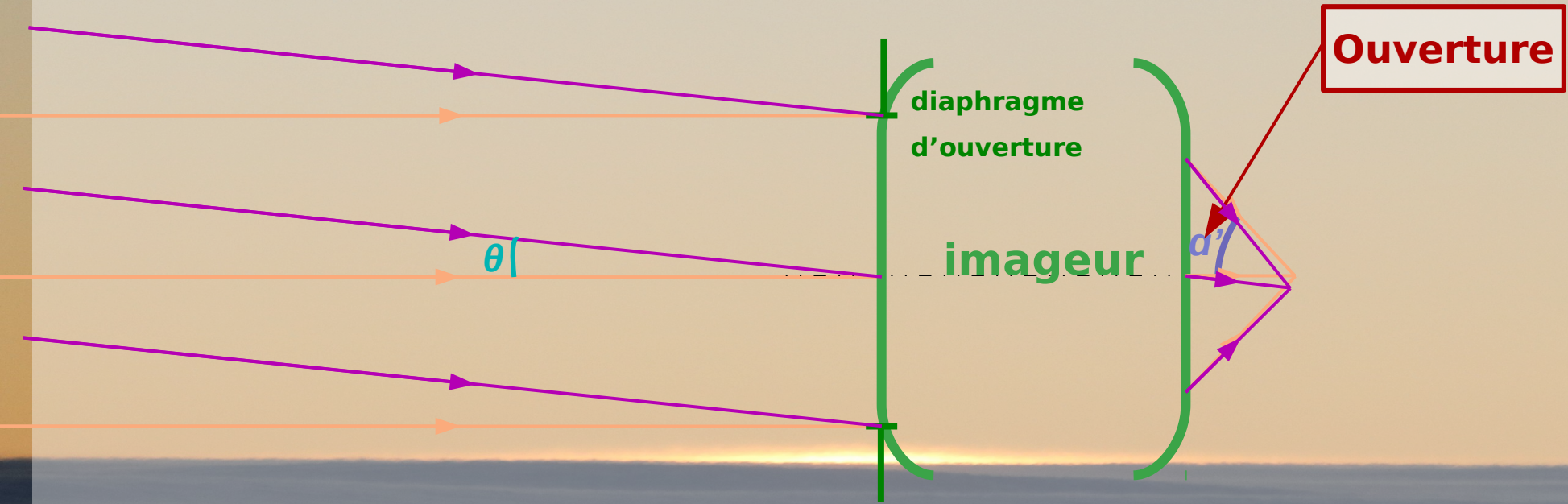
# On résume tout ça ?



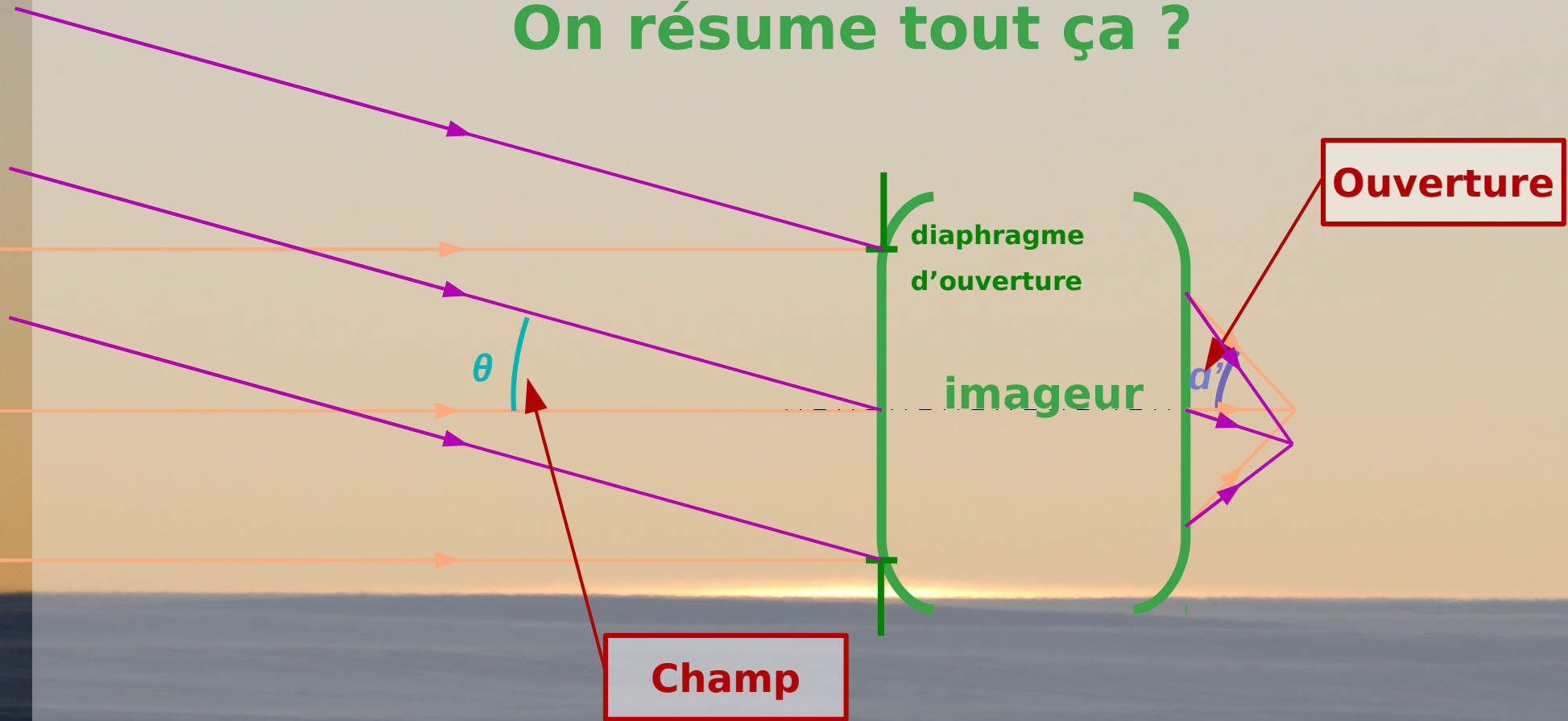
# On résume tout ça ?



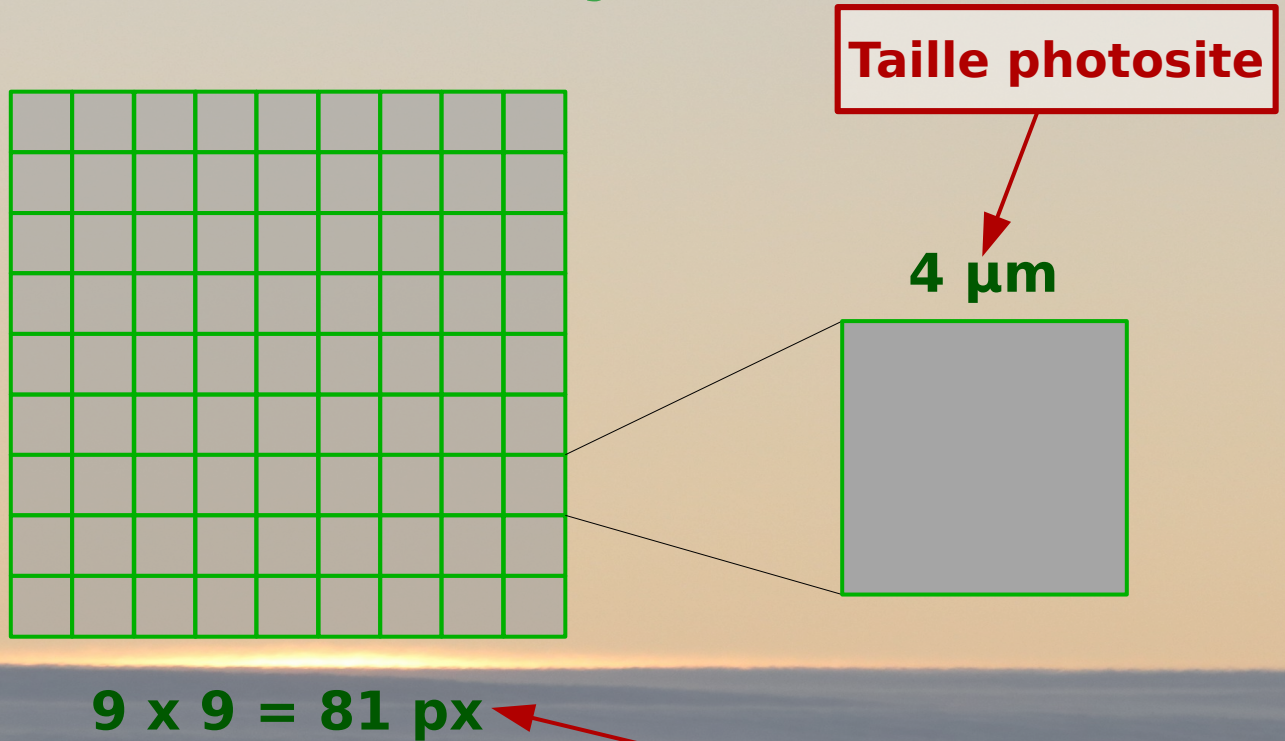
# On résume tout ça ?



# On résume tout ça ?



# On résume tout ça ?



$9 \times 9 = 81 \text{ px}$

Définition d'image

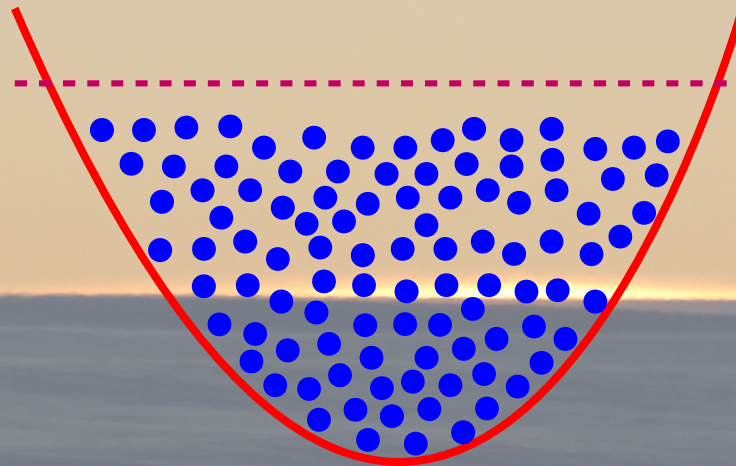
# On résume tout ça ?



**Durée d'exposition**

**ou**

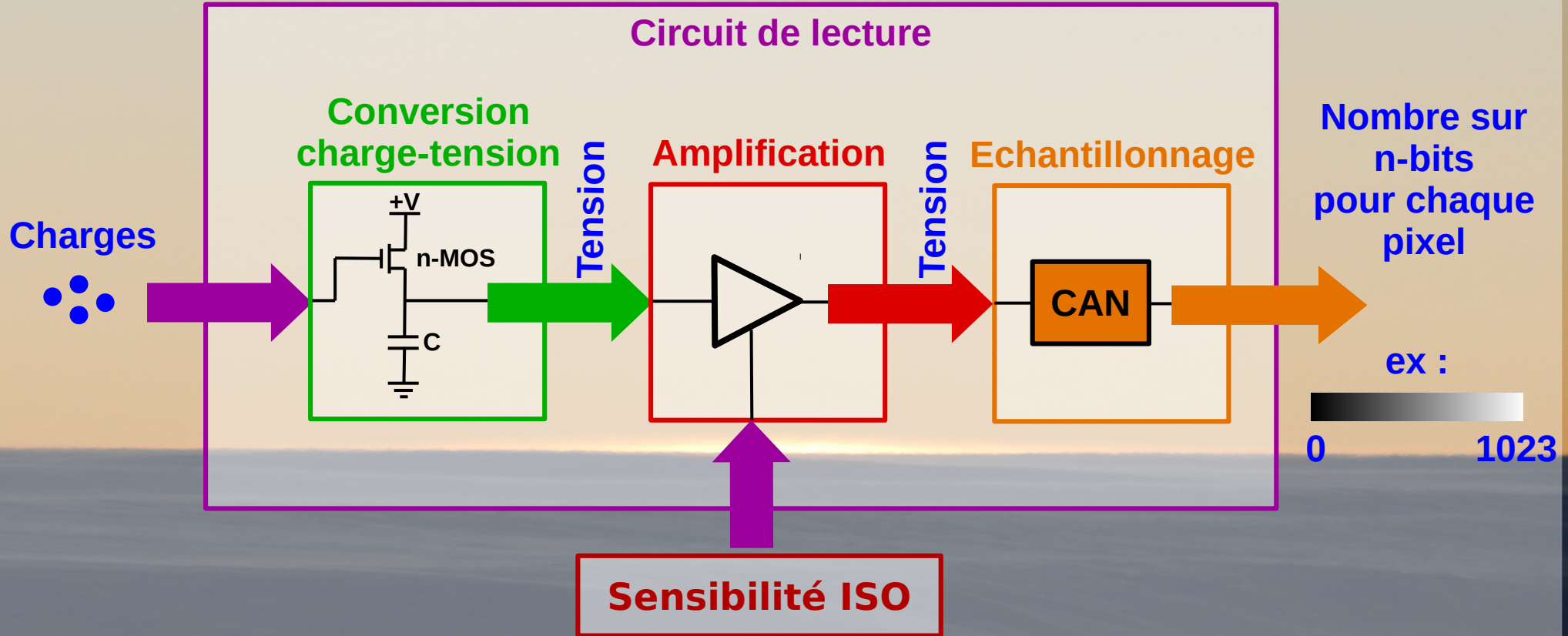
**Temps de pose**



**Saturation du  
puits quantique**



# On résume tout ça ?



# Un petit tableau

	Niveau d'exposition	Champ	Profondeur de champ	Bruit	Flou de bouger
Ouverture [N]	↘	-	↗	-	-
Durée d'exposition [t]	↗	-	-	↗	↗
Sensibilité ISO [S]	↗	-	-	↗	-
Focale [f']	-	↘	-	-	↗
Taille pixels [p]	-	-	↗	↘	↘

# Quelques cas pratiques ?

## Le paysage



**Grande profondeur de champ**



**Ouverture moyenne à faible**



**Monter en temps  
d'exposition**

**Monter en ISO**



**Besoin de stabilité**



**Trépied**

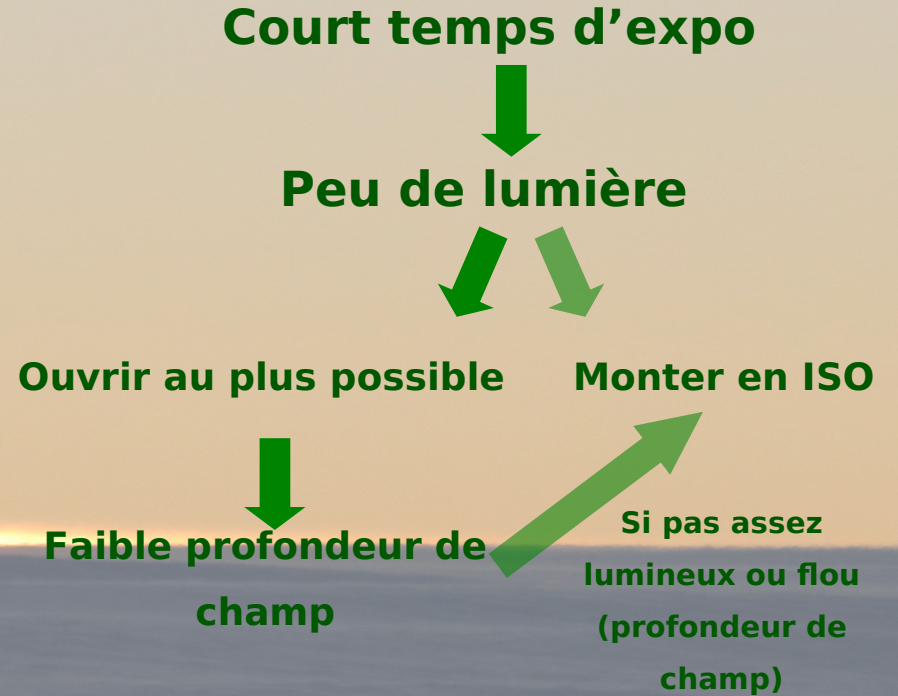
**Main levée**



**Flou de bouger  
ou manque de  
lumière**

# Quelques cas pratiques ?

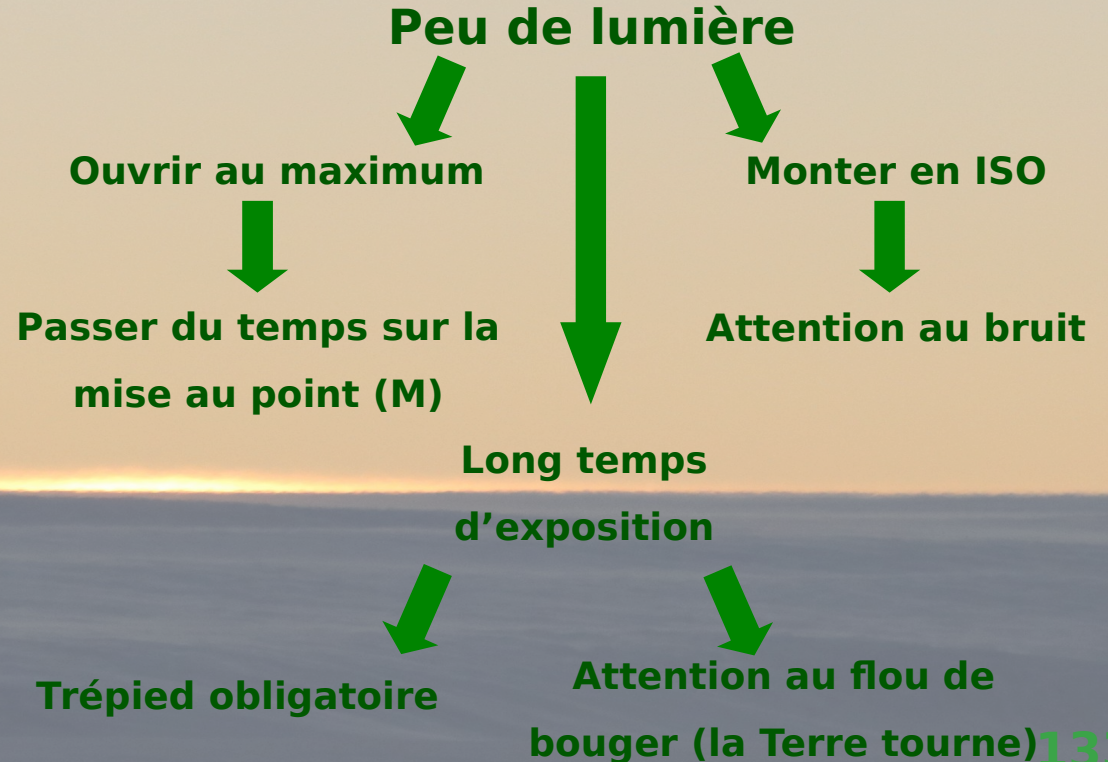
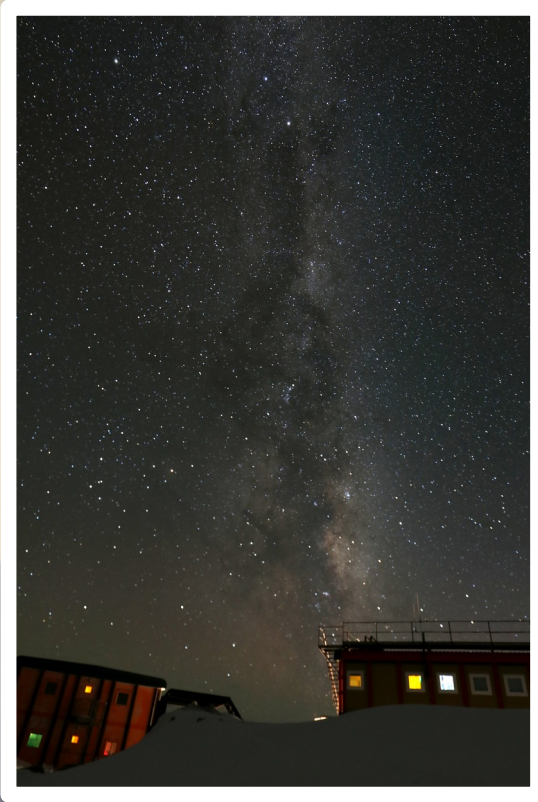
## Le sujet en mouvement



**Bien maîtriser ses fonctions d'autofocus !**

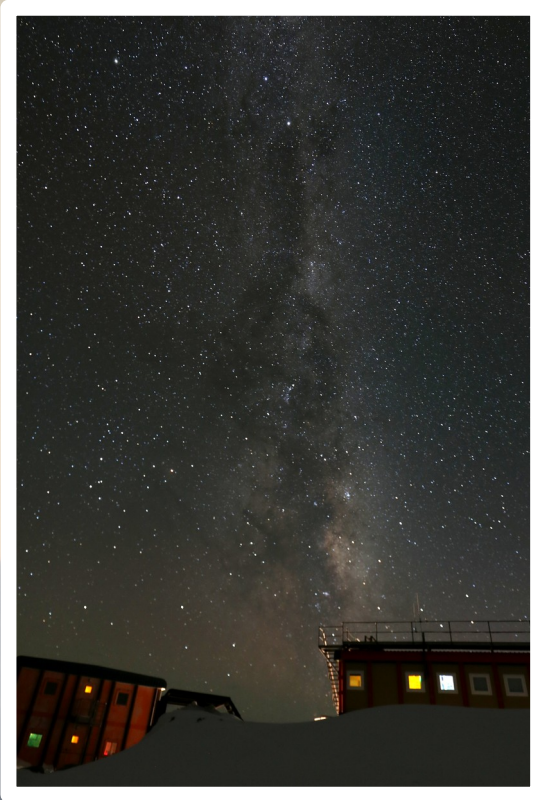
# Quelques cas pratiques ?

## Les étoiles



# Quelques cas pratiques ?

## Les étoiles



Peu de lumière

La règle des 500

Pour photographier les étoiles, il faut que le temps d'exposition soit inférieur à **500 / focale**

ex : objectif 50 mm  
 $500 / 50 = 10 \text{ sec}$

Trépied obligatoire

Attention au flou de bouger (la Terre tourne)