

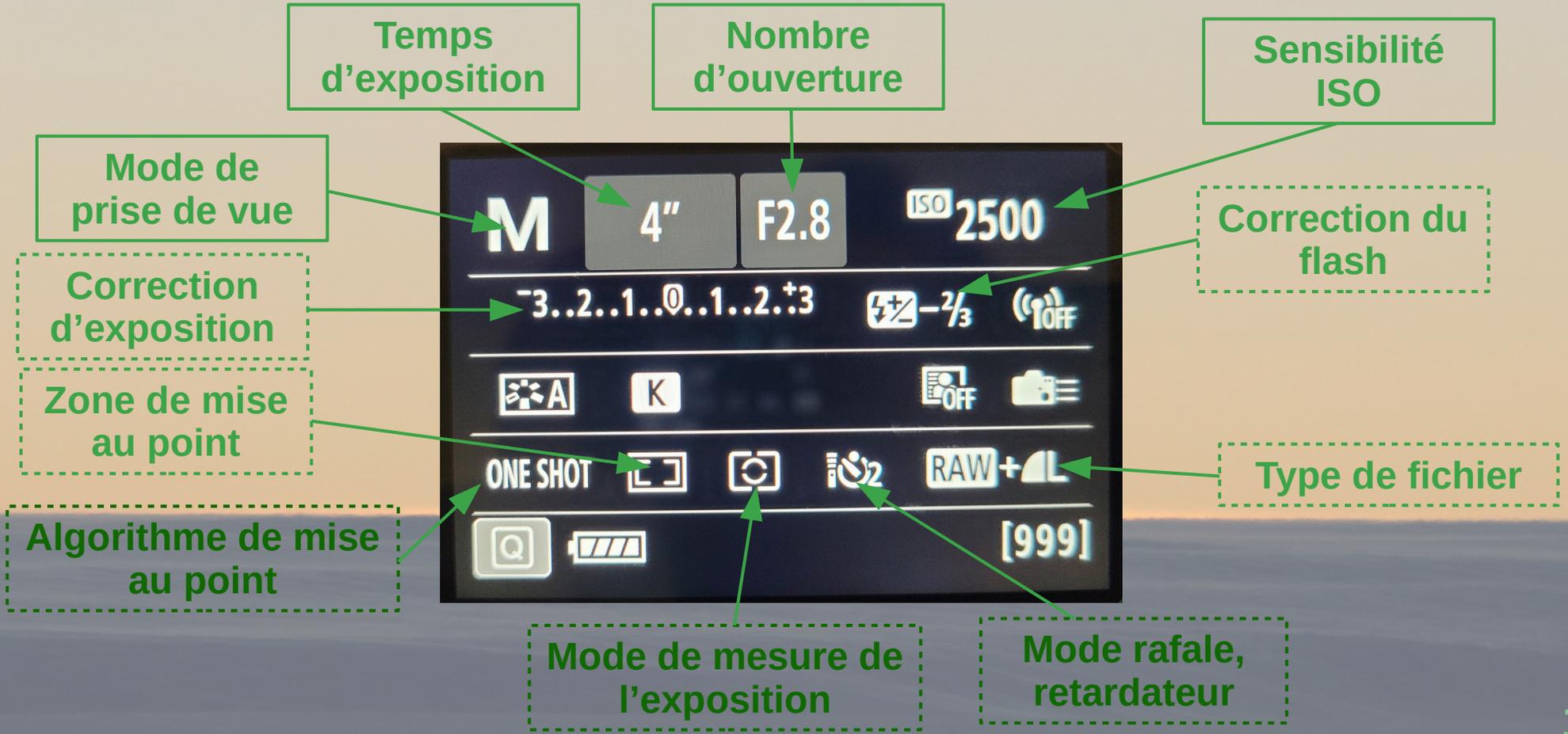
Jeudi de la connaissance

LA PHOTOGRAPHIE

Introduction



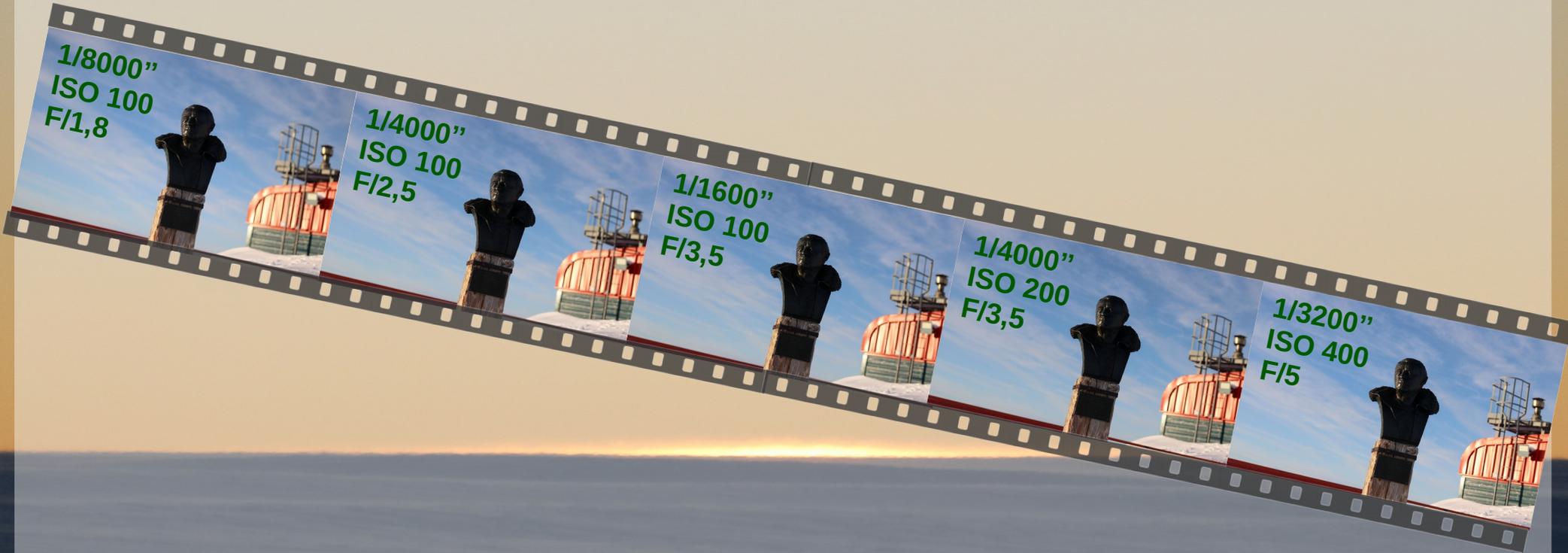
Introduction



Introduction



Introduction



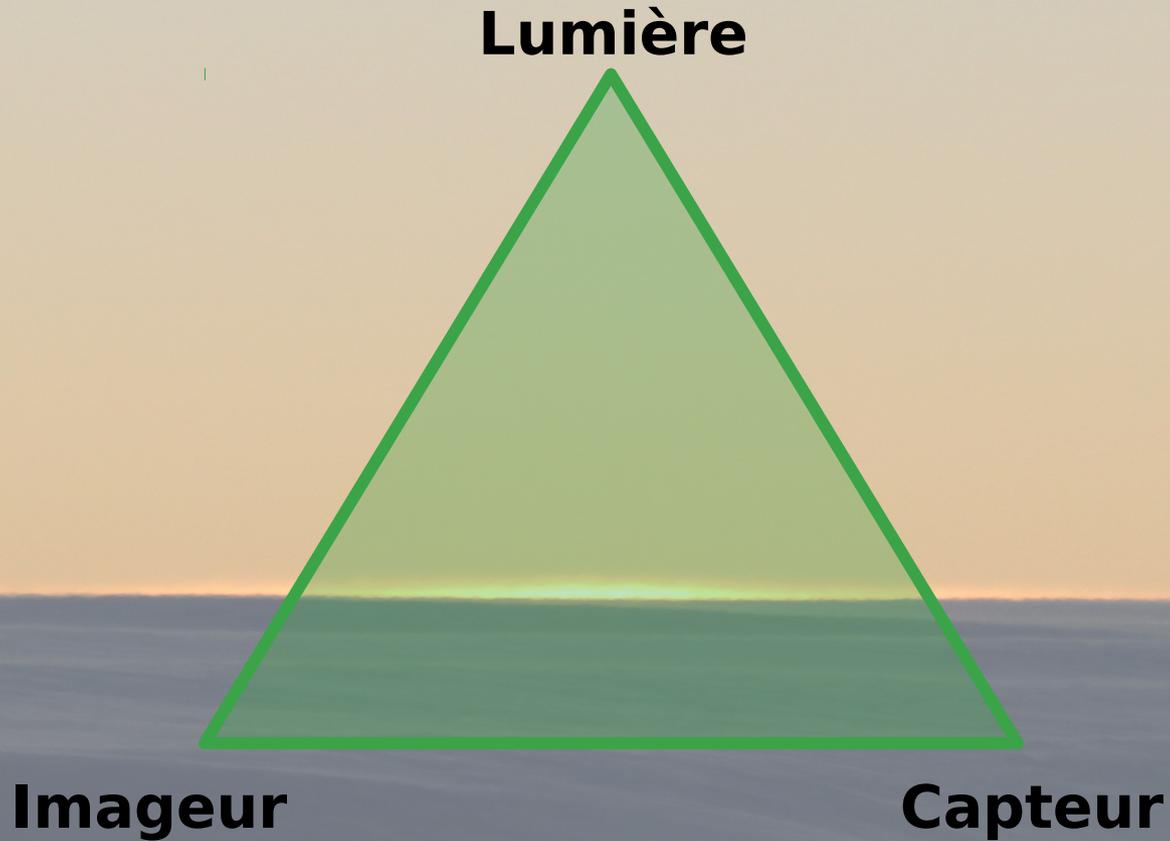
Intentions

- **(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 !**



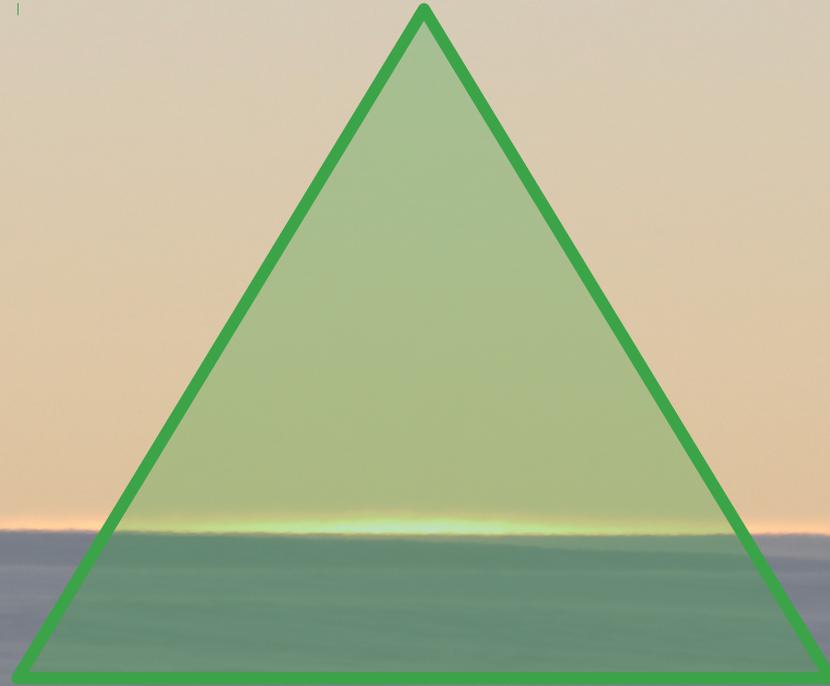
Qu'est-ce qu'une photo ?

Qu'est-ce qu'une photo ?



Qu'est-ce qu'une photo ?

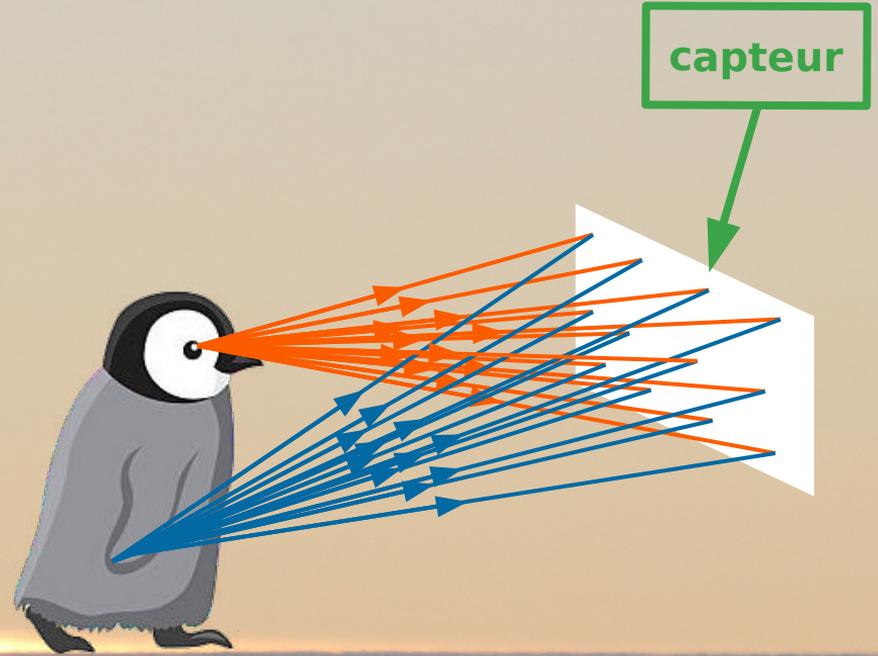
Lumière



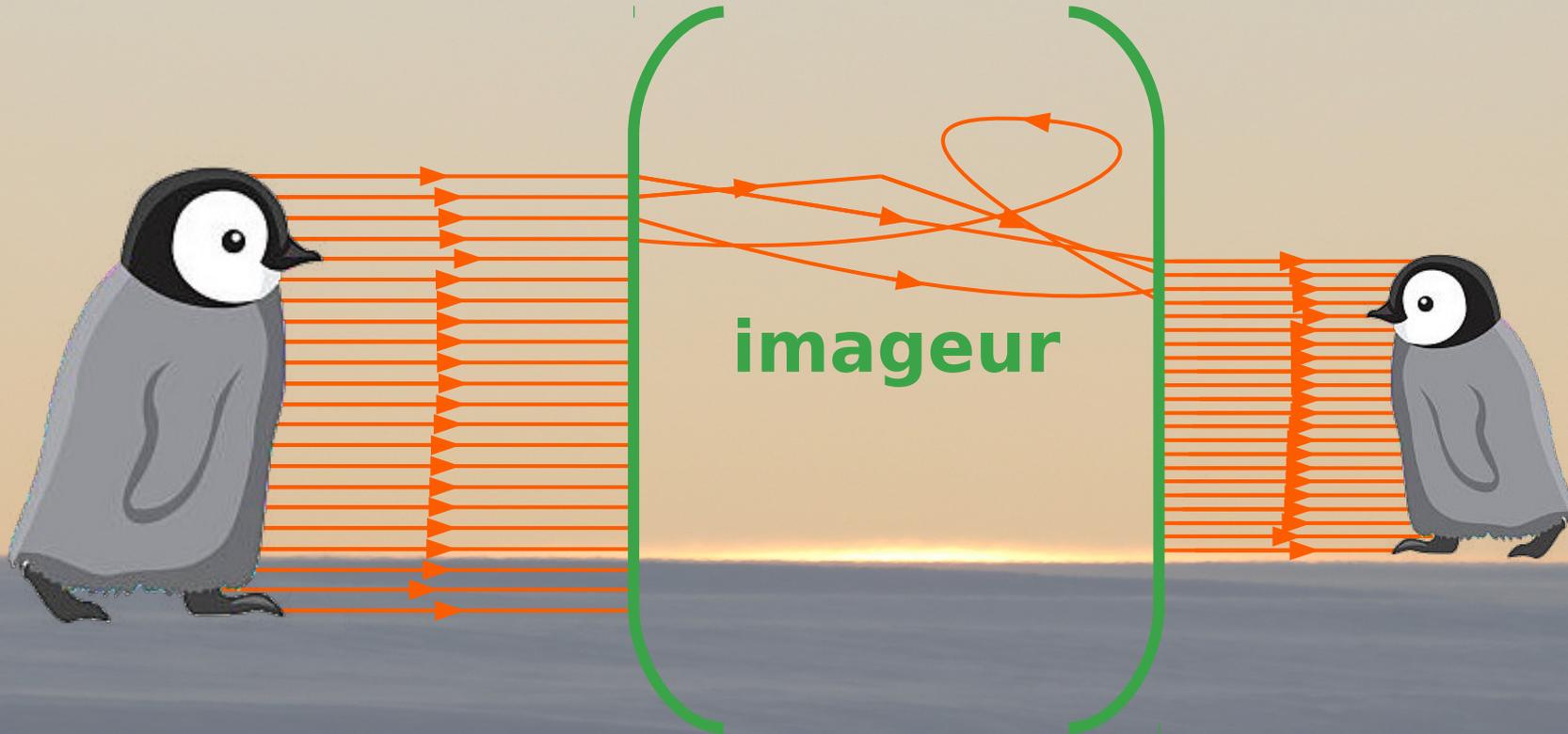
Imageur

Capteur

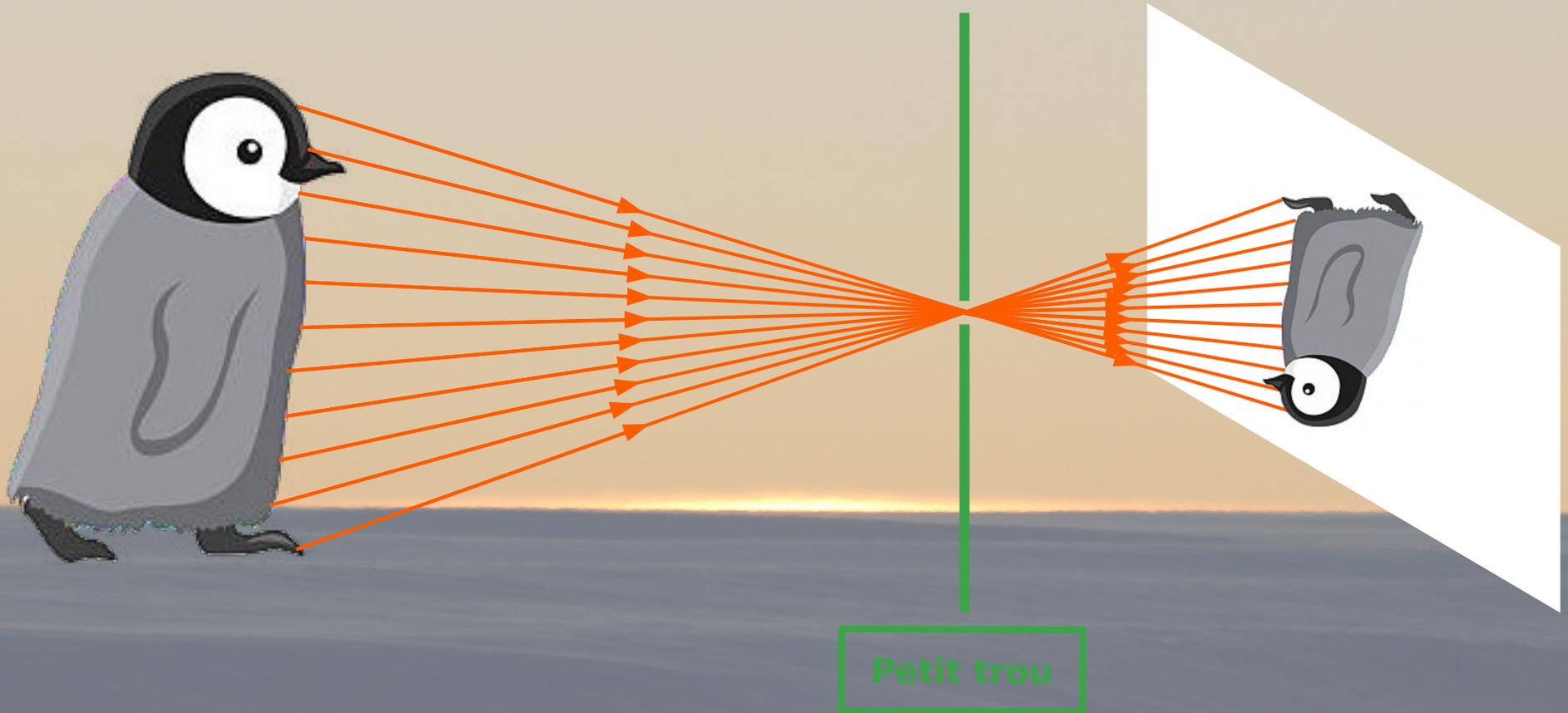
Un imageur ? Pour quoi faire ?



C'est quoi le principe de l'imageur ?



Alors, comment qu'on fait ?



Et hop, un sténopé



Deux problèmes !

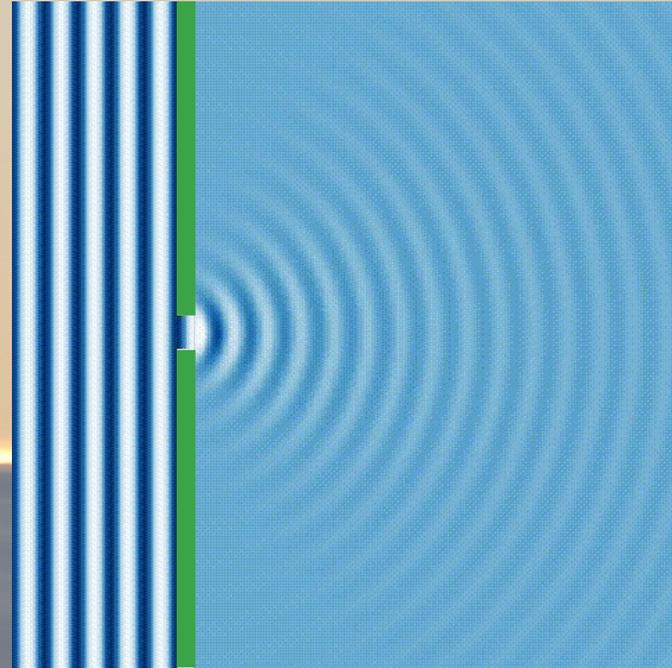
- **La diffraction**
- **Pas assez de lumière**

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 ...

λ

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

a

θ

La diffraction

- La lumière aussi est une onde ...

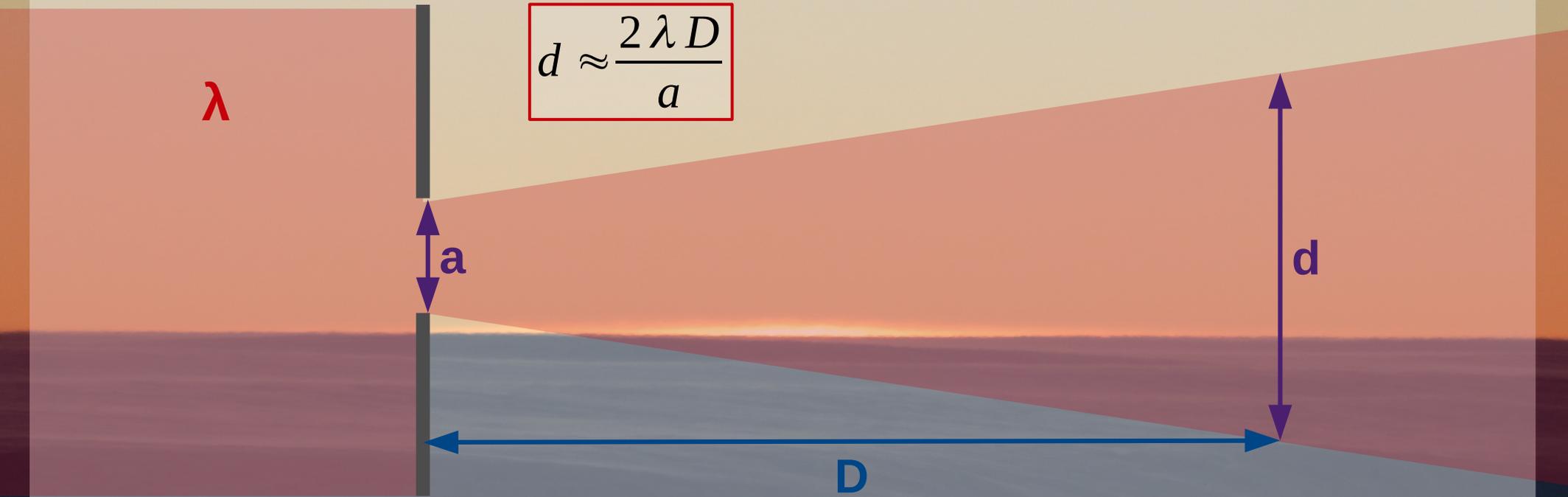
λ

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

a

d

D

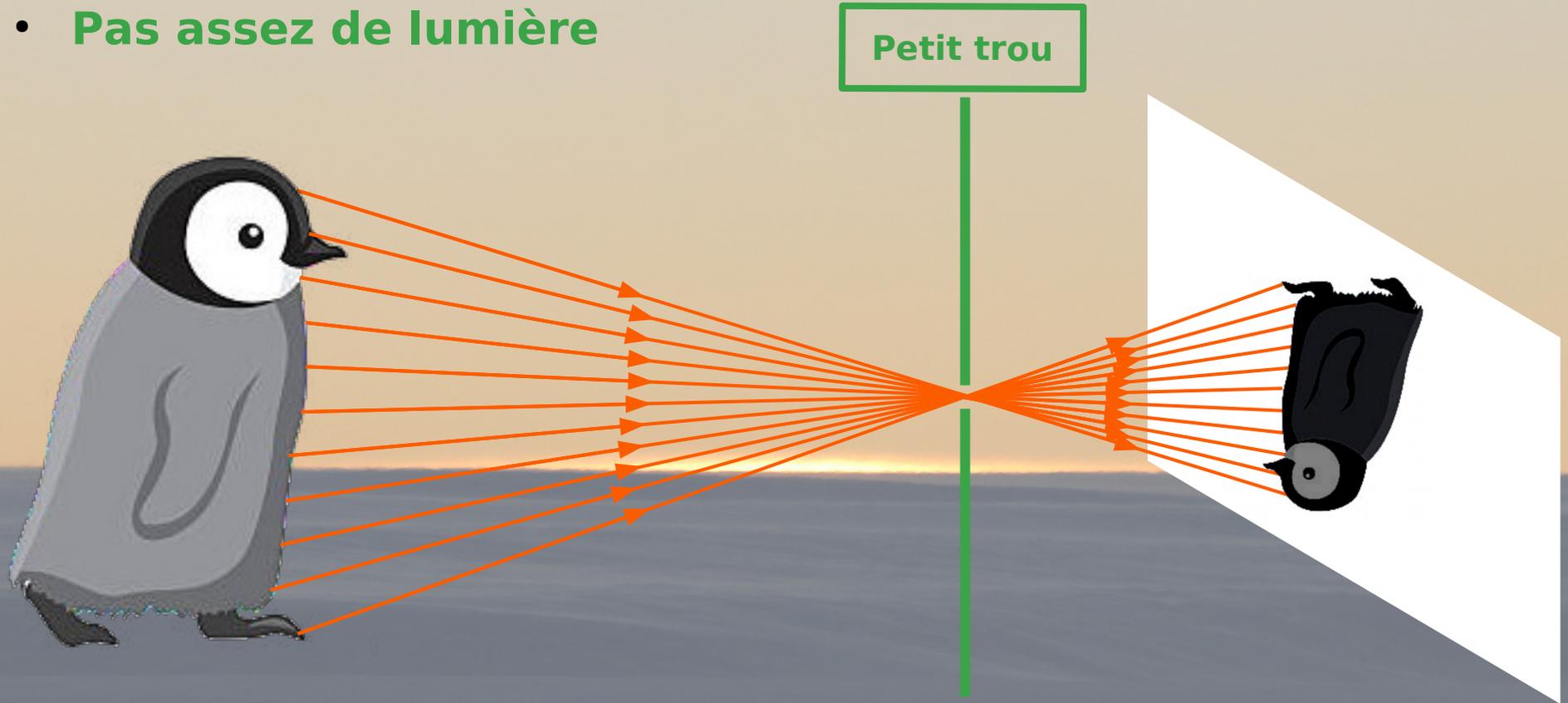


Deux problèmes !

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

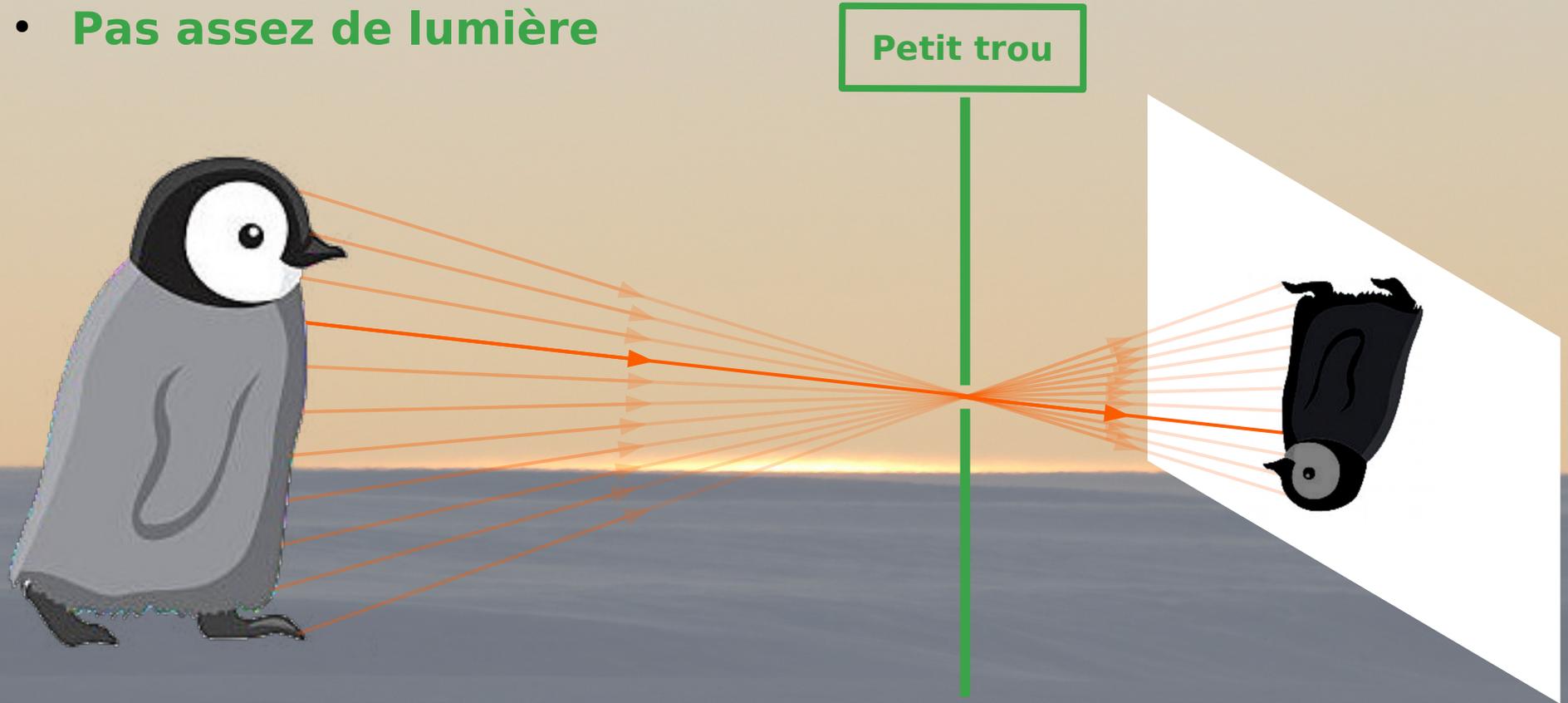
Deuxième problème !

- Pas assez de lumière



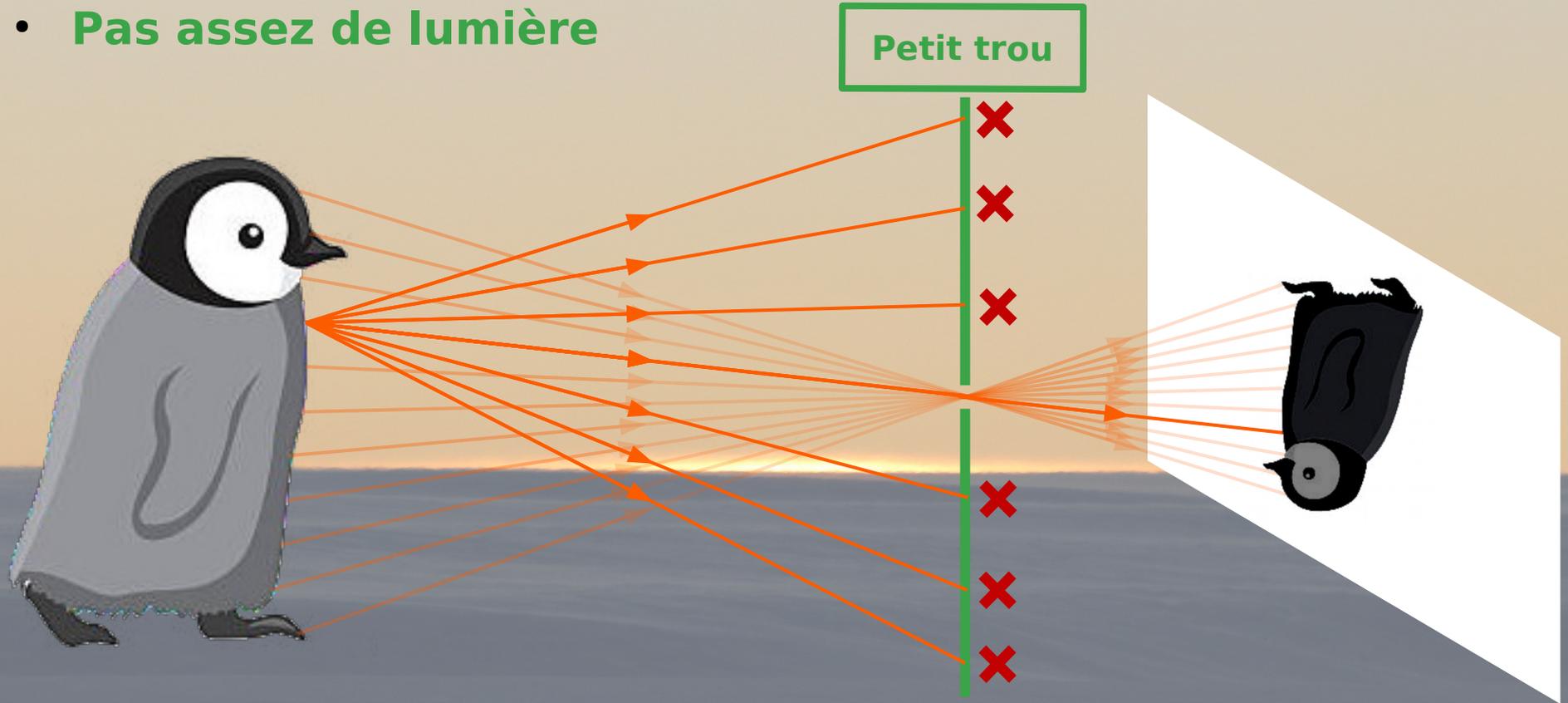
Deux problèmes !

- Pas assez de lumière



Deux problèmes !

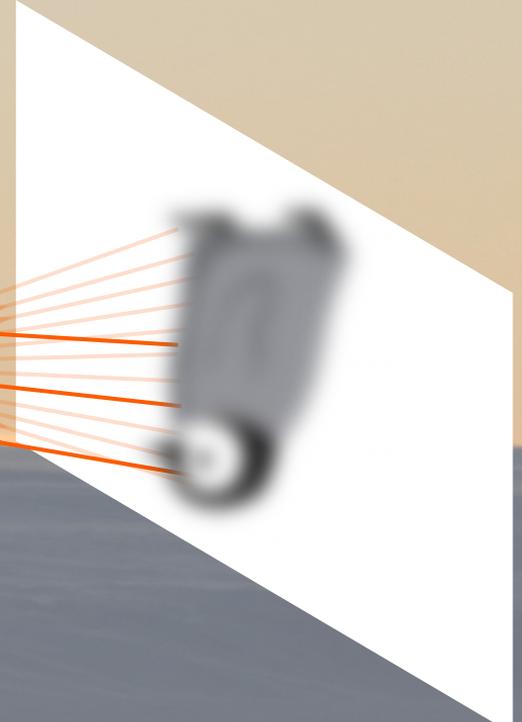
- Pas assez de lumière



Deux problèmes !

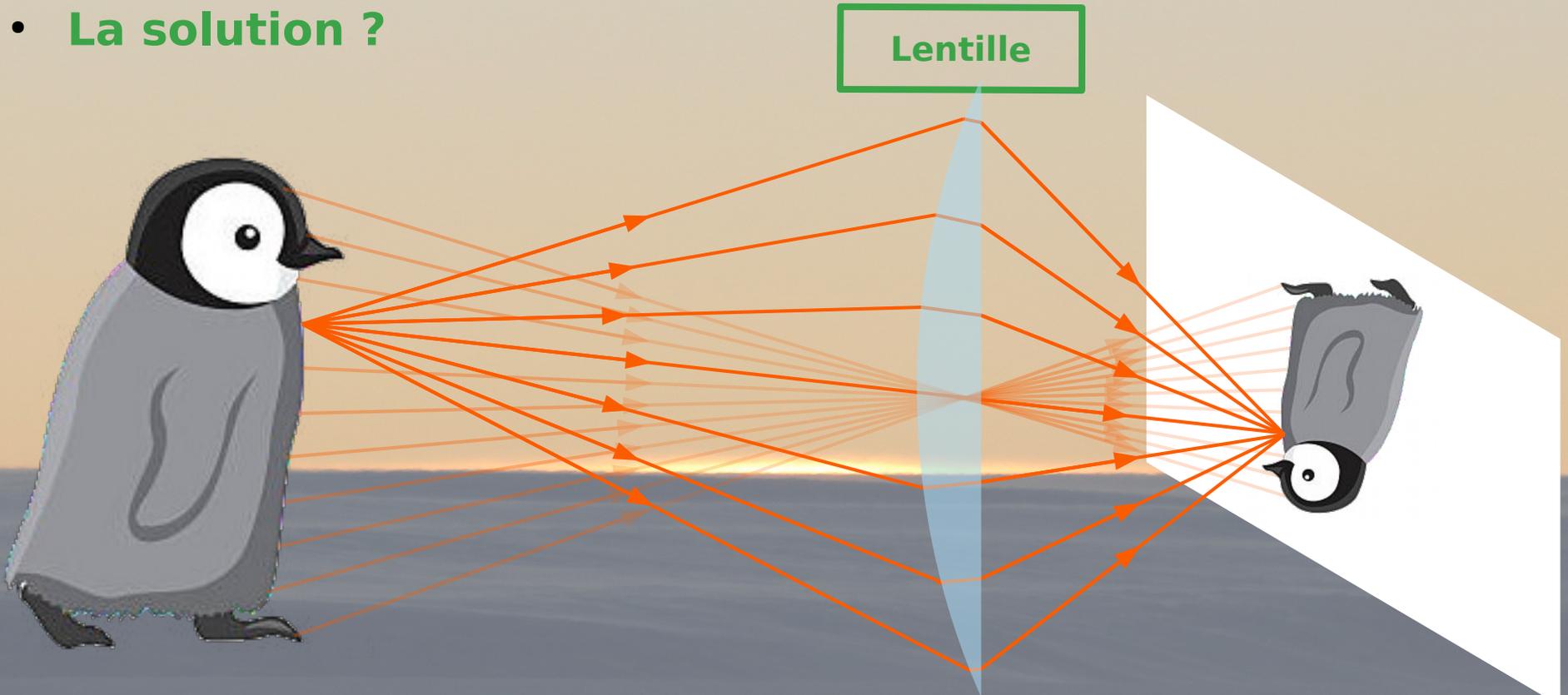
- Des idées ?

Plus grand trou

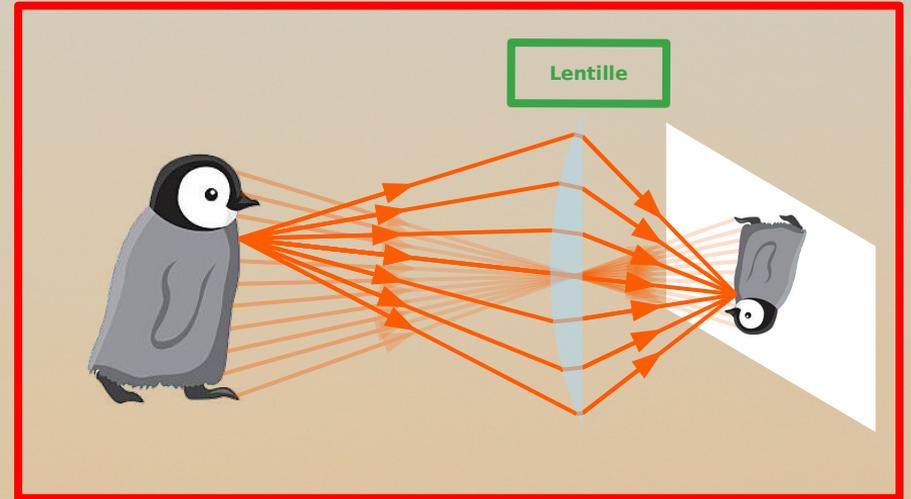
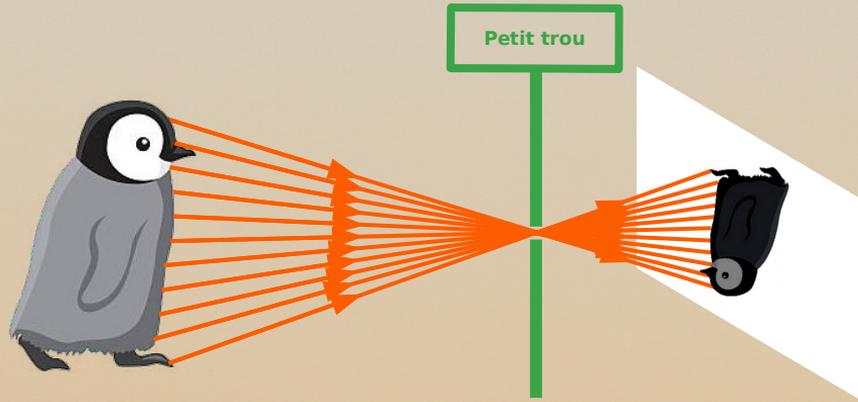


Deux problèmes !

- La solution ?

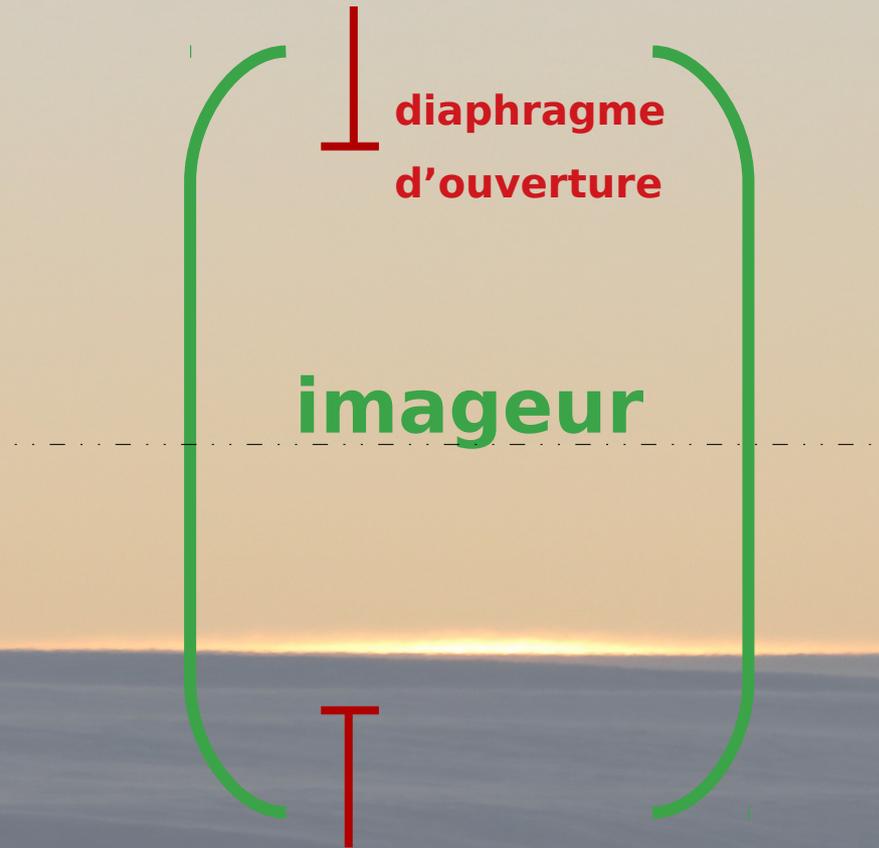


Première notion : l'ouverture !

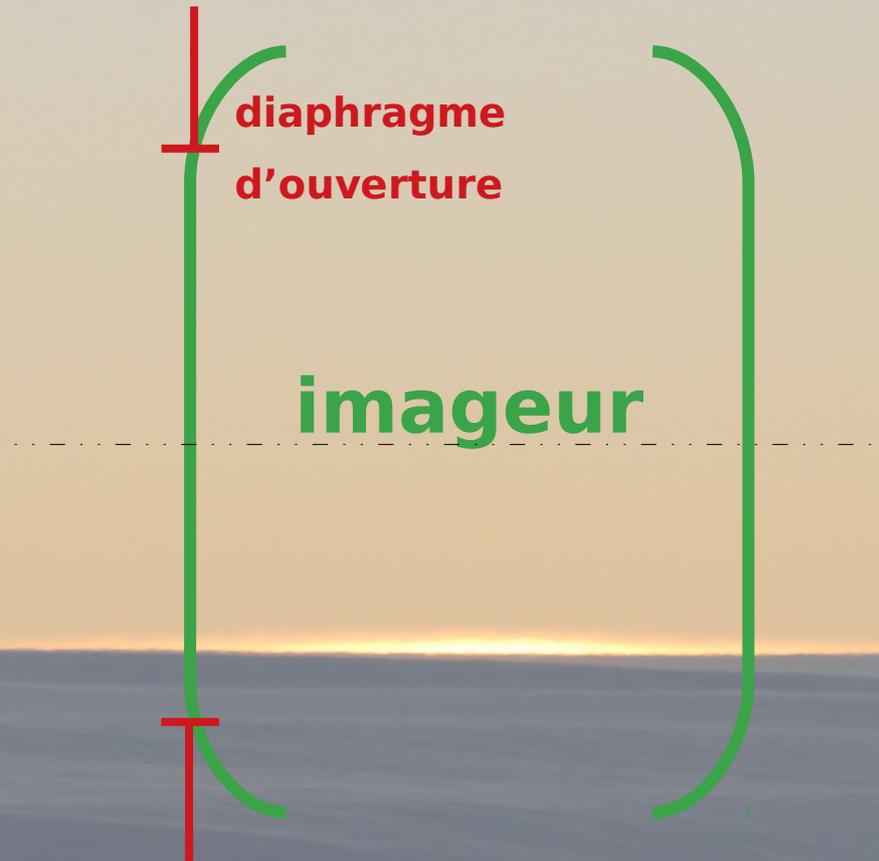


Quel est le système le plus ouvert ?

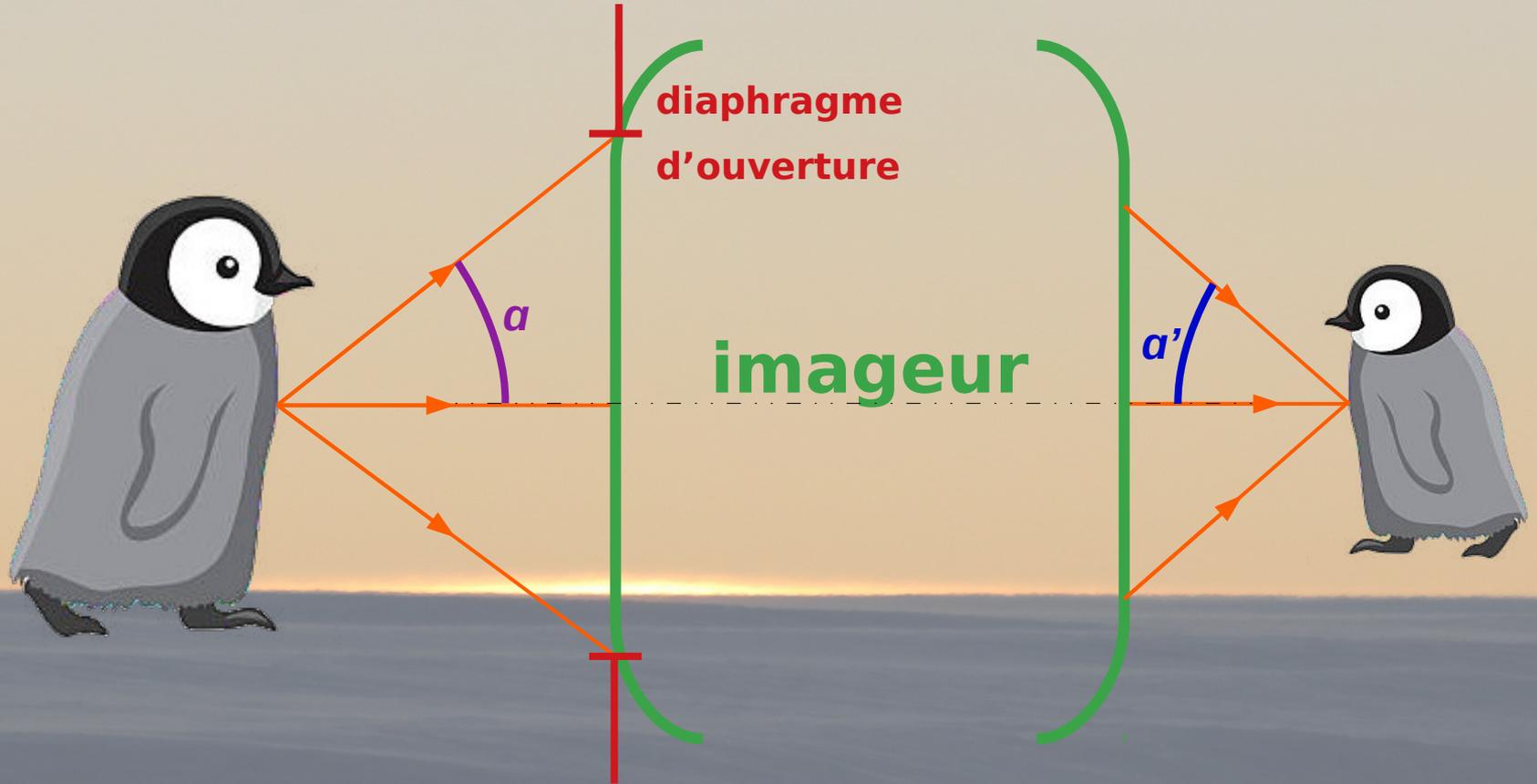
C'est quoi exactement l'ouverture ?



C'est quoi exactement l'ouverture ?



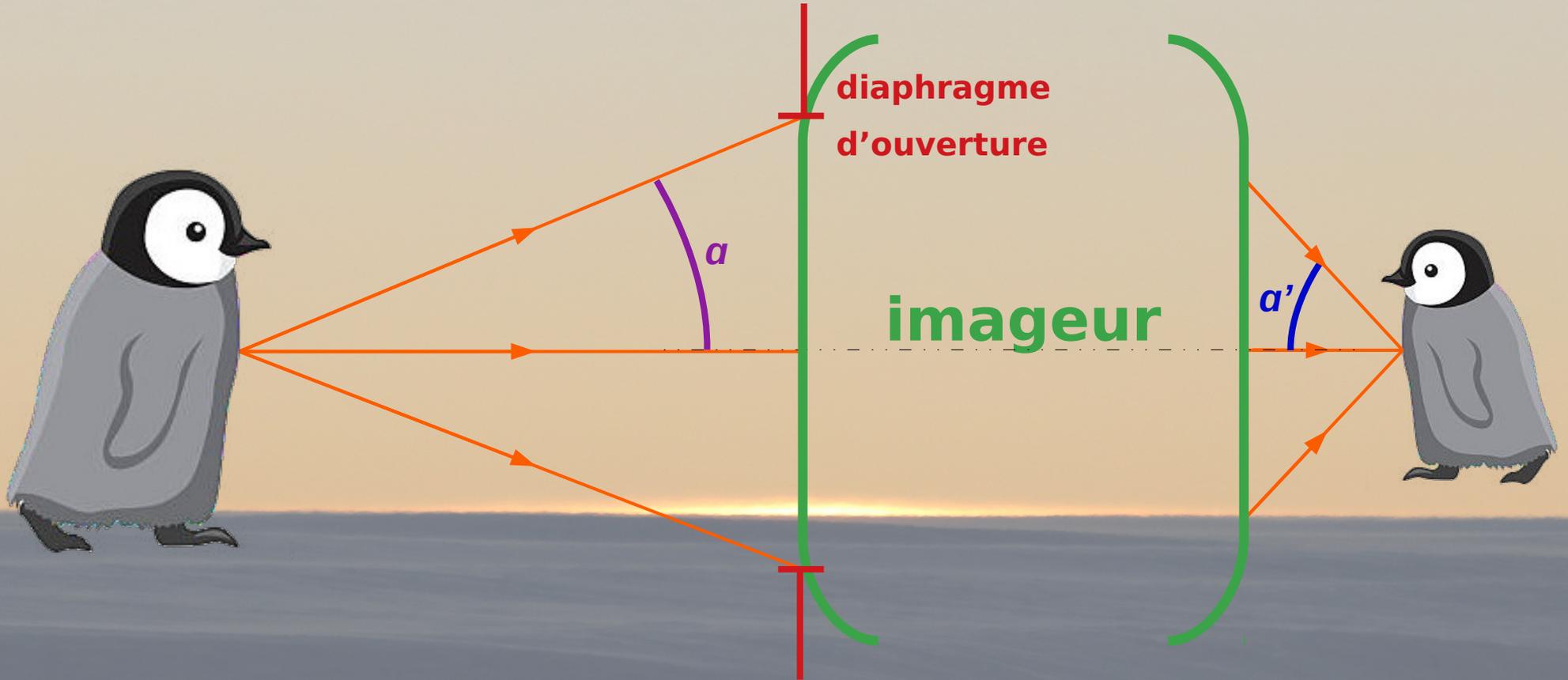
C'est quoi exactement l'ouverture ?



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

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

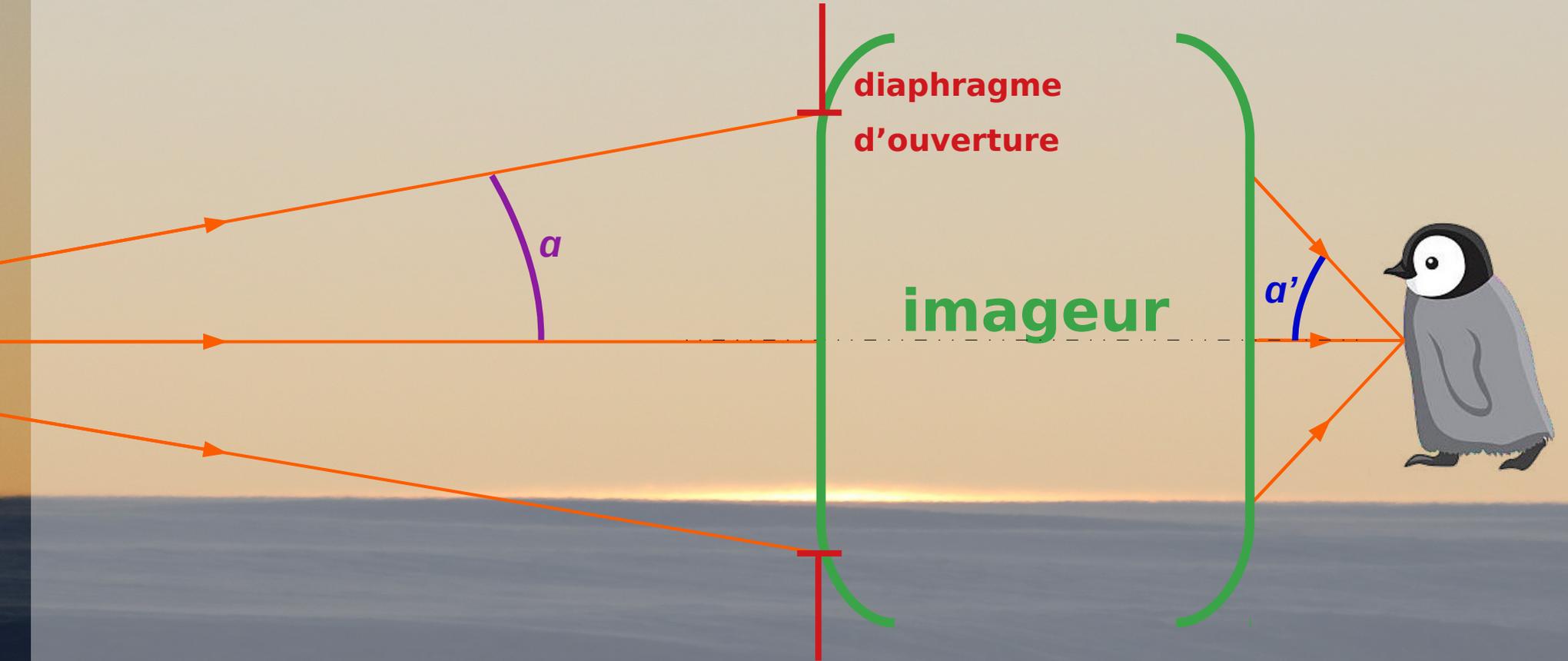
C'est quoi exactement l'ouverture ?



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

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

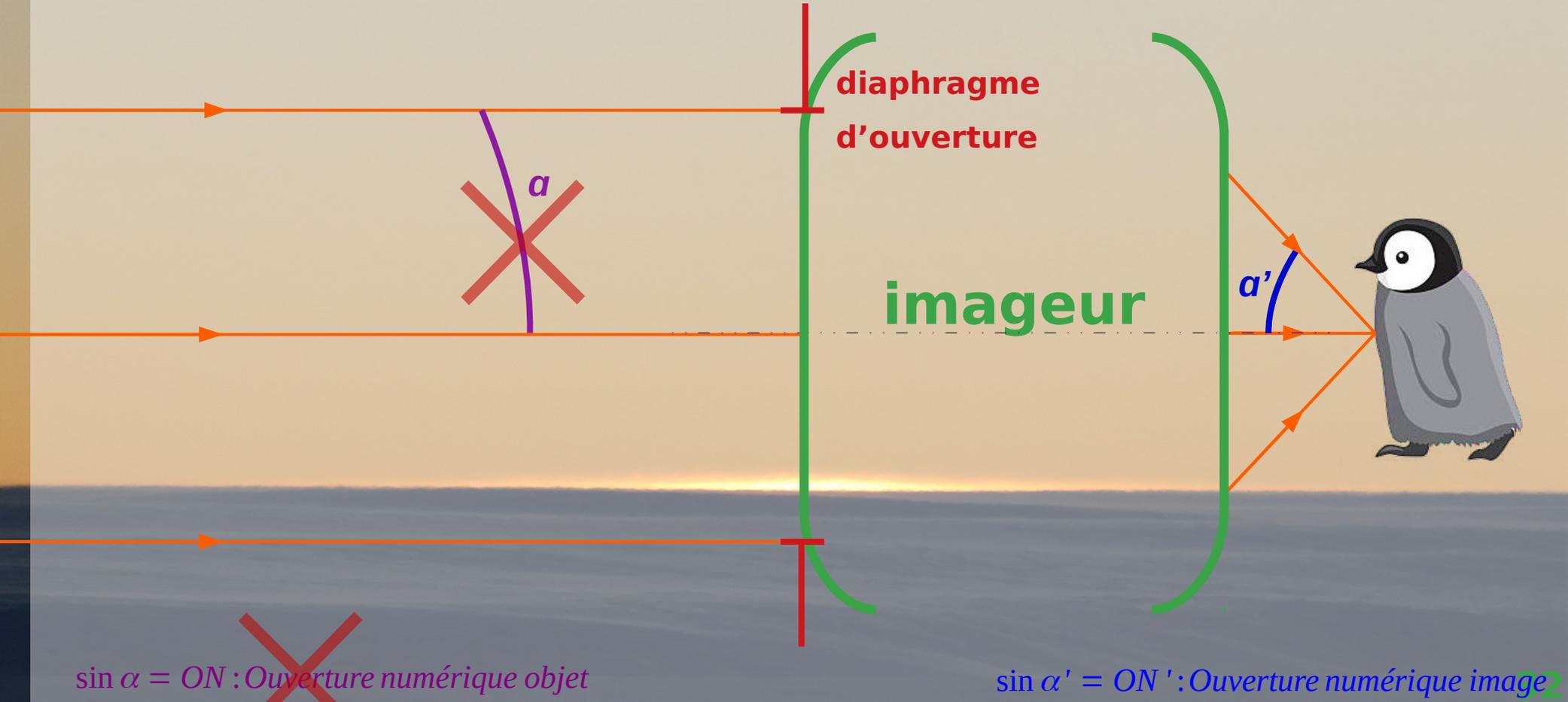
C'est quoi exactement l'ouverture ?



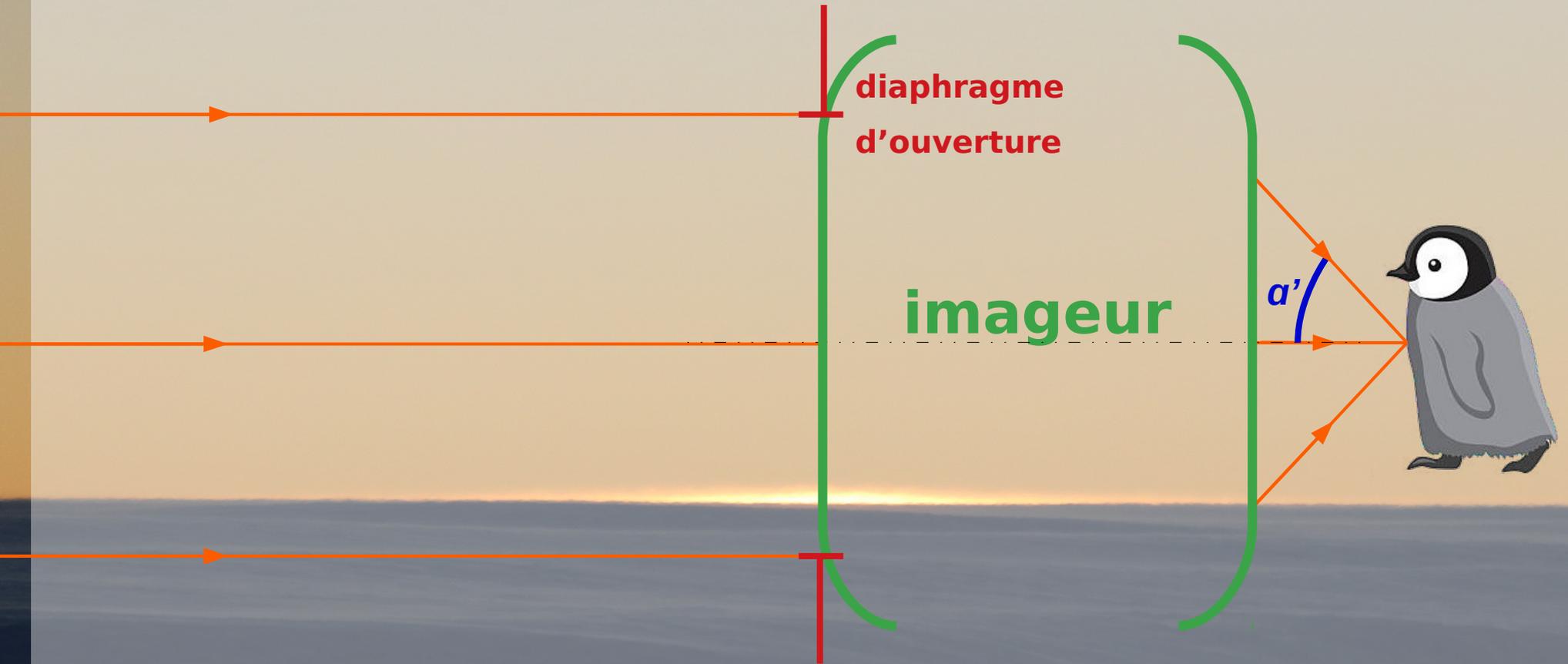
$\sin \alpha = ON$: Ouverture numérique objet

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

C'est quoi exactement l'ouverture ?

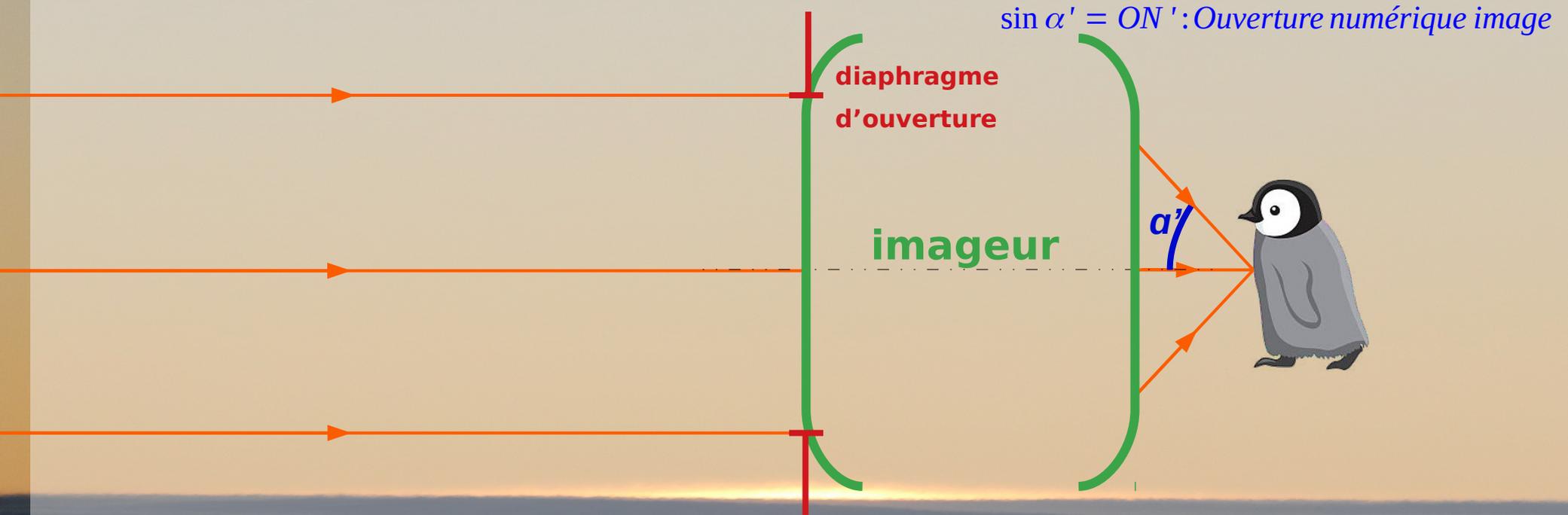


C'est quoi exactement l'ouverture ?



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

Le nombre d'ouverture !



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

Le nombre d'ouverture !

C'est lui



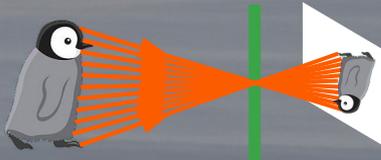
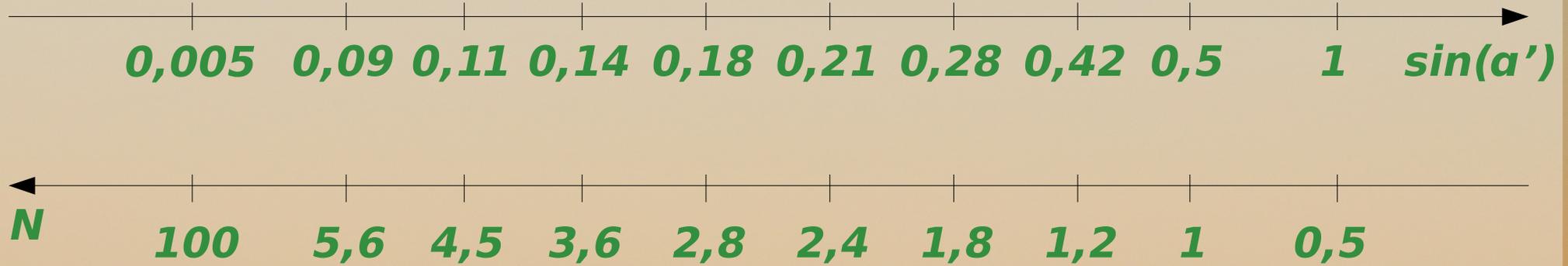
Un peu de vocabulaire

- 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

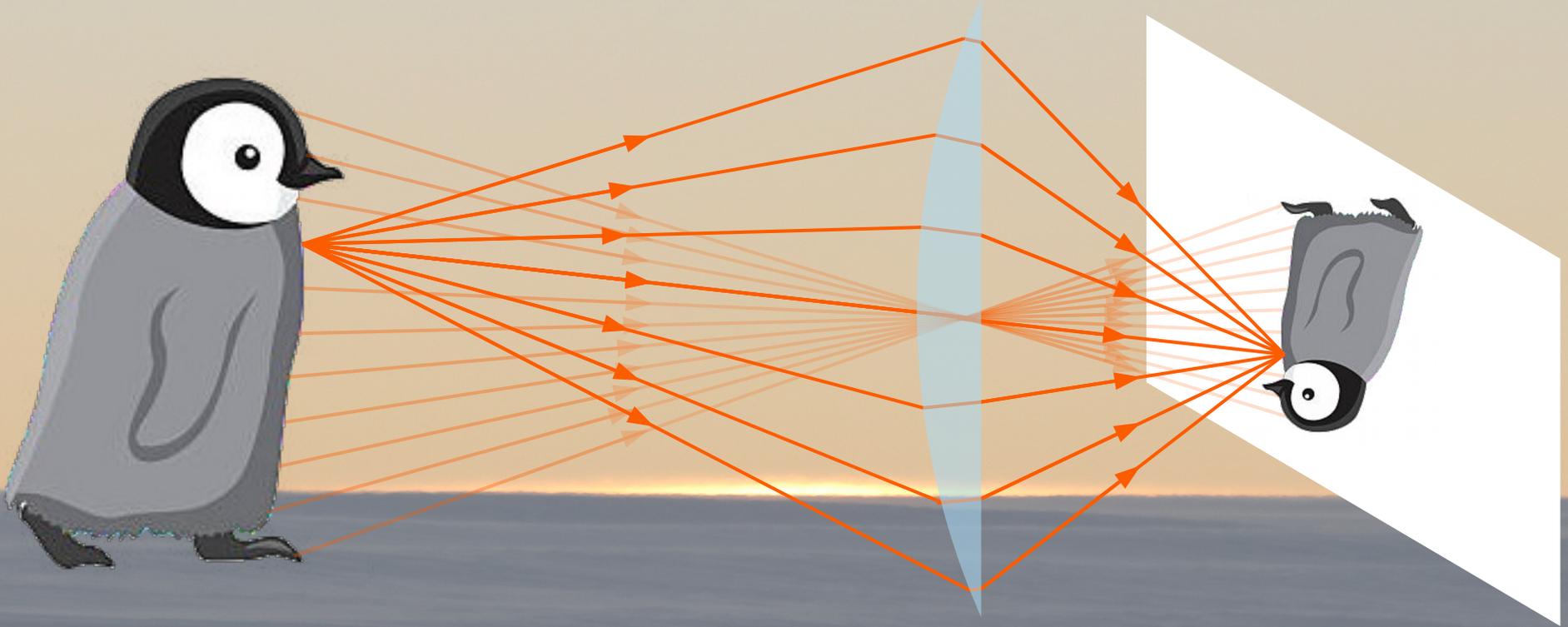


Jouer sur la profondeur de champ

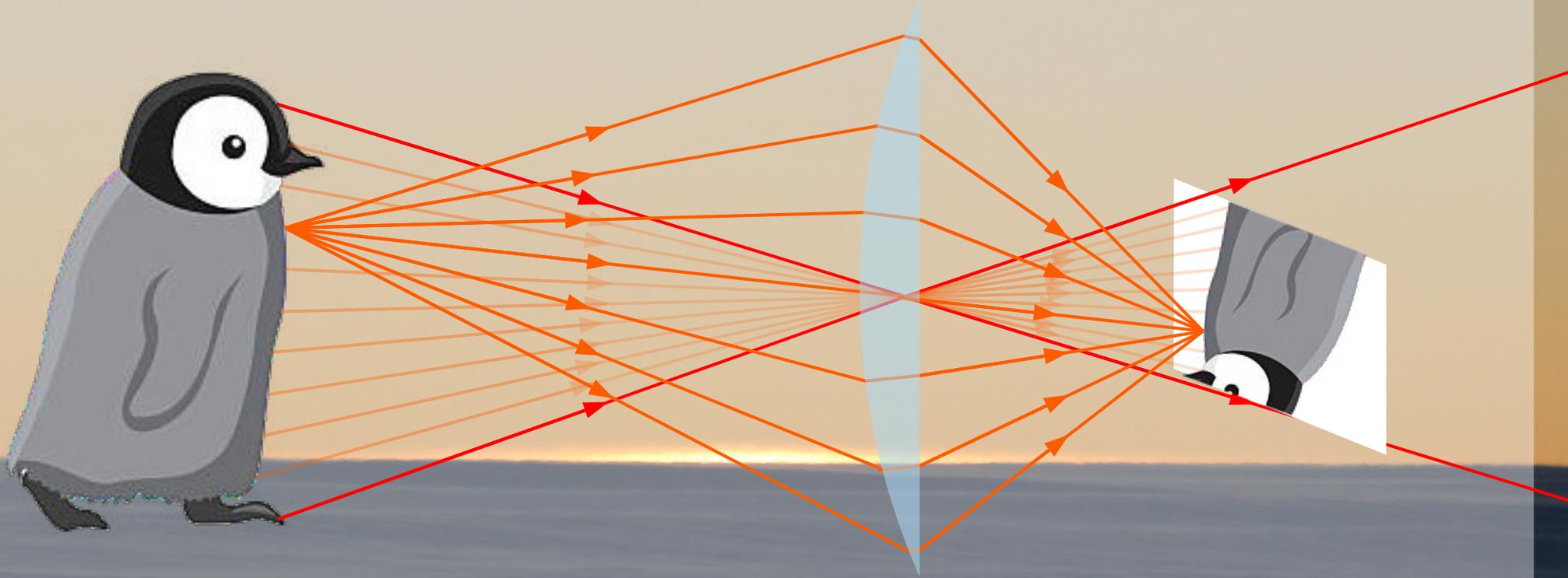
Deuxième notion : le champ (de vue) !



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



Le capteur ...



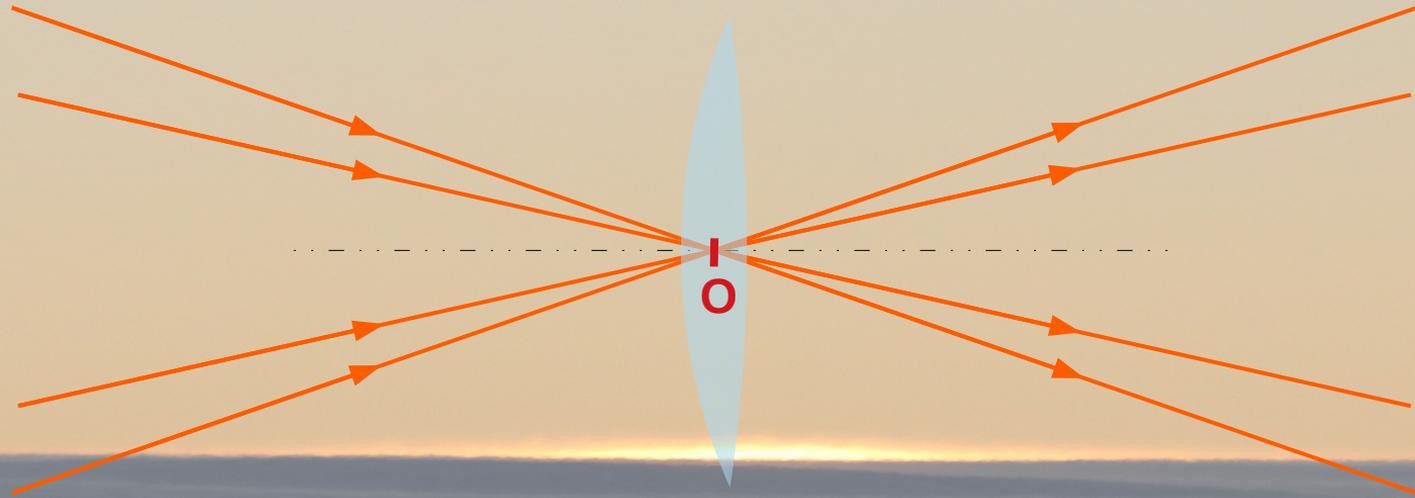
... mais on ne peut pas en changer ...

Le capteur ...

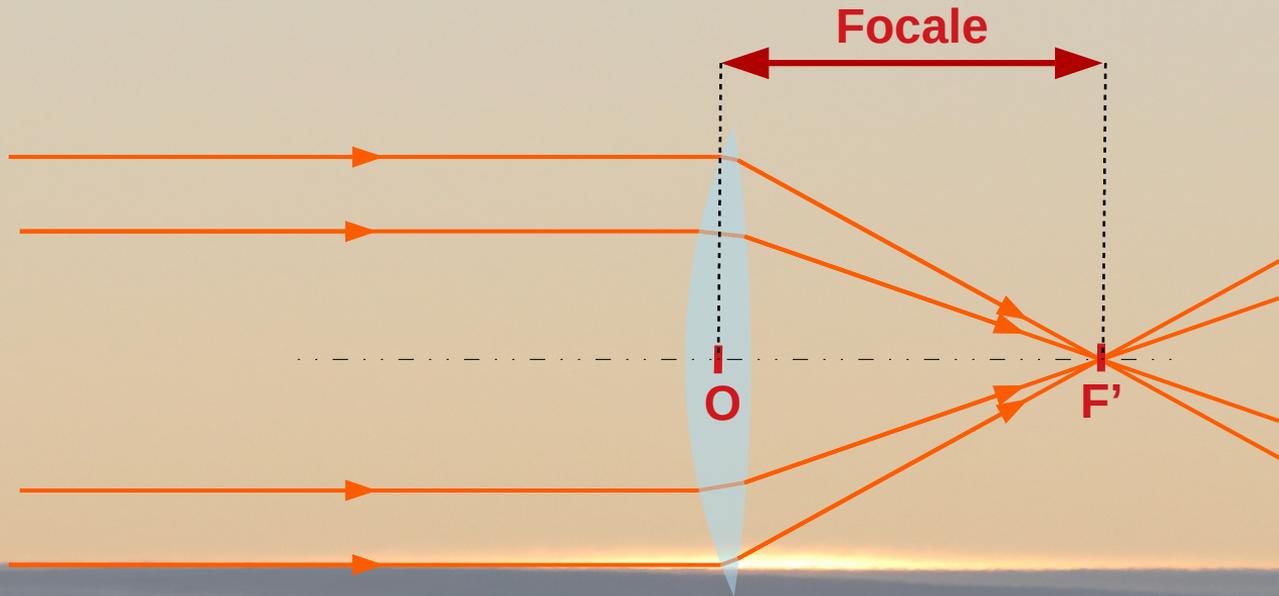


... mais on ne peut pas en changer ...

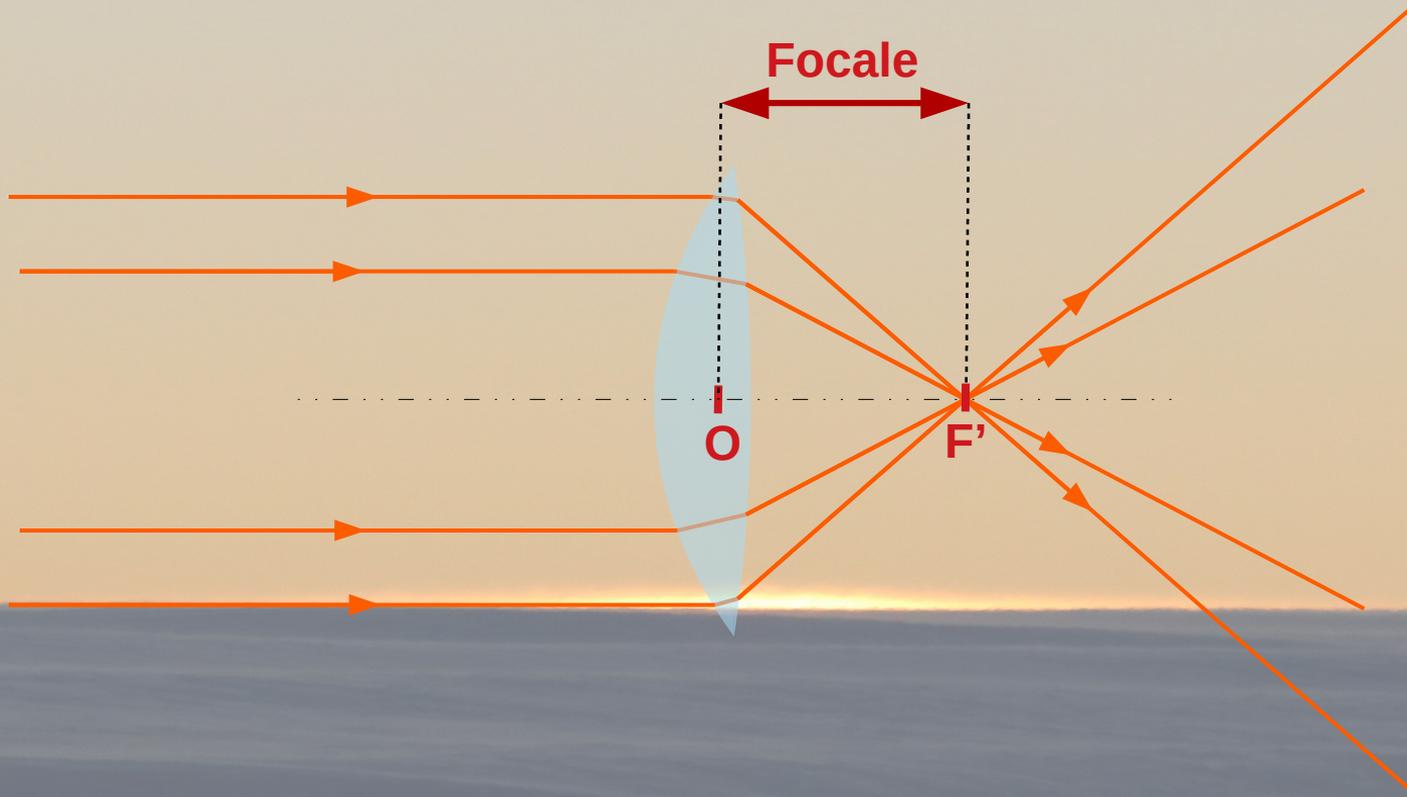
Parlons focale ... avec une lentille



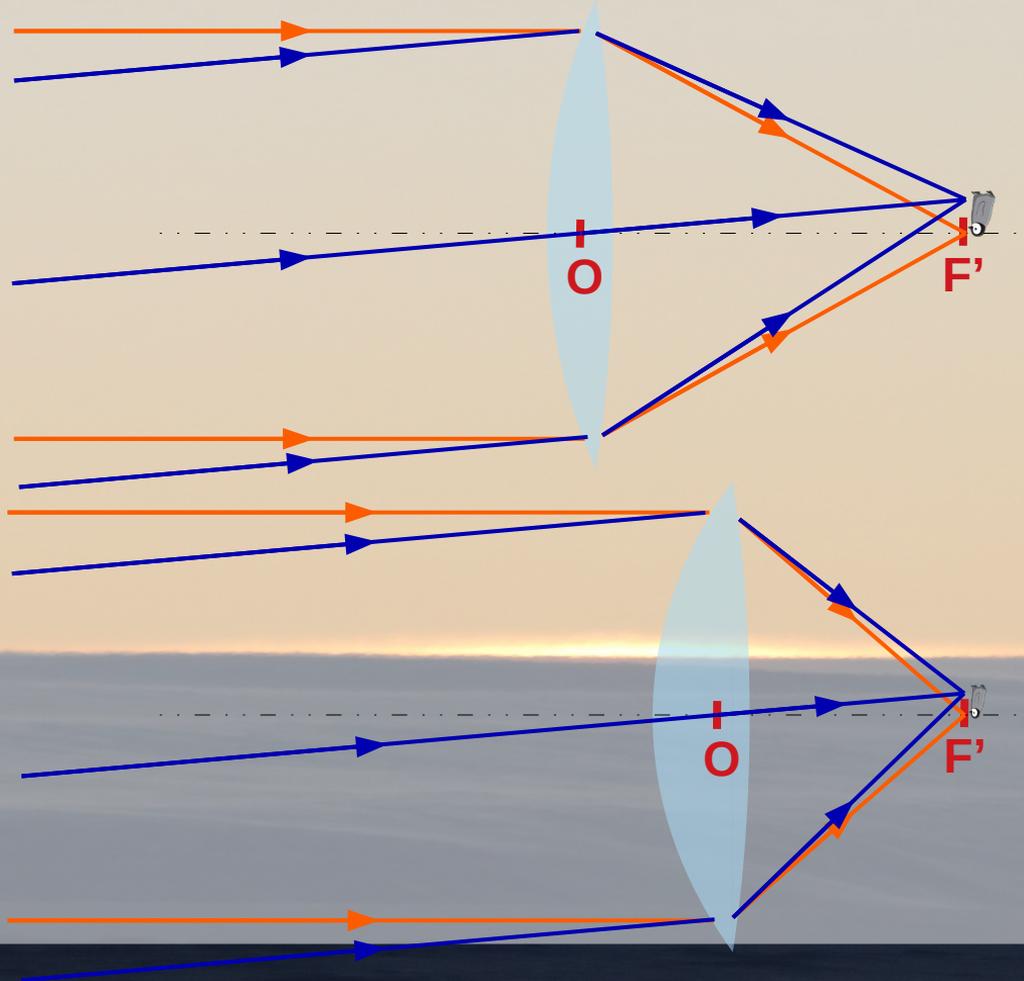
Parlons focale ... avec une lentille



Parlons focale ... avec une lentille

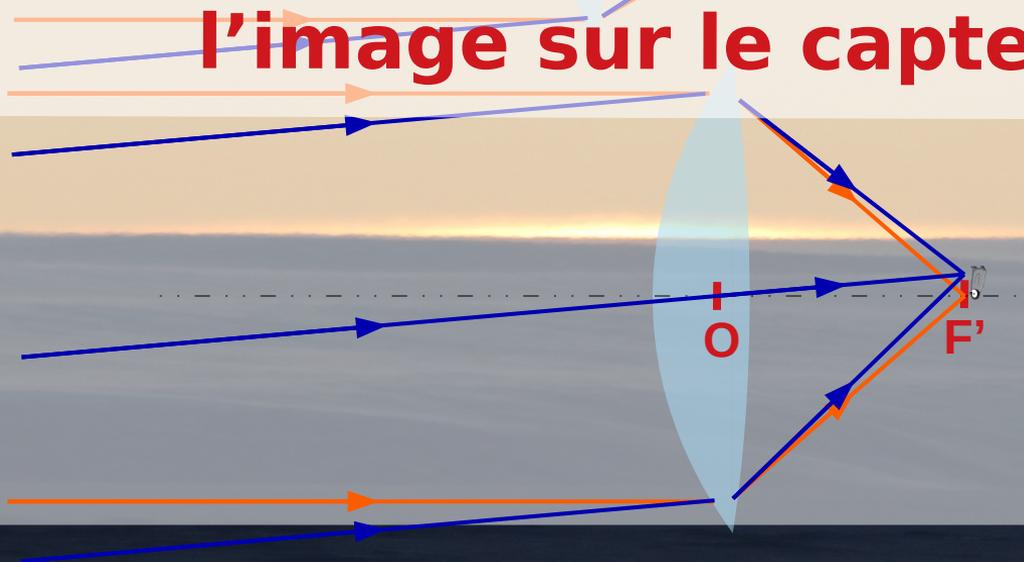
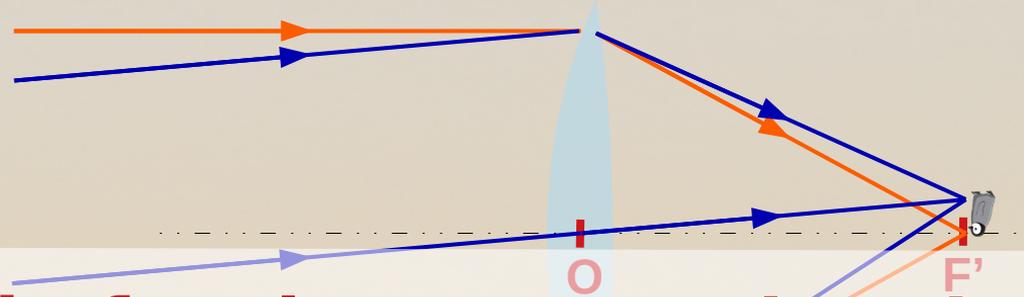


Laquelle zoom le plus ?



Laquelle zoom le plus ?

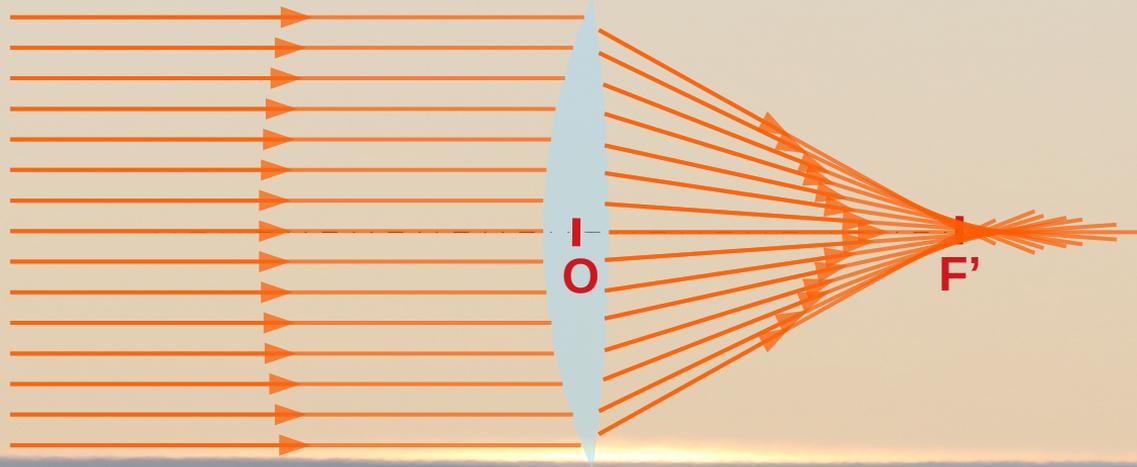
Plus la focale est grande, plus on grandit l'image sur le capteur



Champ de vue et focale

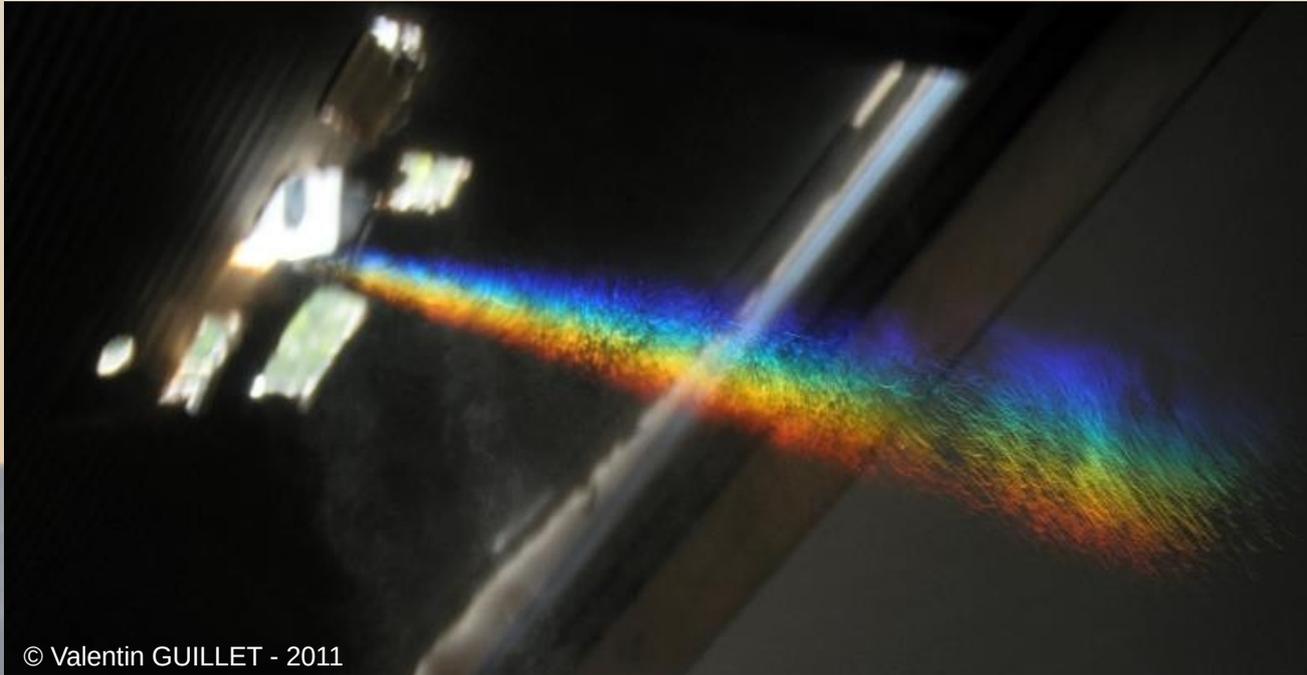


Pourquoi on n'utilise pas une seule lentille ?

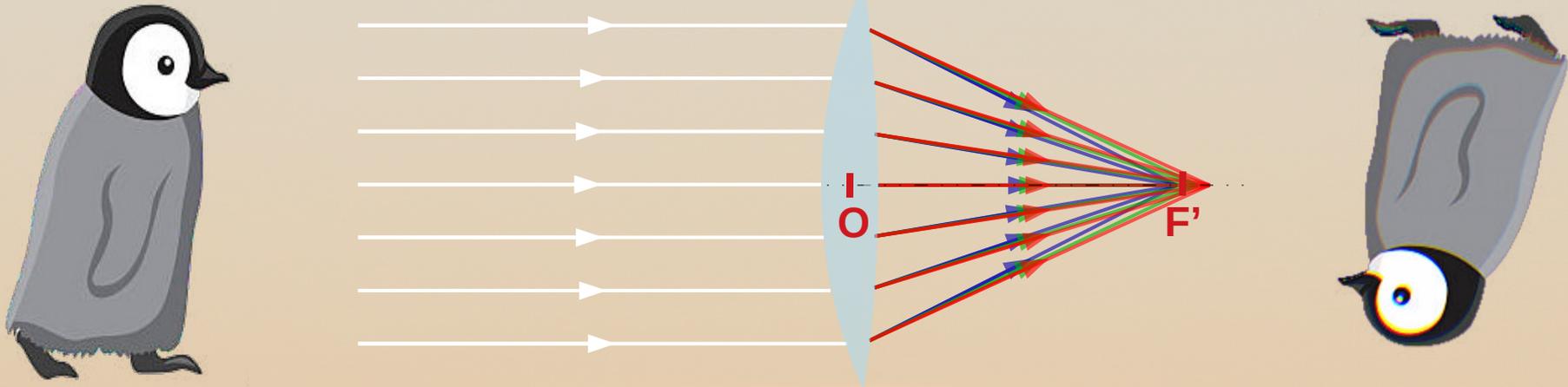


A cause des aberrations géométriques ...

Parlons dispersion (spersion !)

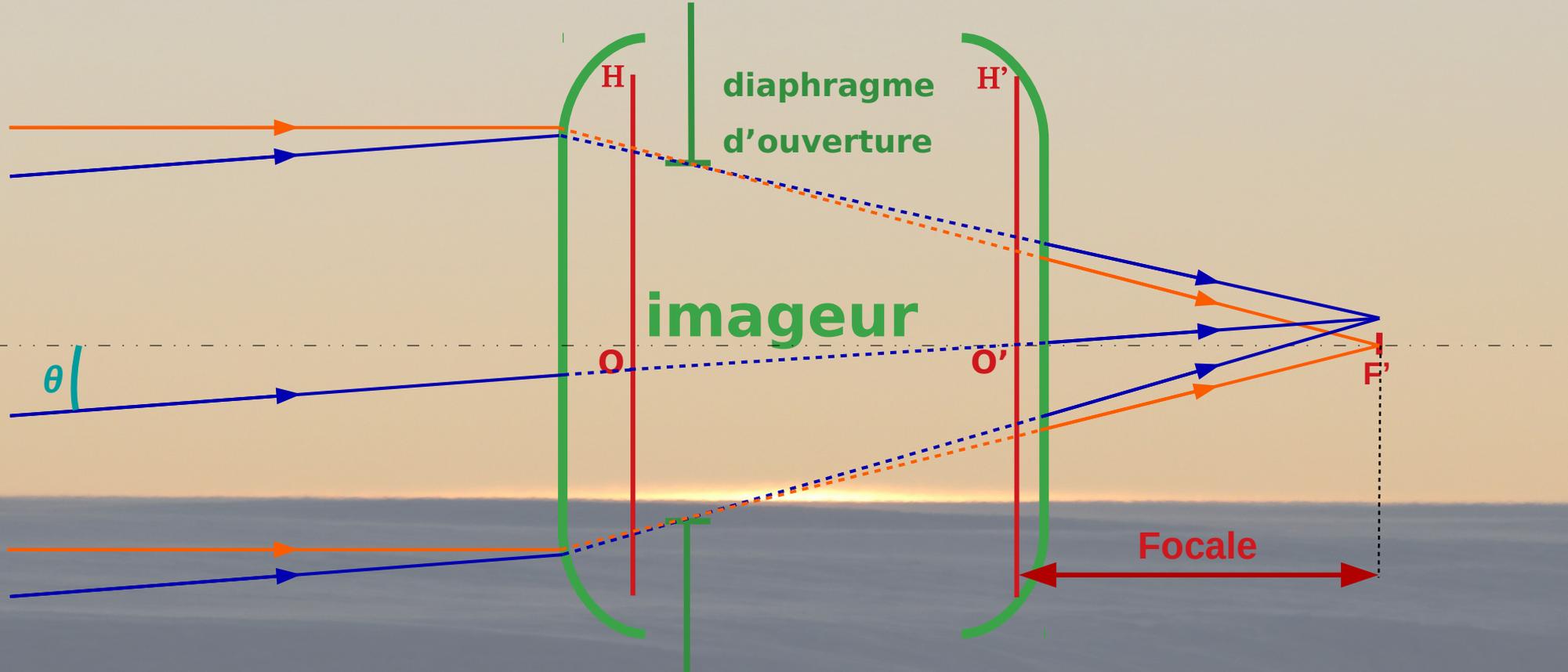


Pourquoi on n'utilise pas une seule lentille ?

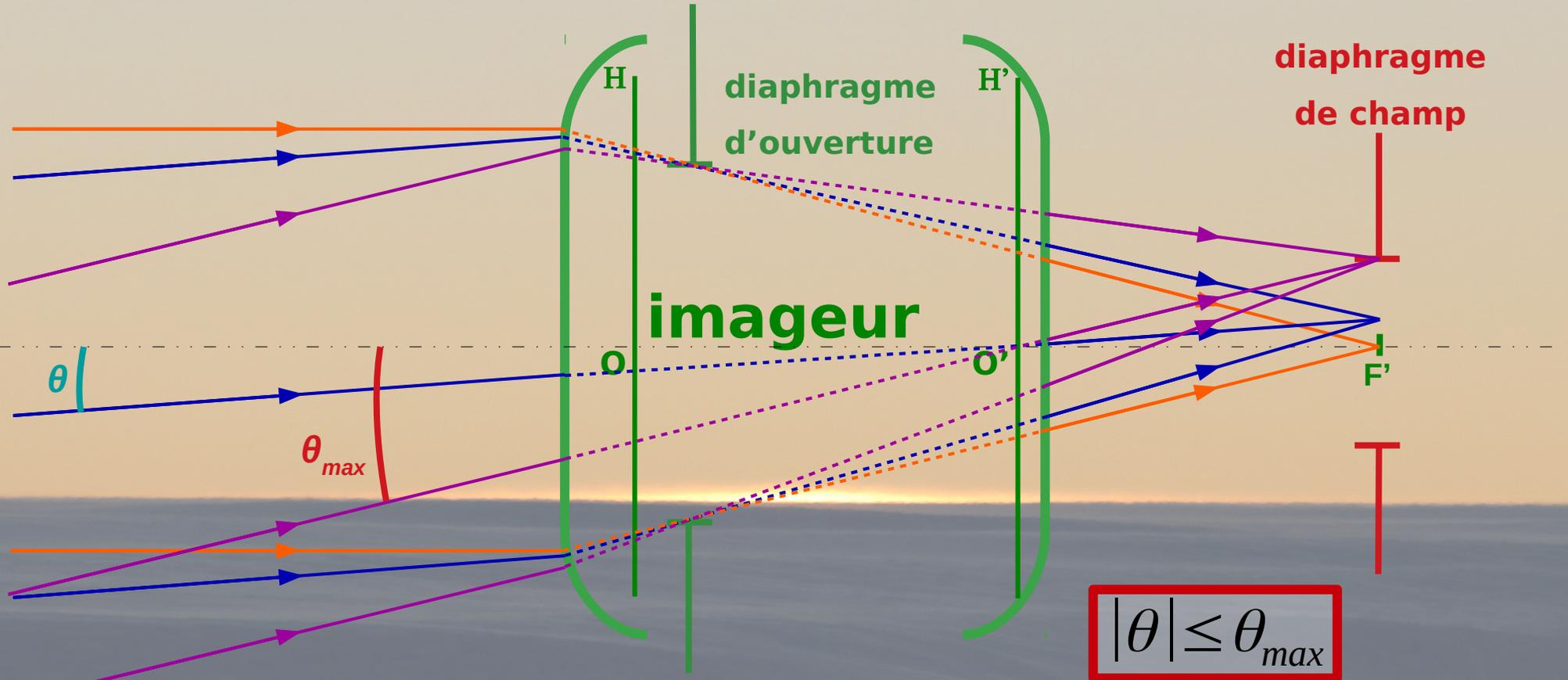


... et des aberrations chromatiques !

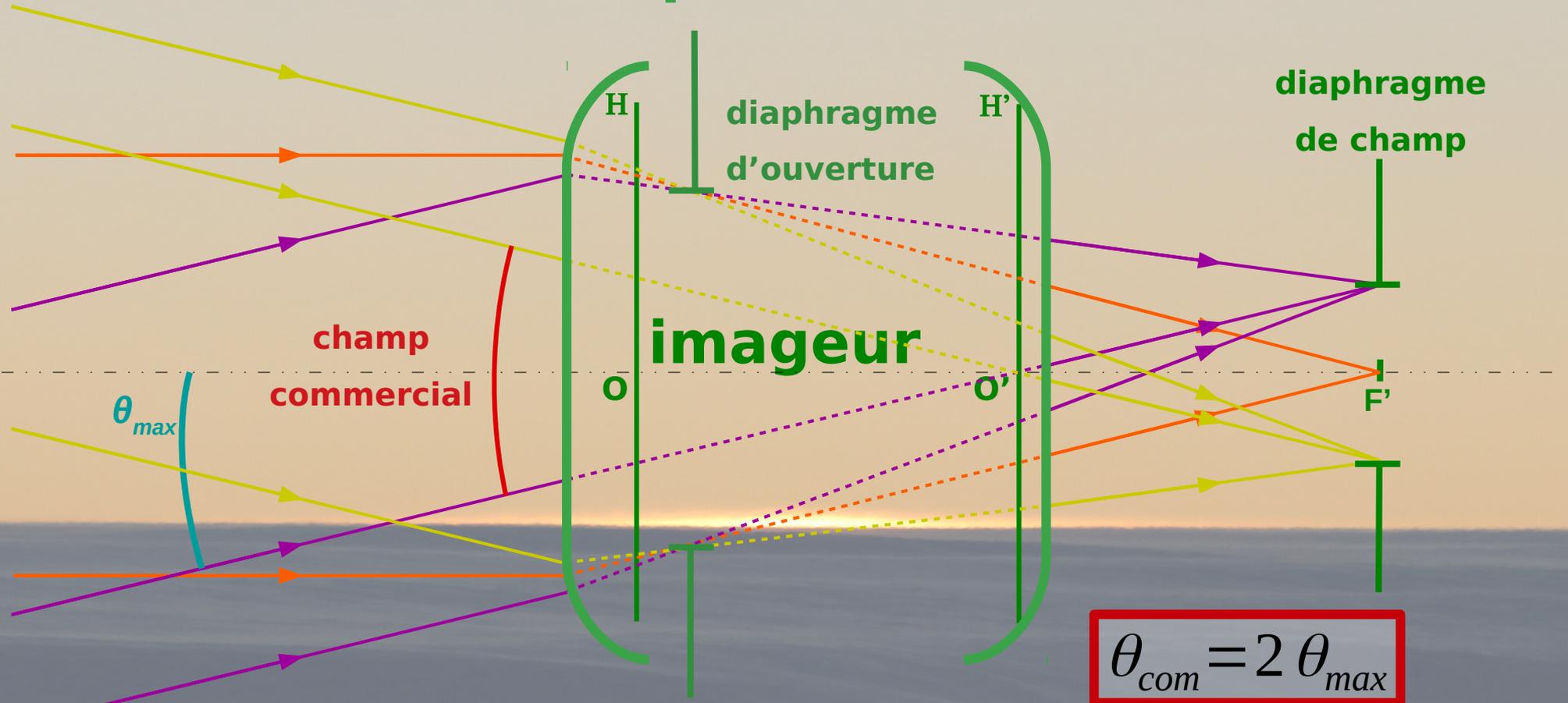
Et avec plein de lentilles ?



Diaphragme de champ : le capteur !



Champ commercial



Diaphragme de champ : le capteur !

diaphragme
de champ ?

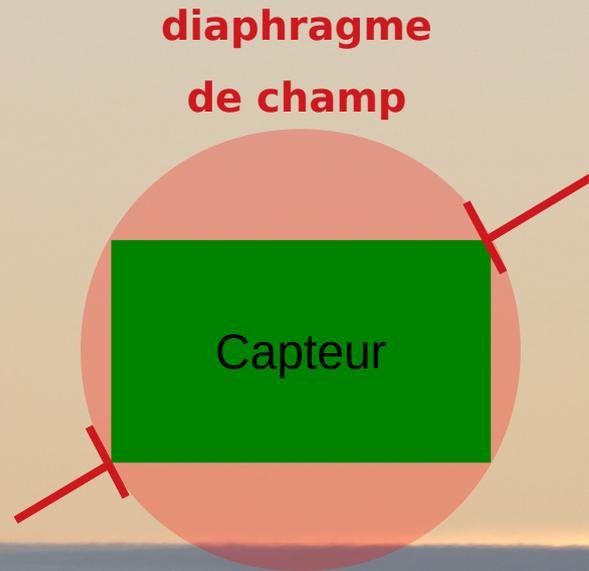


OU



diaphragme
de champ ?

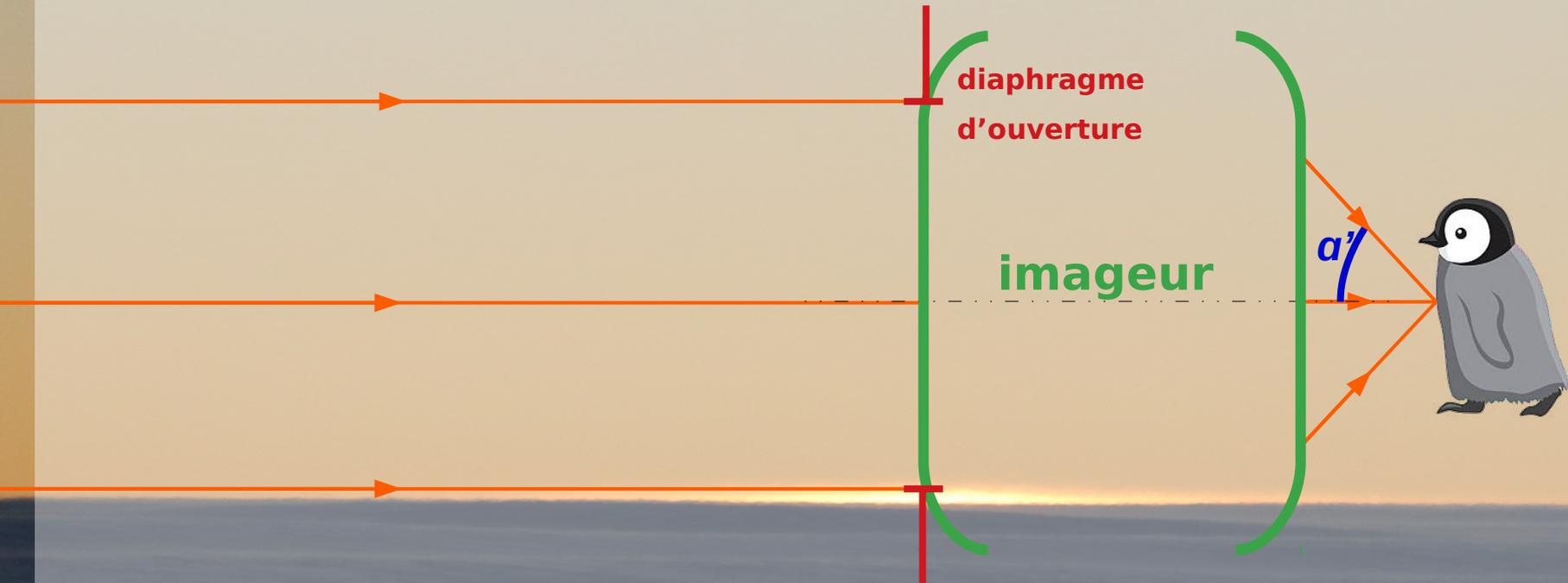
Diaphragme de champ : le capteur !



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

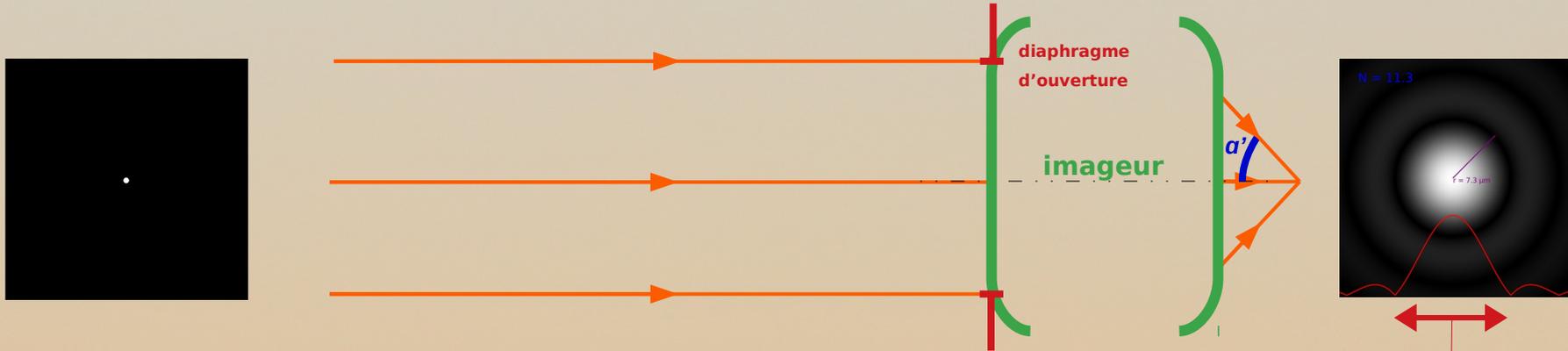
La diffraction : le retour !

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



La diffraction : le retour !

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

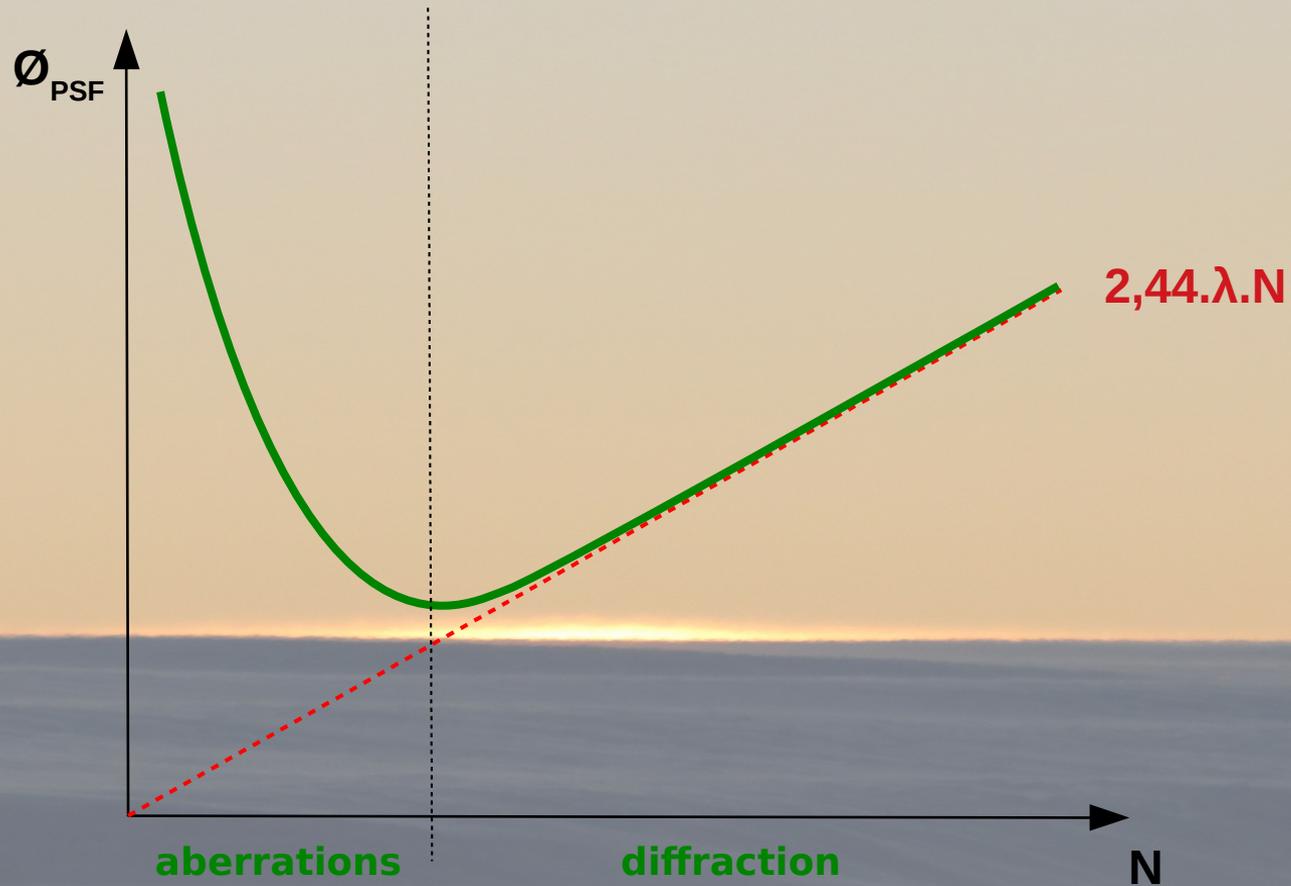


$$\varnothing_{Airy} = 2,44 \lambda N$$

en infini => foyer

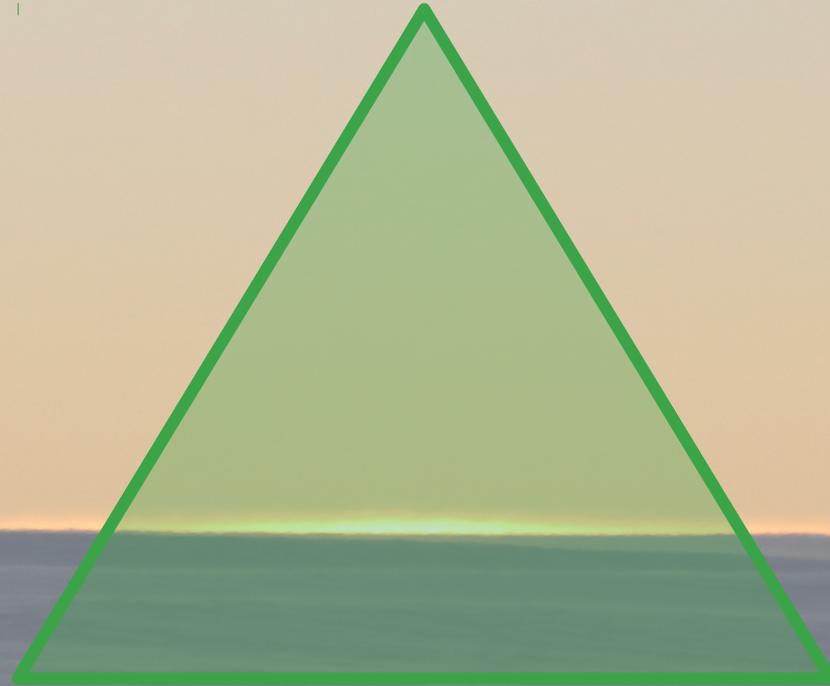
$$\varnothing_{Airy} = 1,22 \frac{\lambda}{(n') \sin \alpha'}$$

La PSF : aberrations + diffraction



Parlons lumière

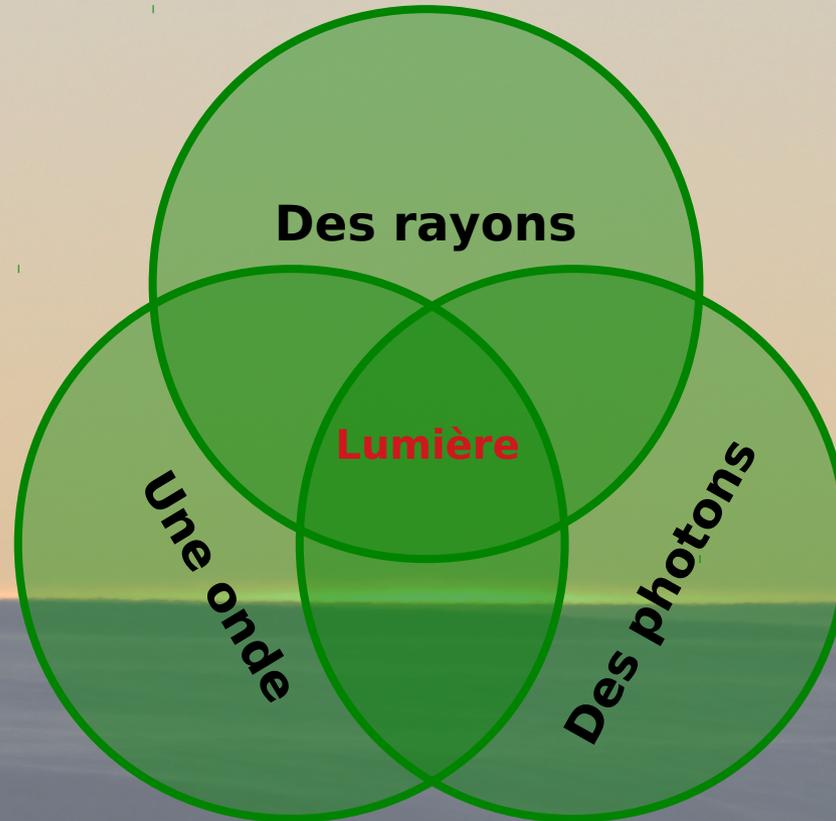
Lumière



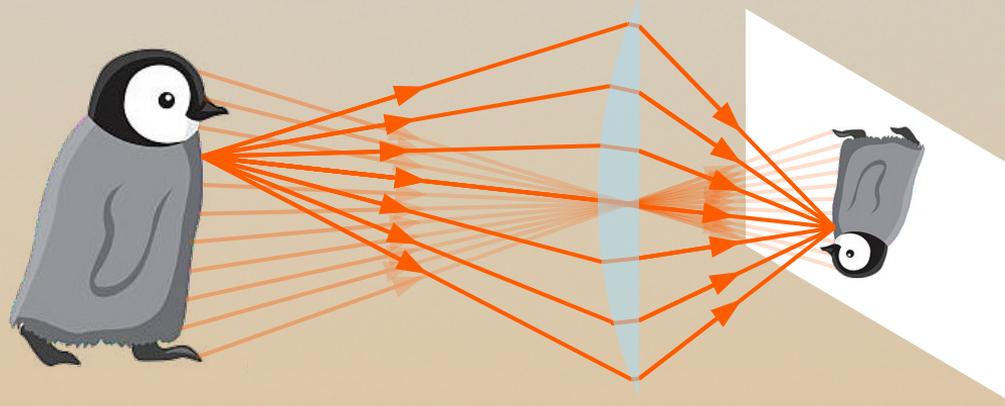
Imageur

Capteur

C'est quoi la lumière ?



Des rayons ? C'est facile à tracer !



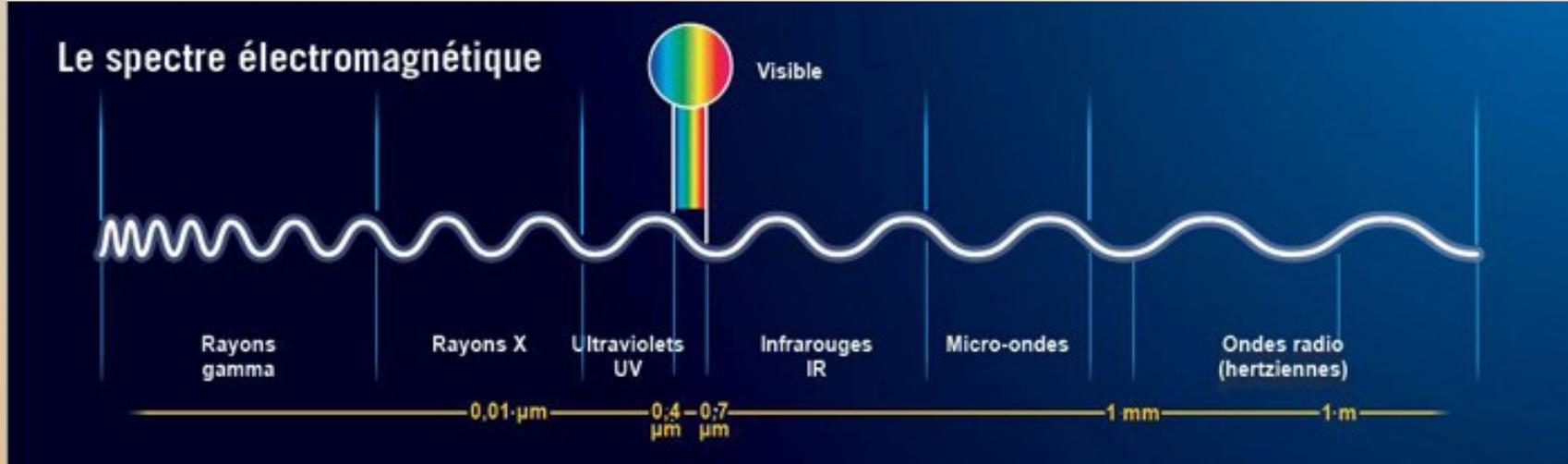
C'est suffisant pour expliquer pas mal de phénomènes

Parfait pour la taille d'un objet sur le capteur

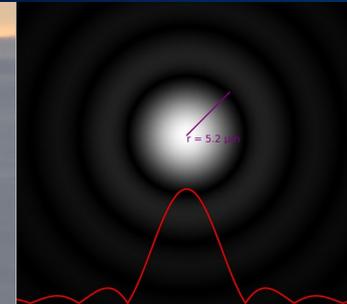
Suffisant pour comprendre les aberrations

Une onde ? C'est pas très intuitif !

La lumière, un morceau du spectre électromagnétique !



Nécessaire pour comprendre
les couleurs et la diffraction

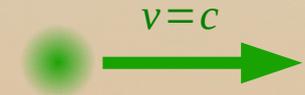


Un photon ? C'est quoi ce truc ?



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

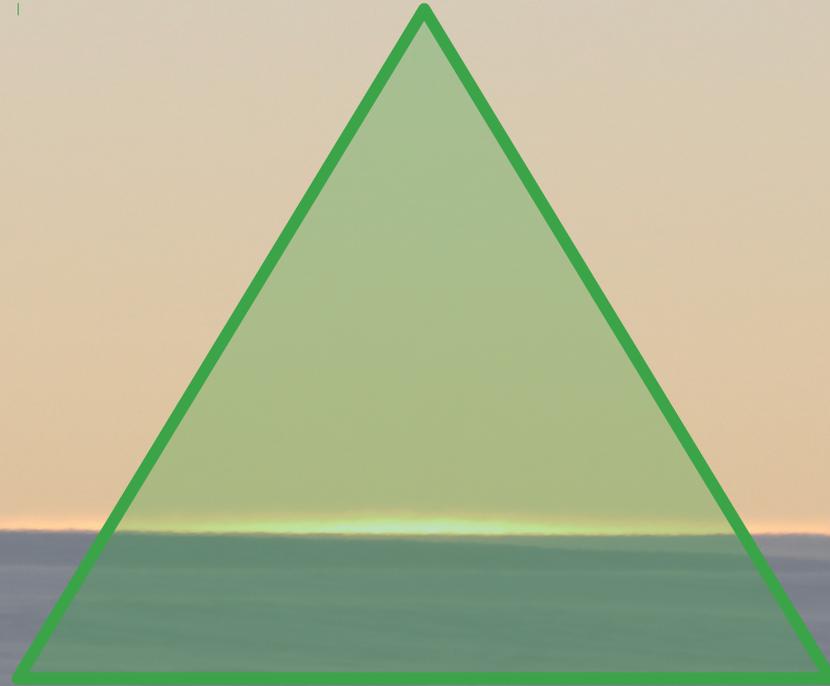


$$h\nu = W_s + \frac{1}{2}m\nu^2$$

Effet photo-électrique

Parlons capteur

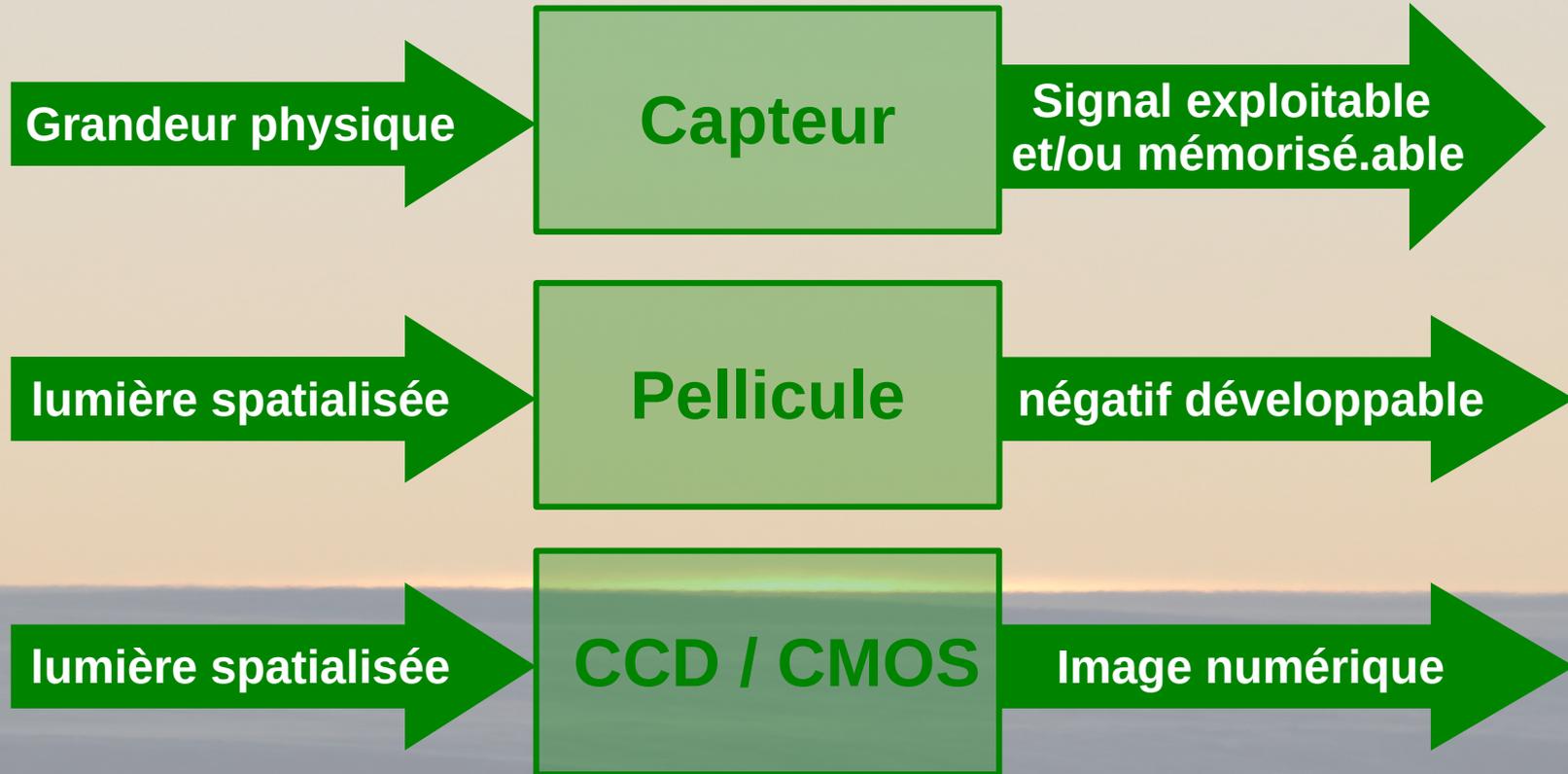
Lumière



Imageur

Capteur

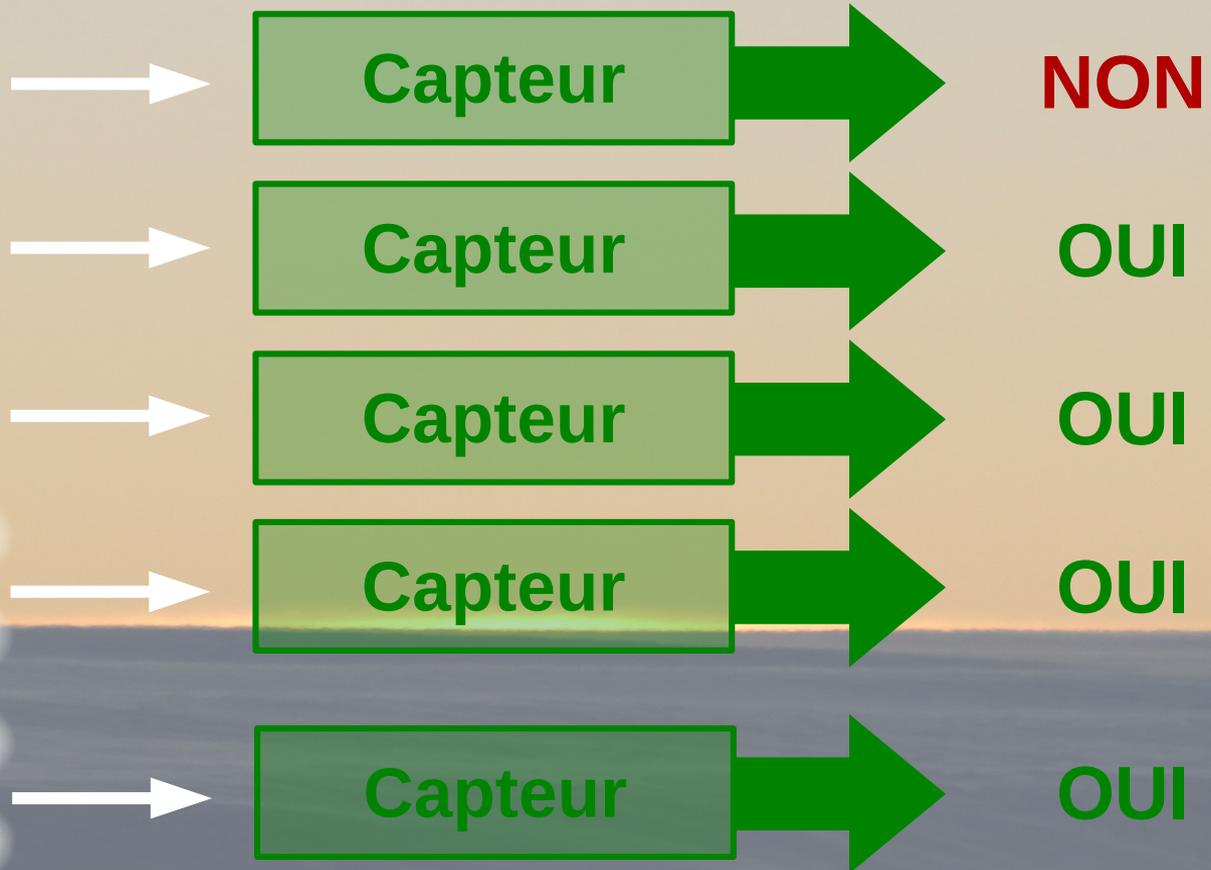
C'est quoi, un capteur ?



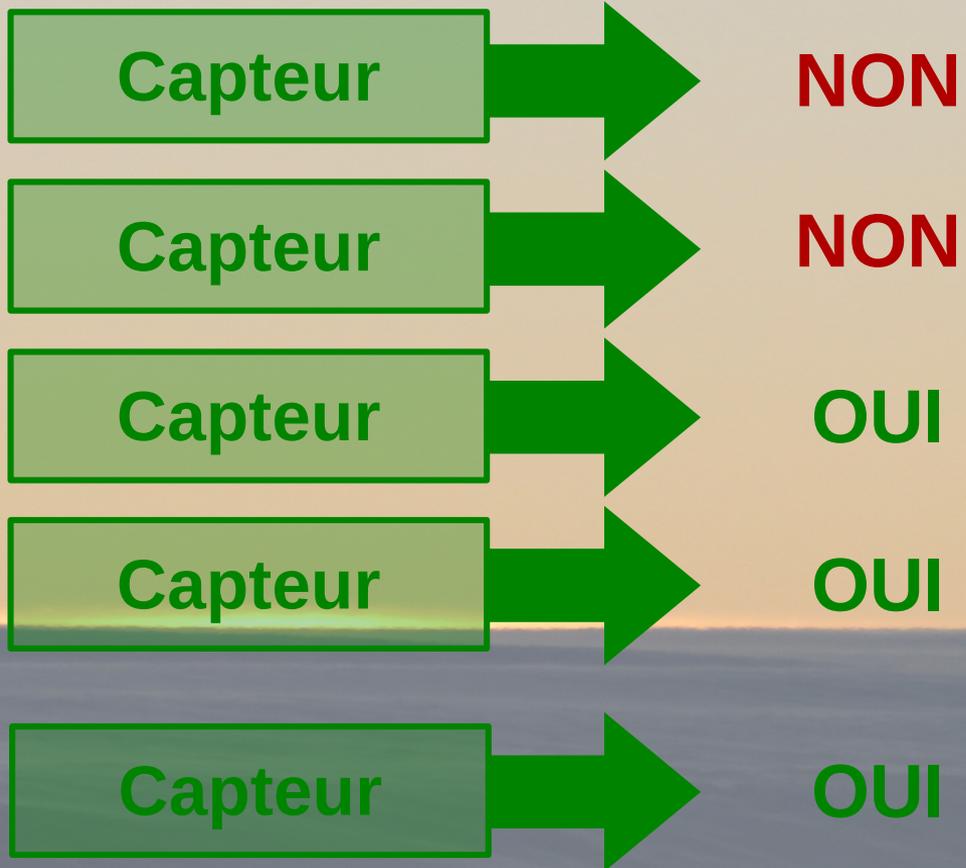
La grandeur physique d'entrée ?

On mesure la lumière

Une solution ?



Ou avec un seuil ...



Le résultat



La solution idéale

0

Capteur

0

1

Capteur

1

4

Capteur

4

17

Capteur

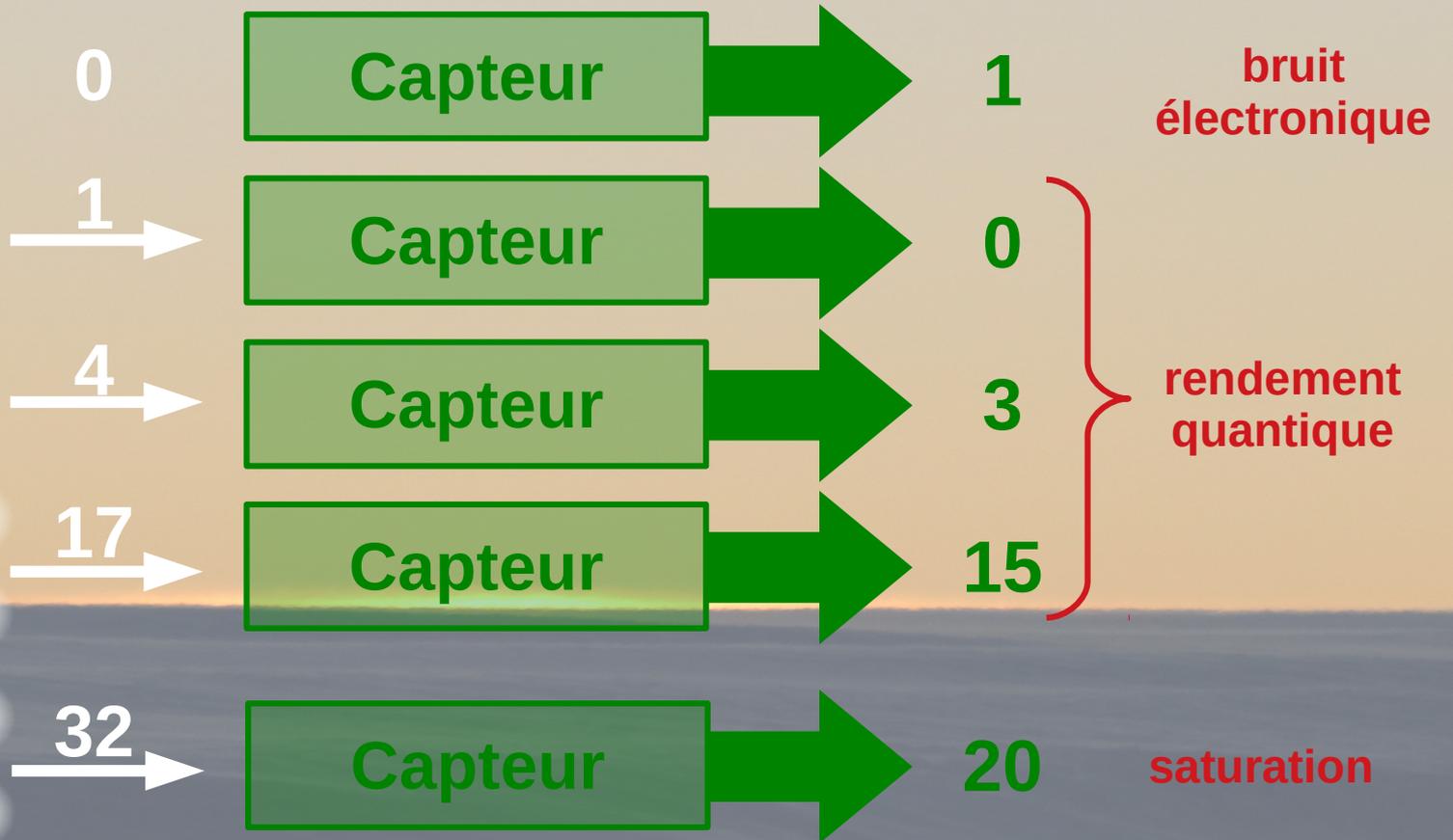
17

32

Capteur

32

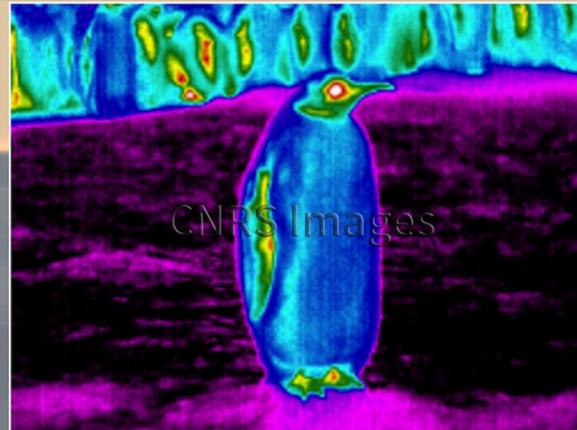
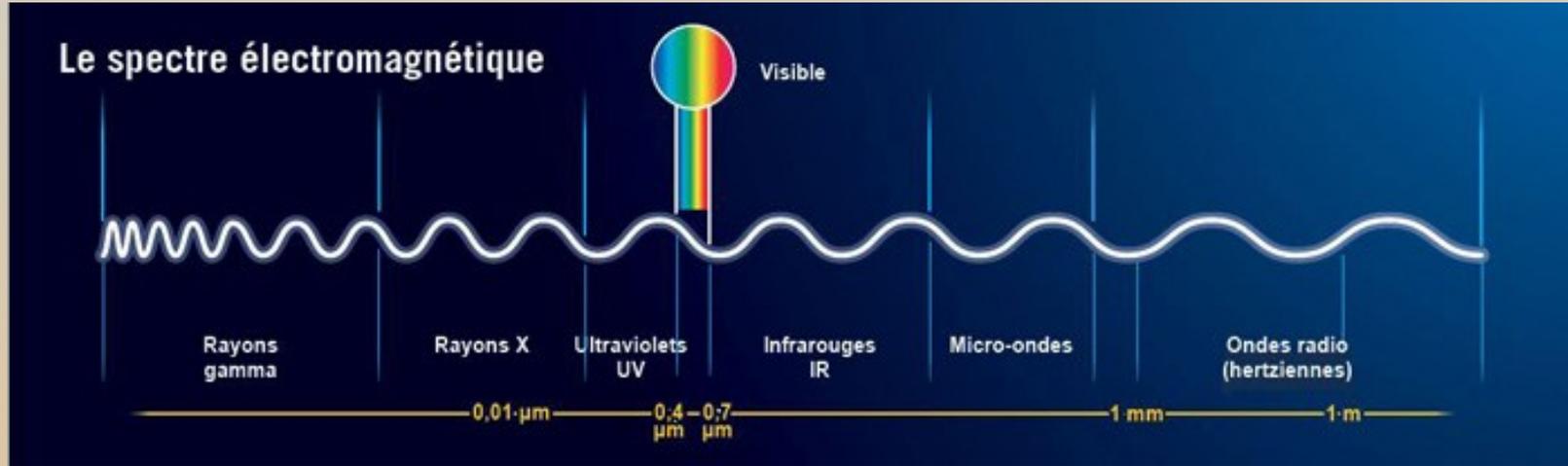
En pratique



La grandeur physique d'entrée ?

On mesure **une quantité** de lumière

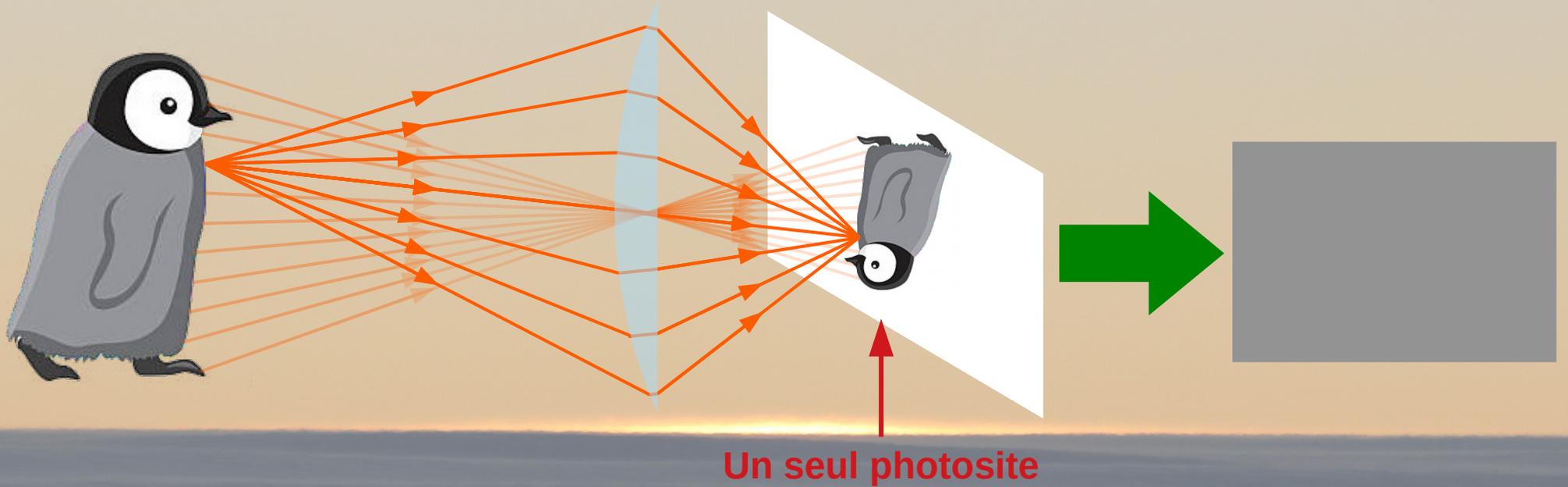
Quelle lumière nous intéresse ?



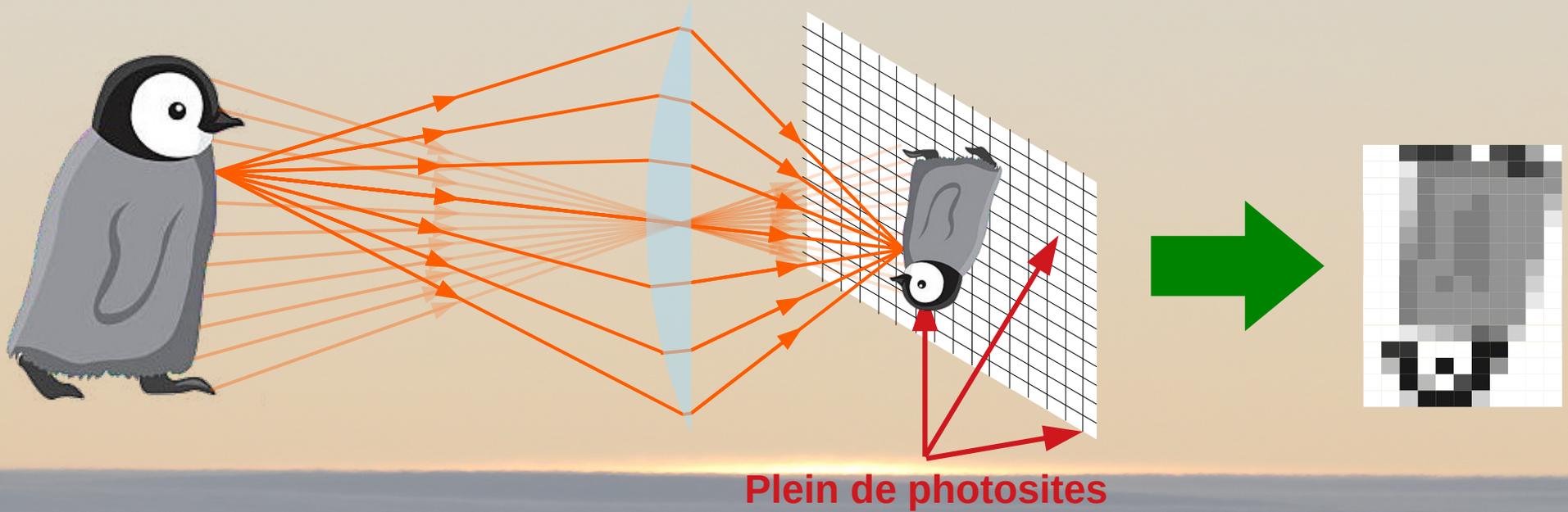
La grandeur physique d'entrée ?

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

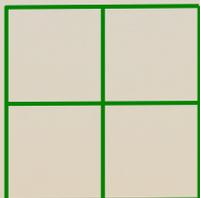
La lumière spatialisée



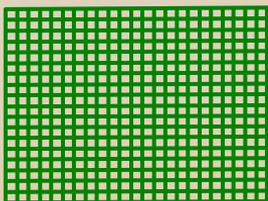
La lumière spatialisée



La définition d'image



$2 \times 2 = 4$ pixels



$23 \times 18 = 414$ pixels

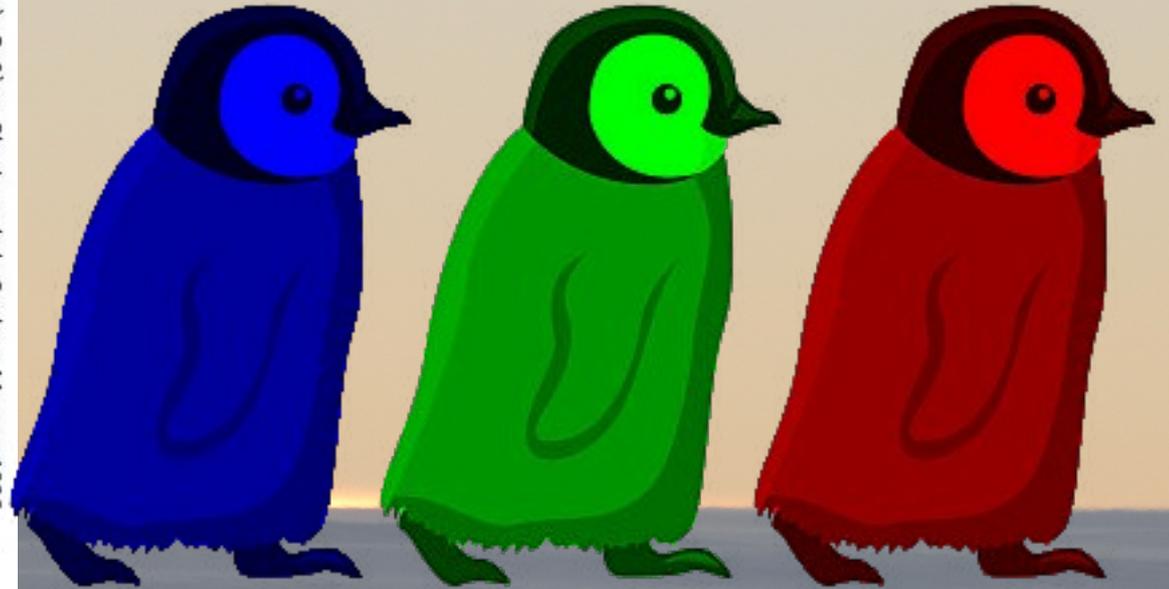
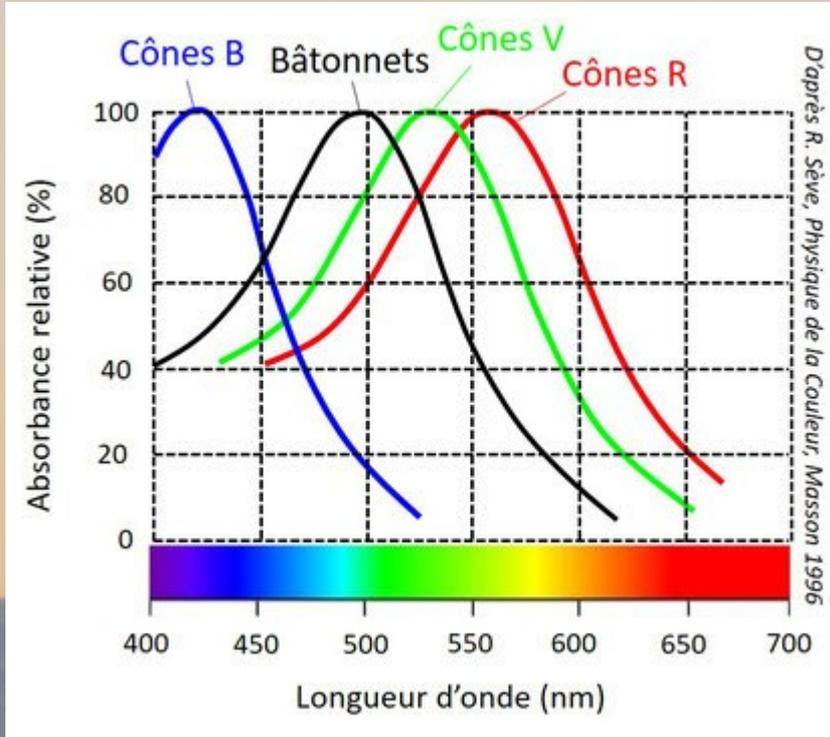


$6288 \times 4056 = 25\,504\,128$ pixels
 $\approx 25,5$ Méga pixels

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 ?

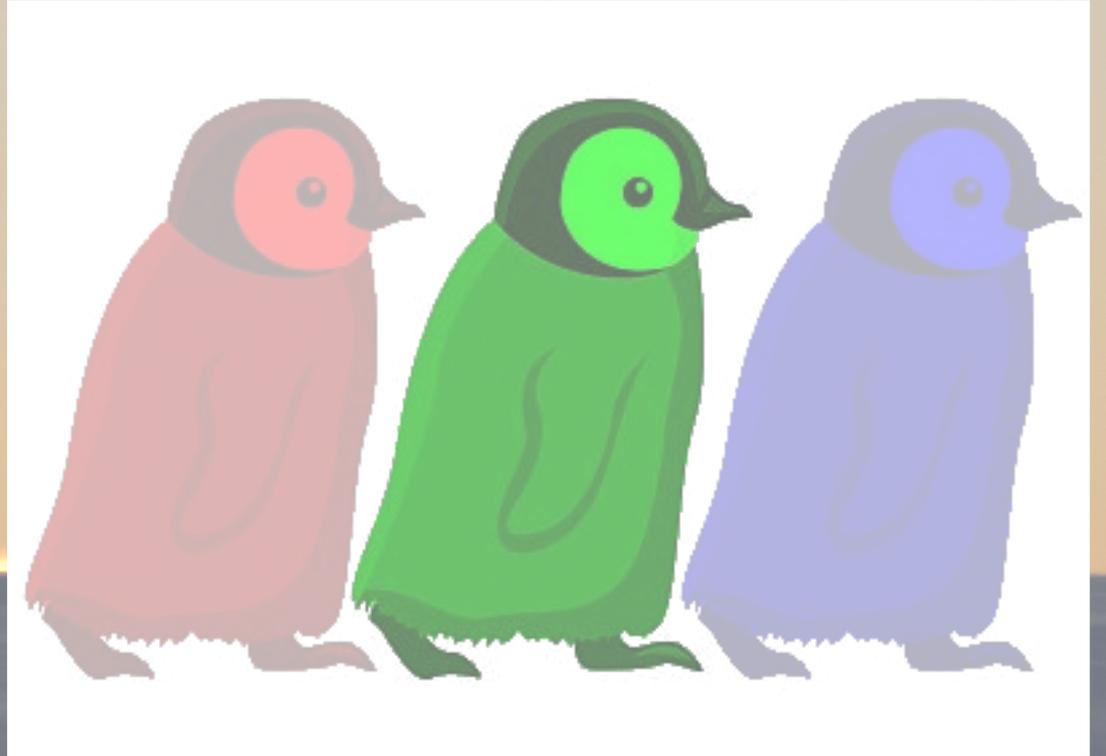
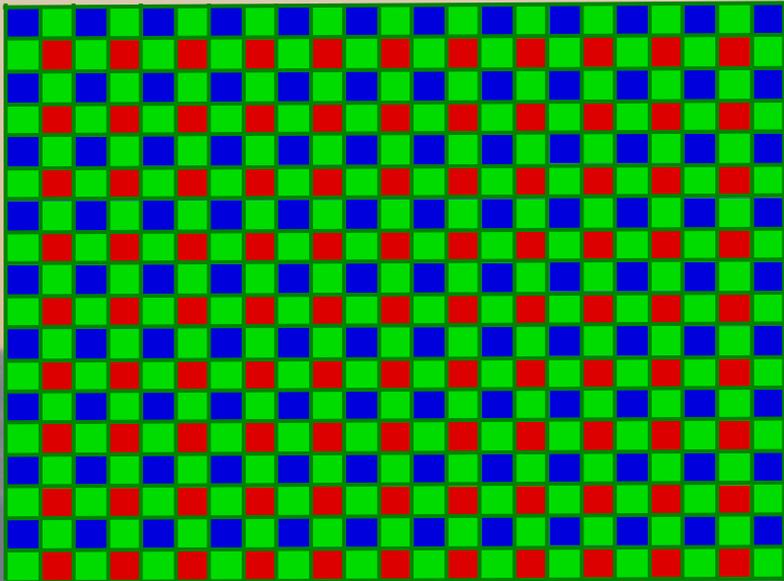
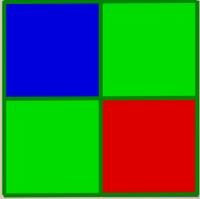


Vision photopique (de jour)

Synthèse additive



Matrice de Bayer

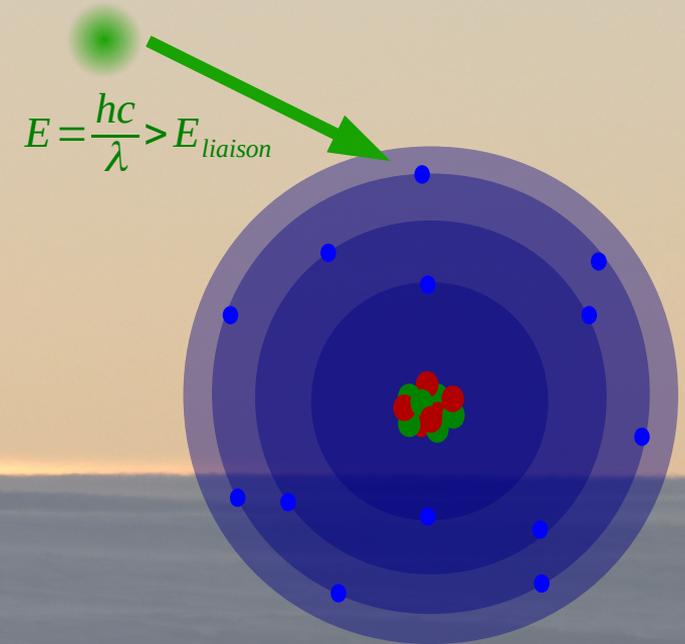
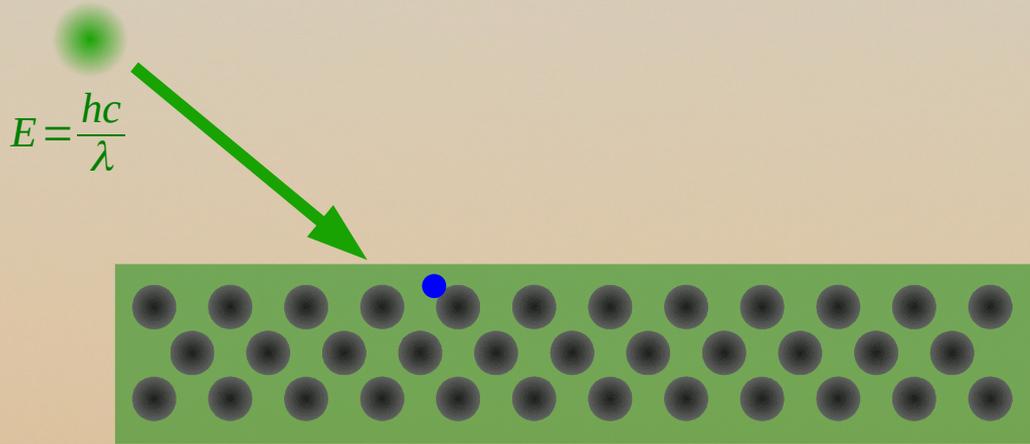


La grandeur physique d'entrée ?

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

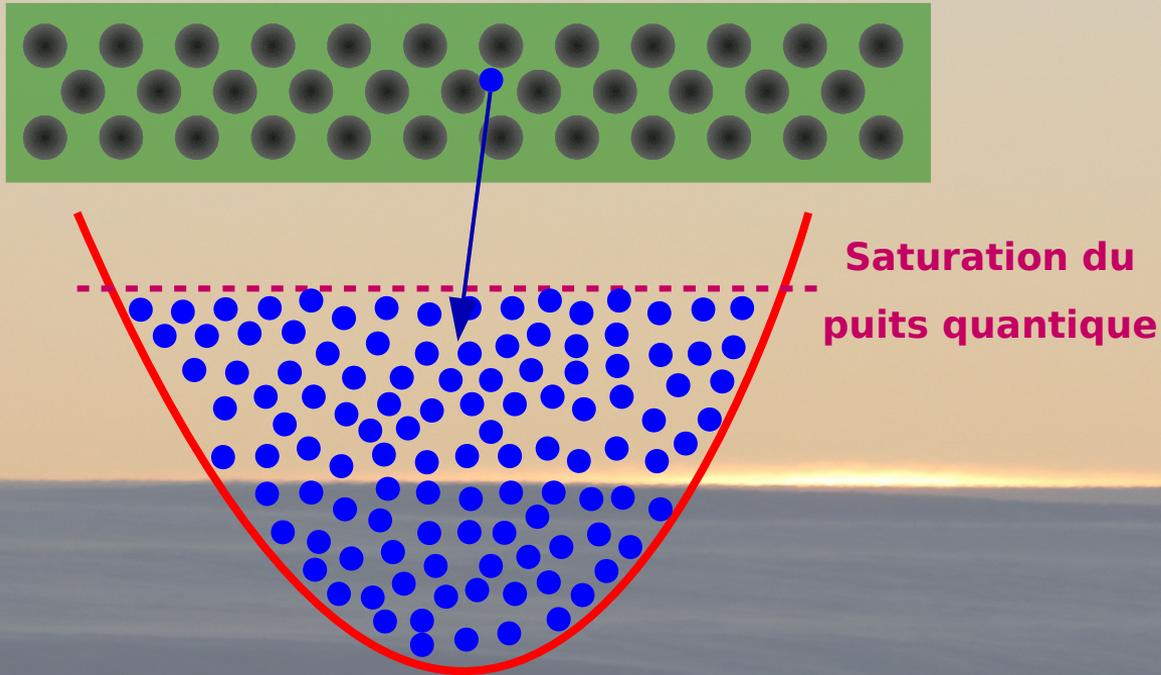
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 1 : effet photo-électrique



Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 2 : Le puits quantique

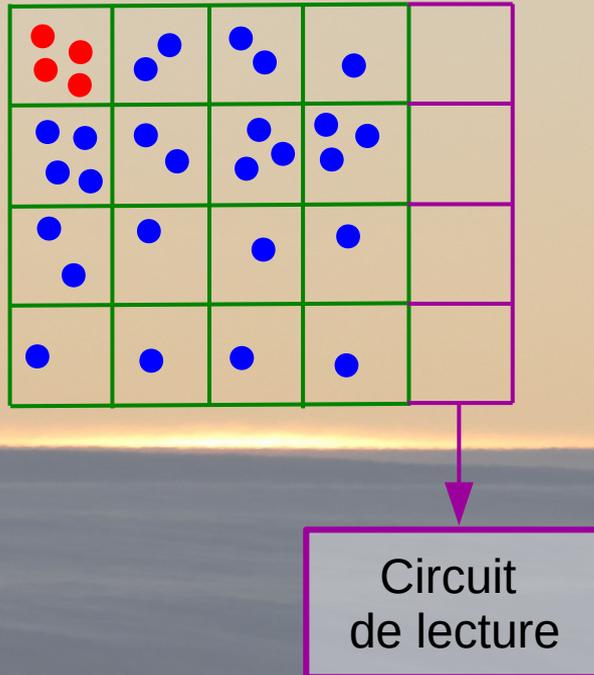


« Oupsi, j'ai saturé mes puits quantiques »



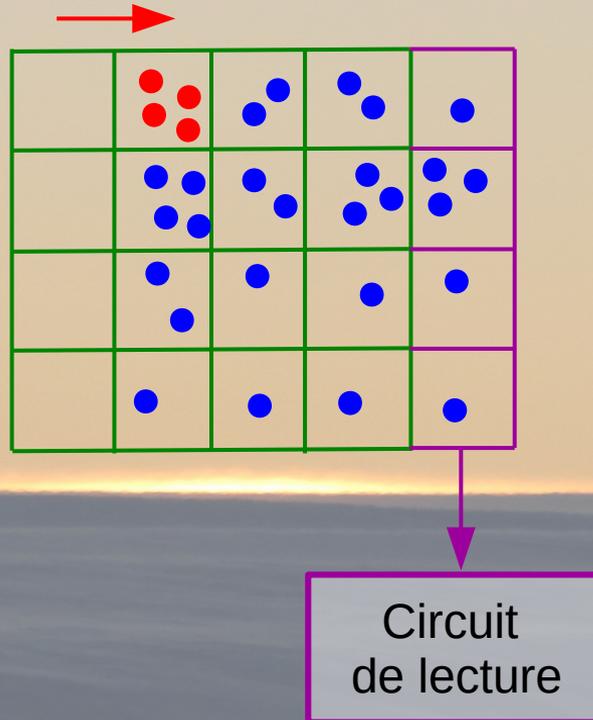
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



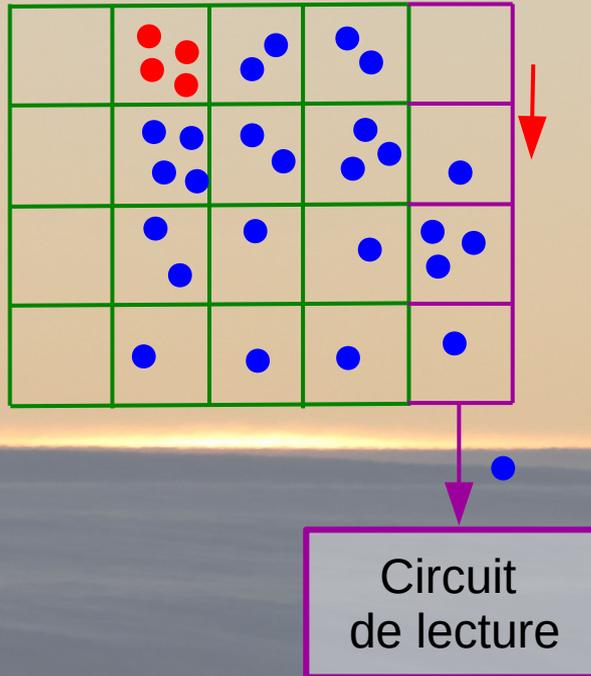
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



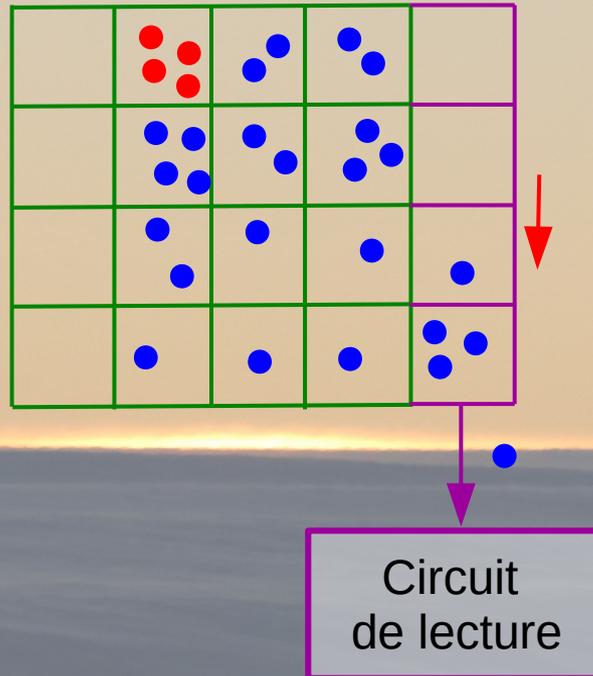
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



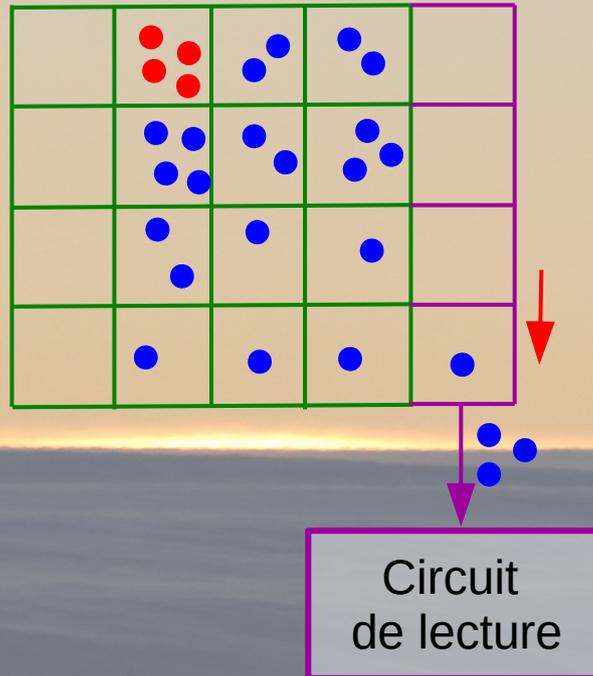
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



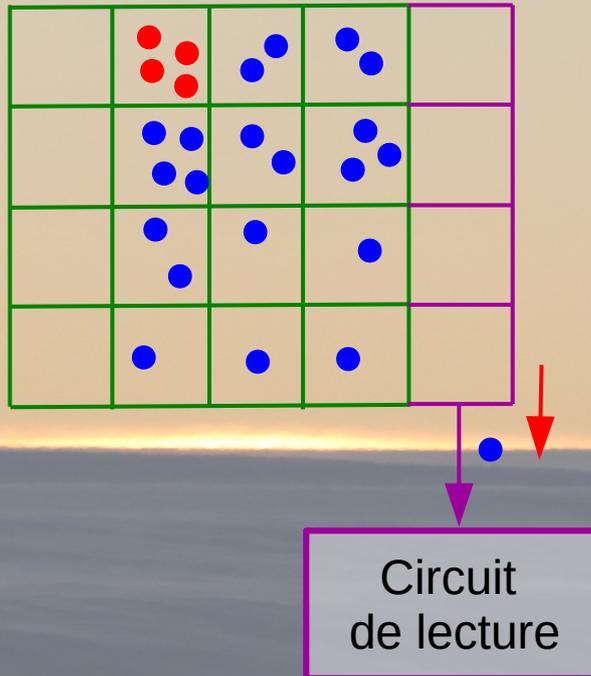
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



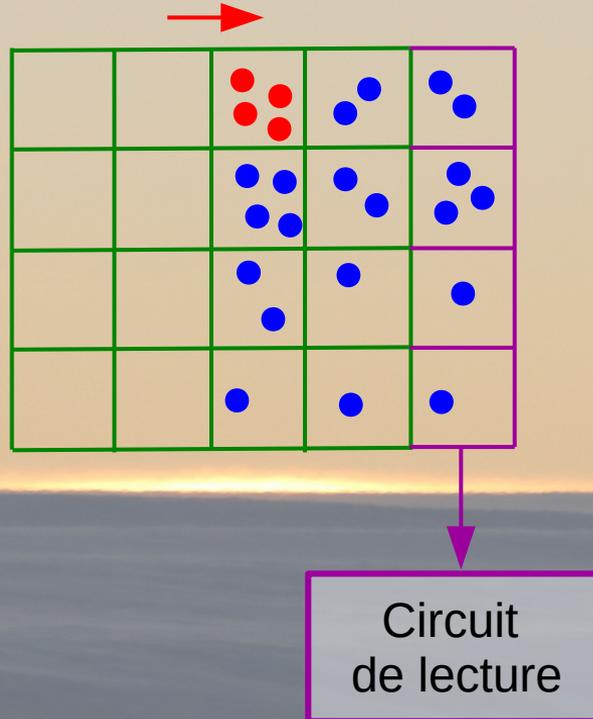
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



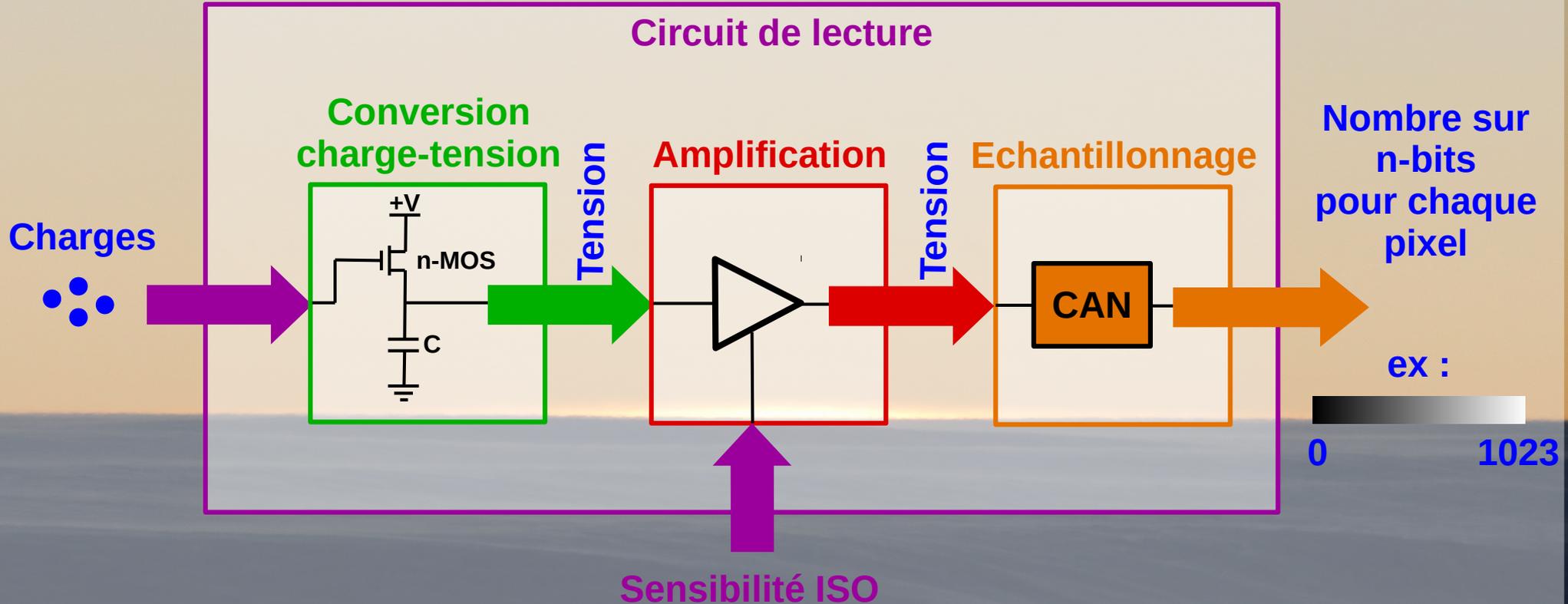
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 3 : Le transfert de charges



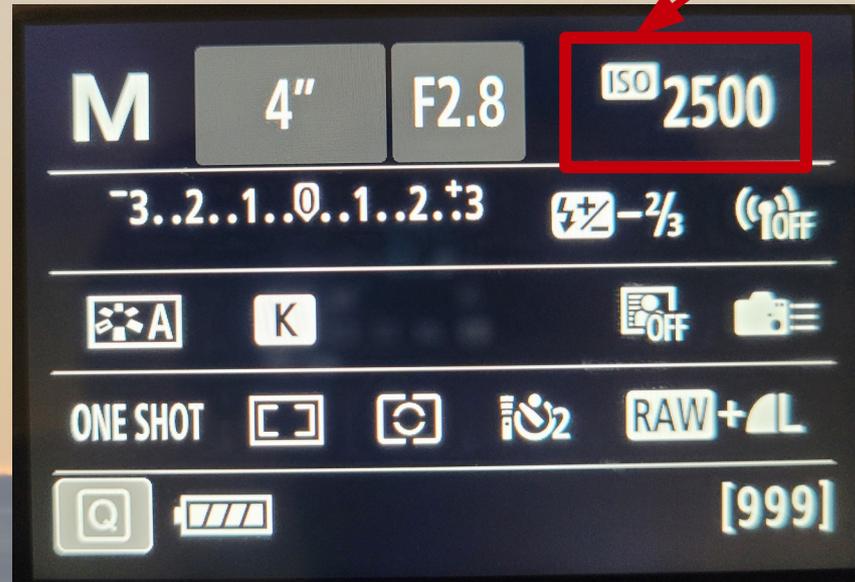
Comment ça marche un capteur CCD ?

Etape 4 : La conversion en image numérique



La sensibilité ISO

C'est elle

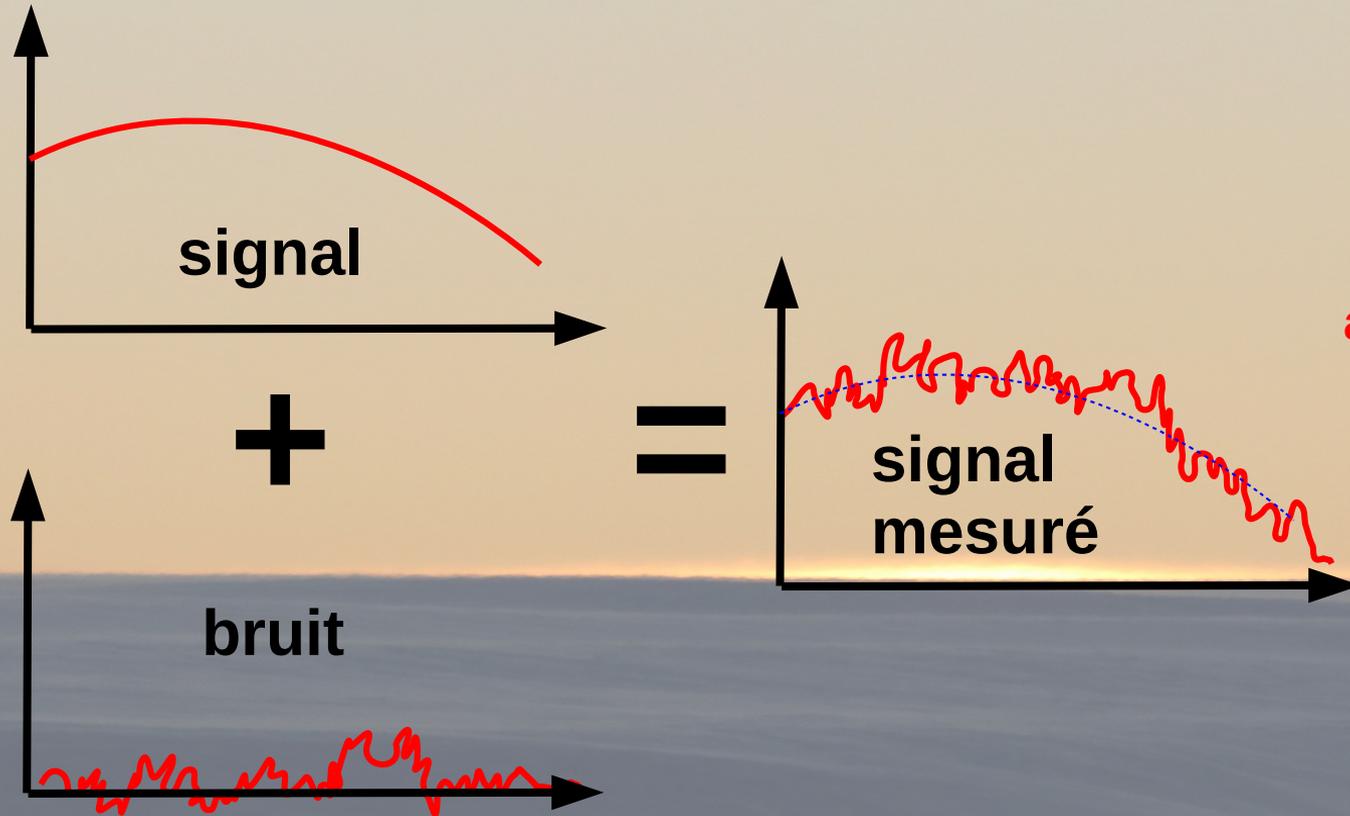


La sensibilité ISO

- 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

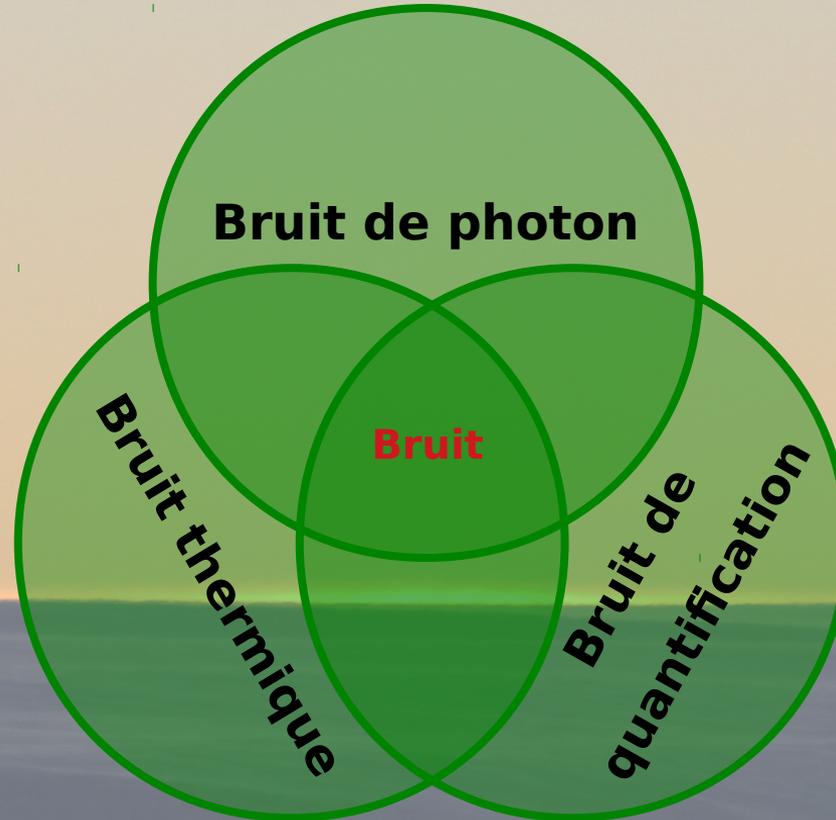
C'est quoi un bruit ?



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

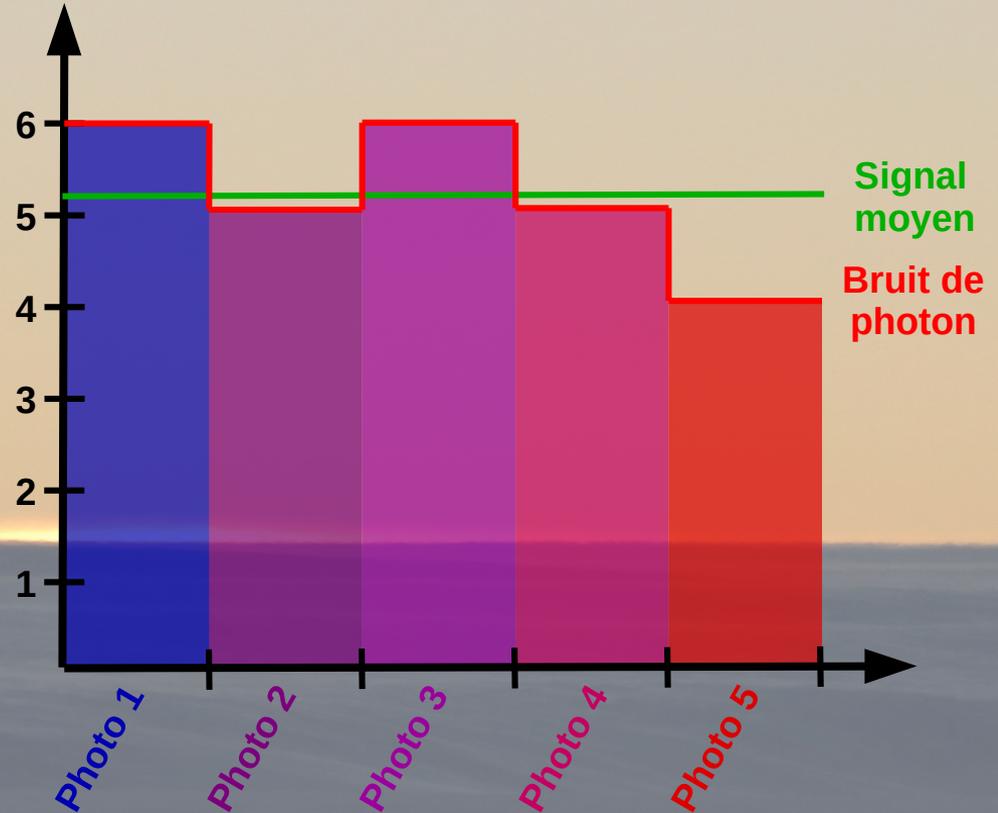
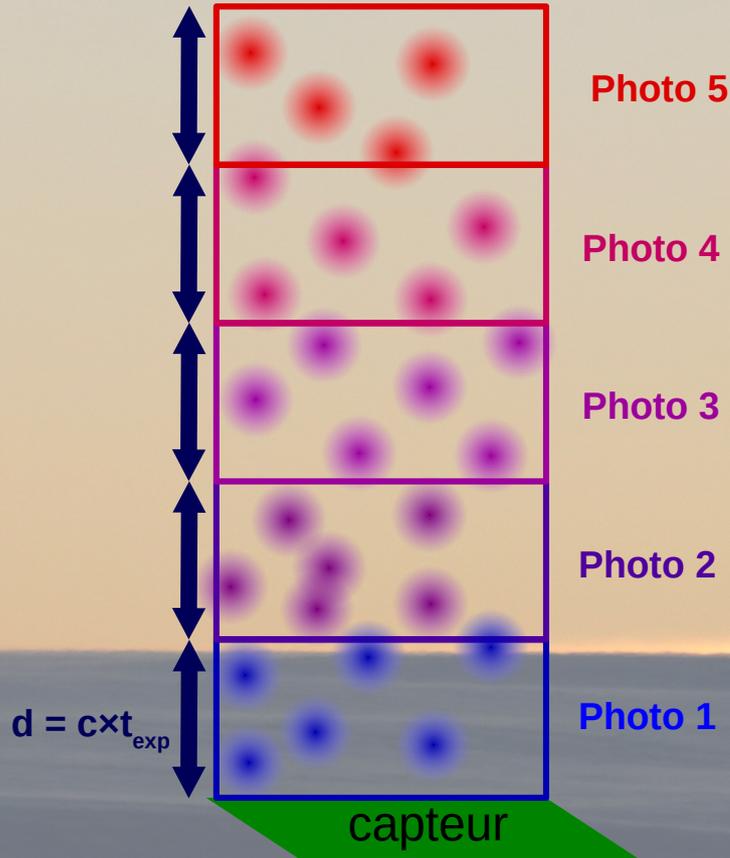
aussi grand que possible

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 ? »

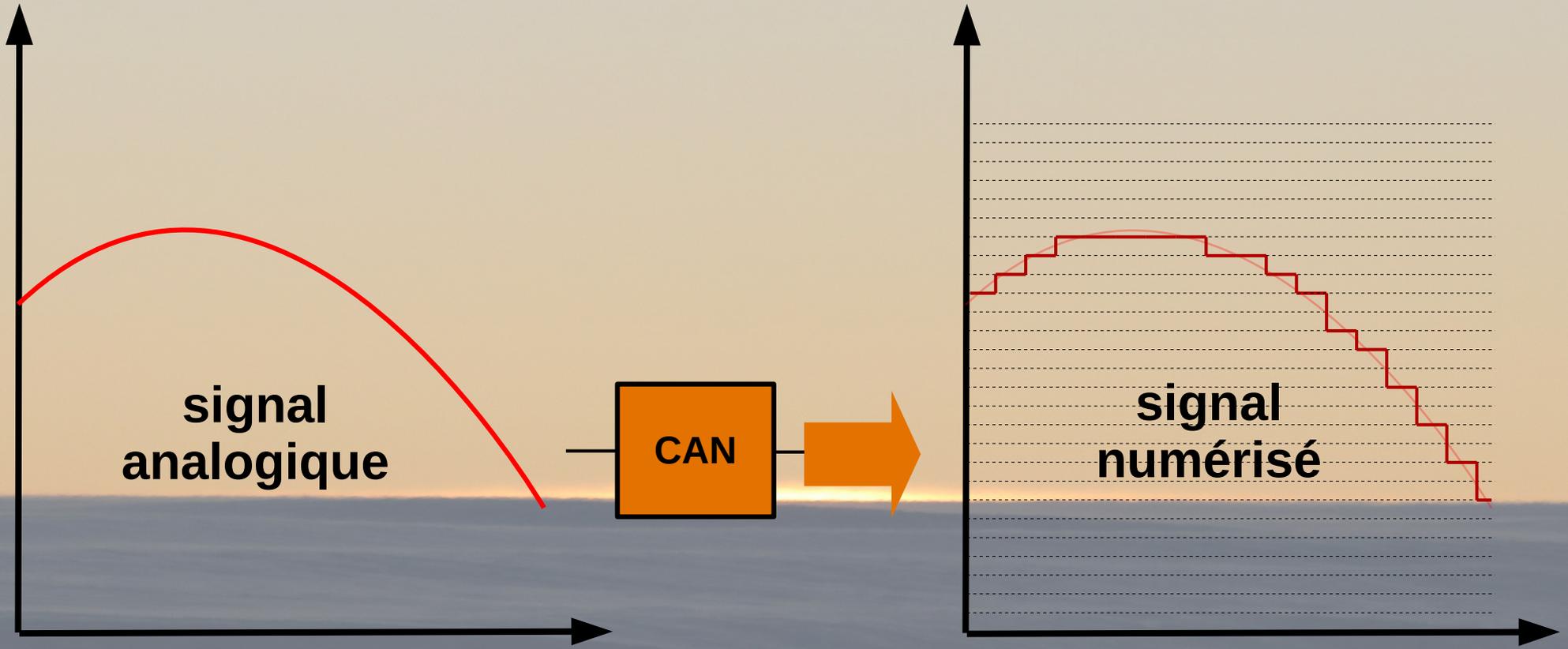
- capteur refroidi (un peu en visible, beaucoup en IR)

« un mouvement ordonné de particules chargées »

Ici, en Antarctique, par -20°C , on réduit de 14 % le

« **bruit thermique par rapport à la métropole (20°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)

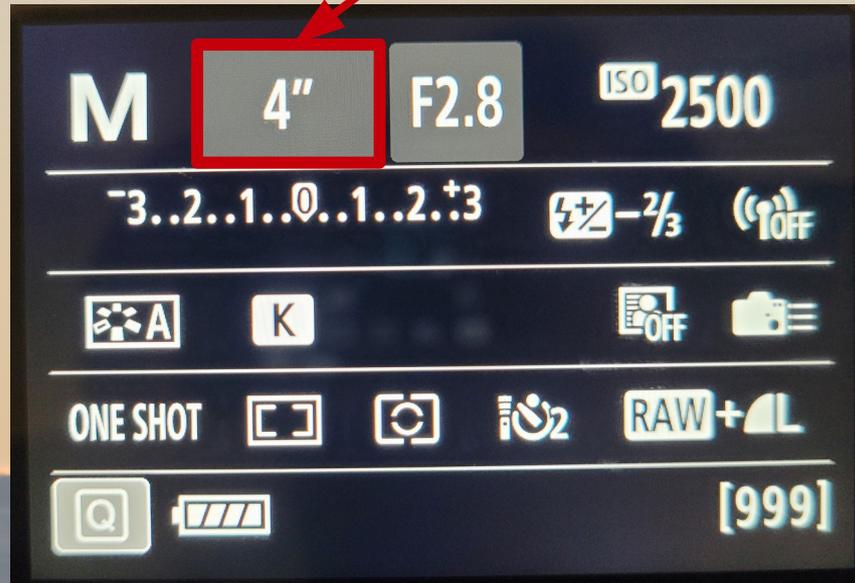
signal
analogique



signal
numérisé

La durée d'exposition

C'est elle



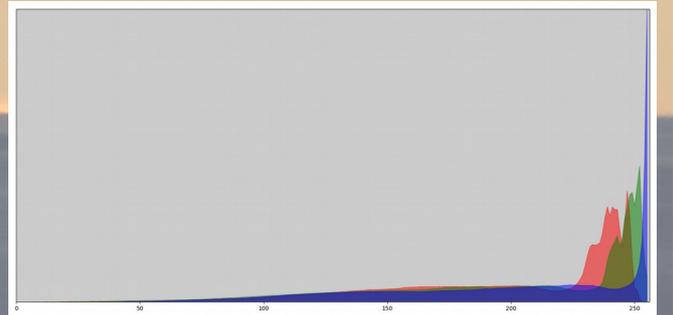
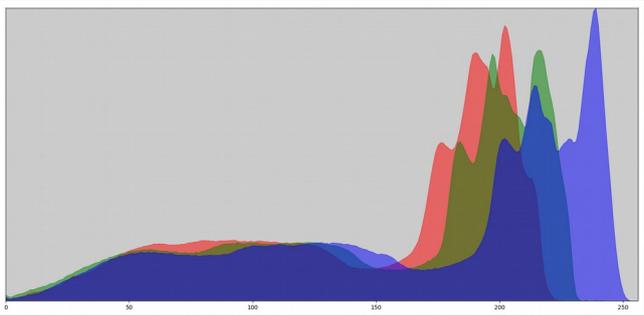
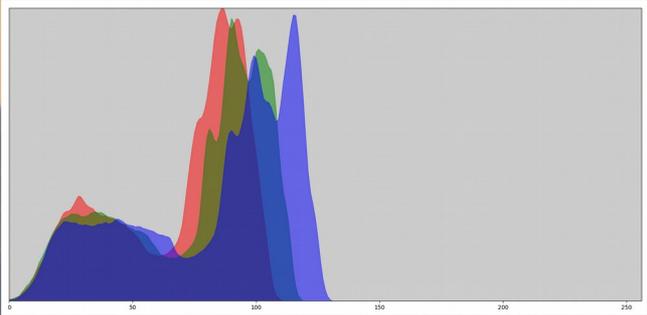
La durée d'exposition

- 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.

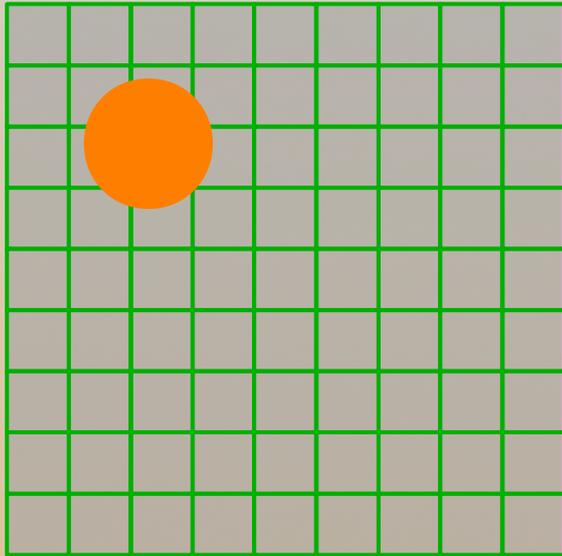
La grandeur physique d'entrée ?

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

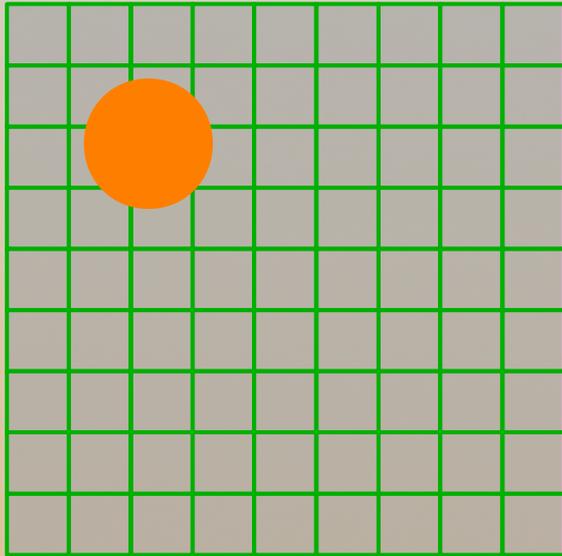


Flou de bouger

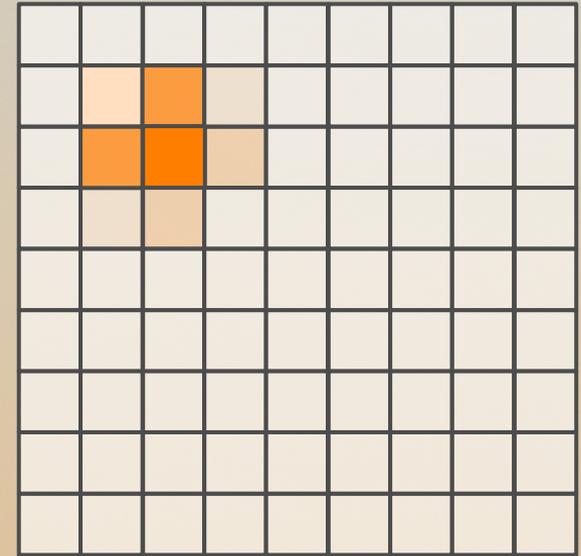


capteur

Flou de bouger

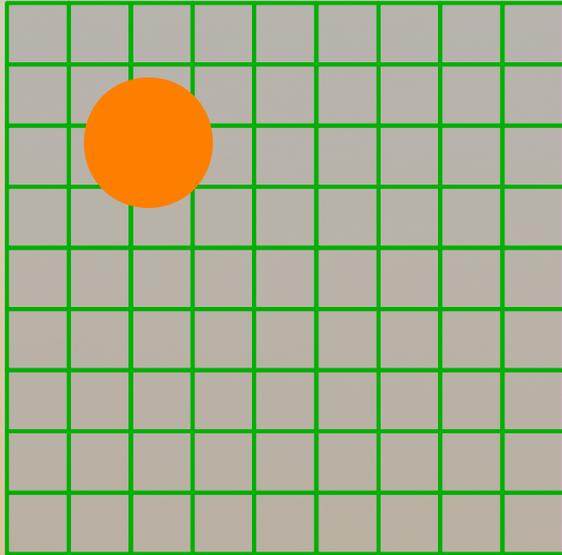


capteur



IM_0001.JPEG

Flou de bouger

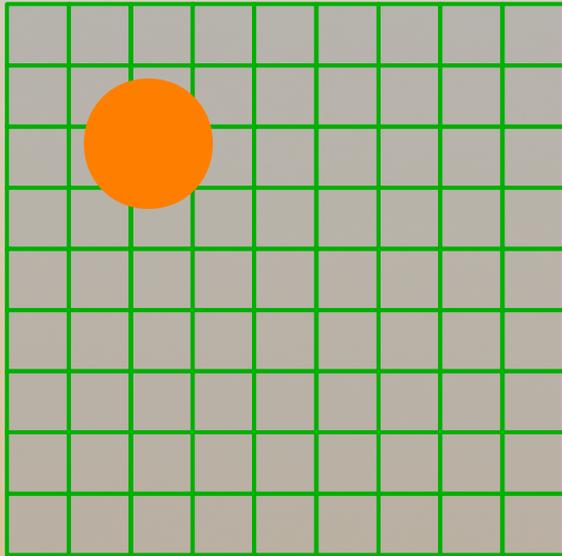


capteur



Obturbateur
fermé

Flou de bouger

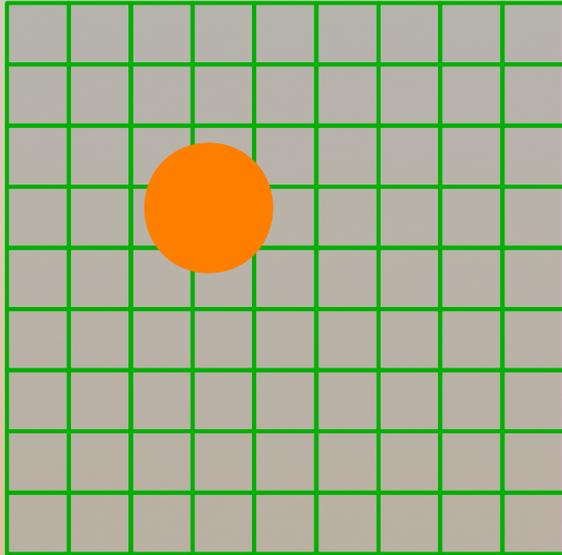


capteur



Obturbateur
ouvert

Flou de bouger

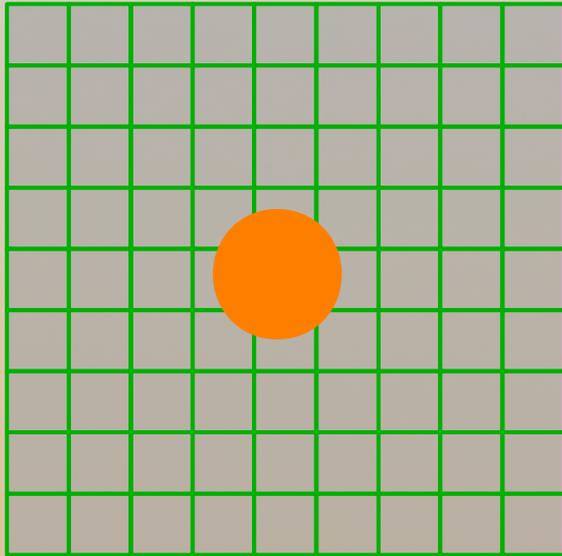


capteur



Obturbateur
ouvert

Flou de bouger

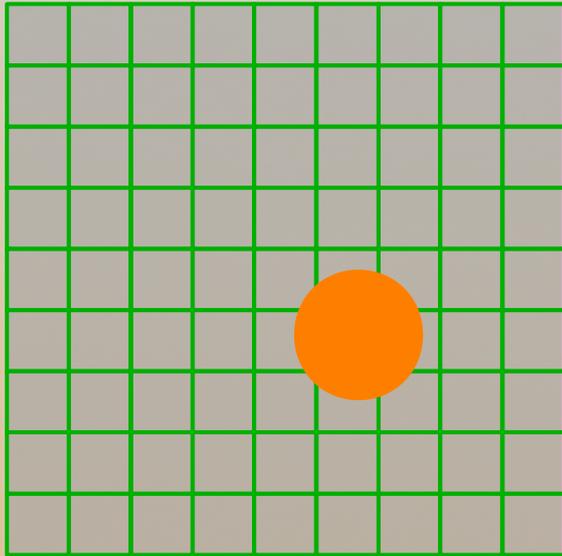


capteur



Obturbateur
ouvert

Flou de bouger

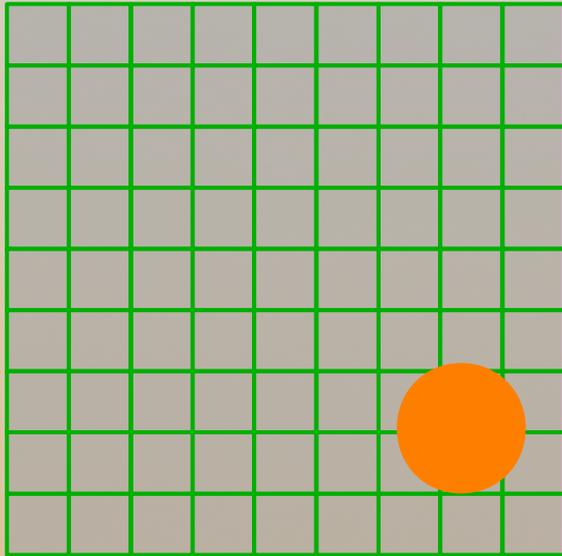


capteur



Obturbateur
ouvert

Flou de bouger

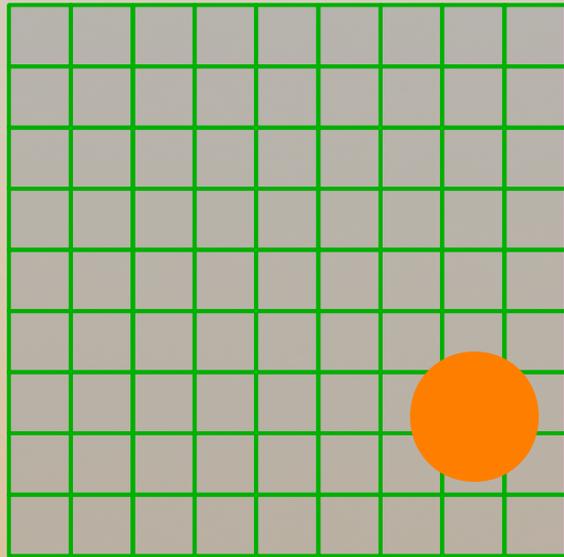


capteur

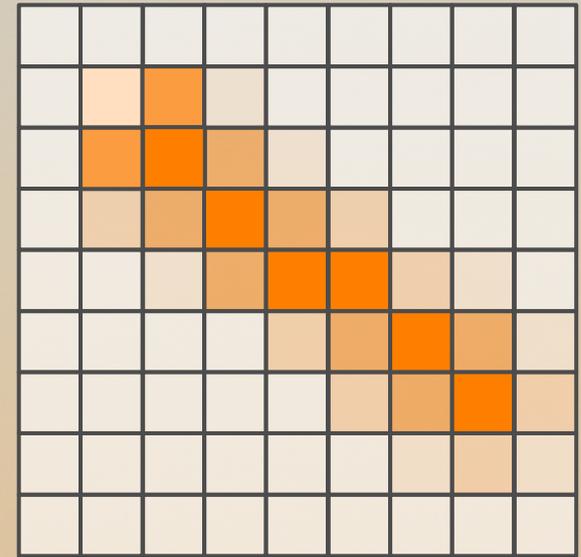


Obturbateur
ouvert

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 :

capteur

IM_0001.JPEG

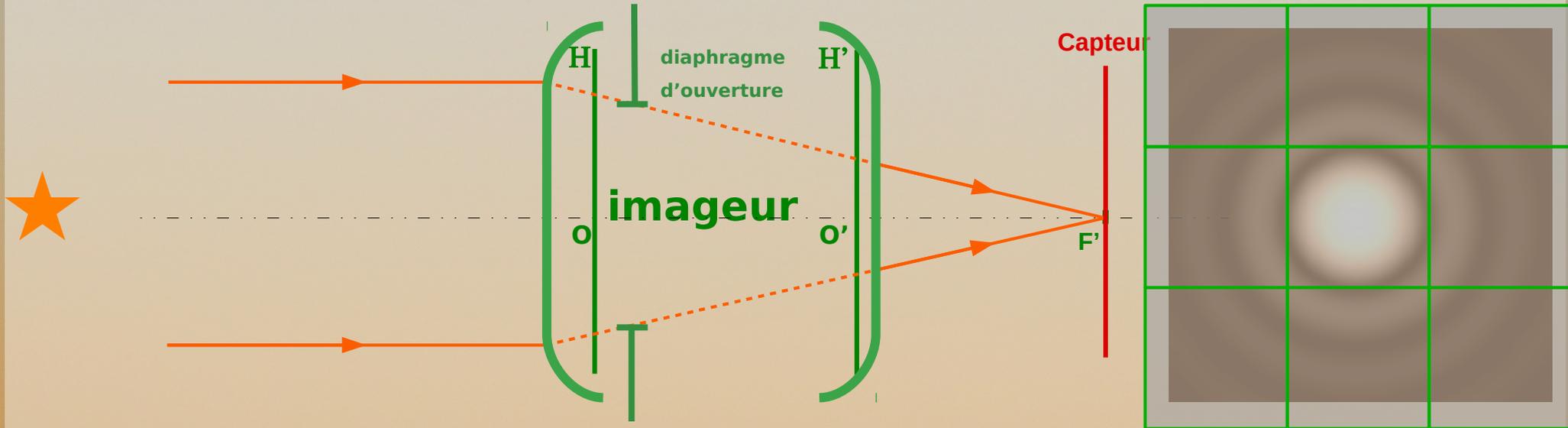
- Diminuer la durée d'exposition



Obturbateur
fermé

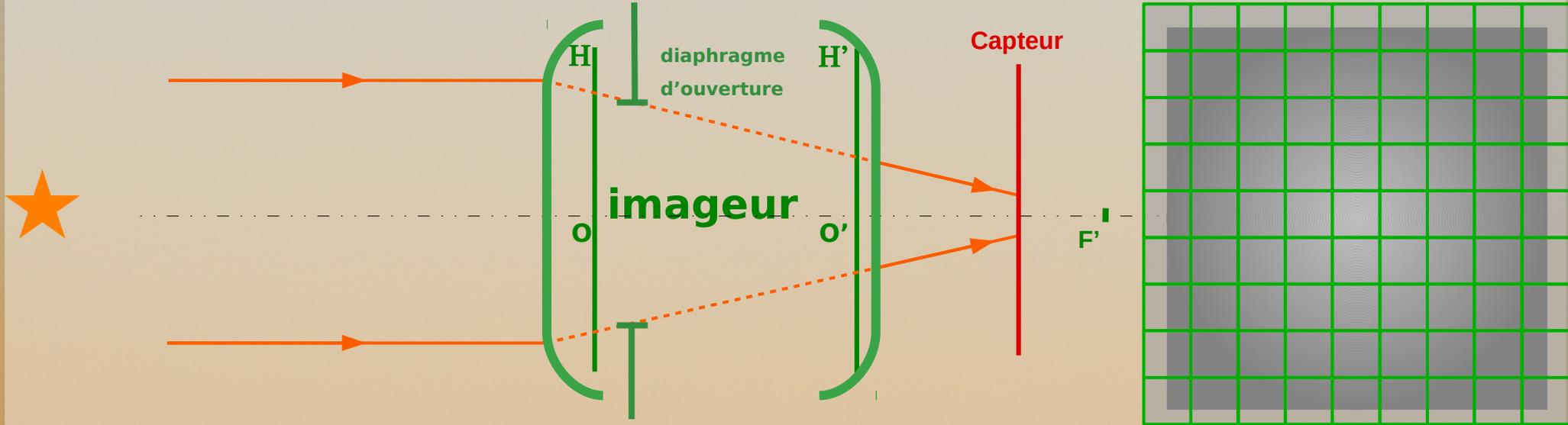
- Utiliser un trépied pour les pauses longues (>1/20'')

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 ?

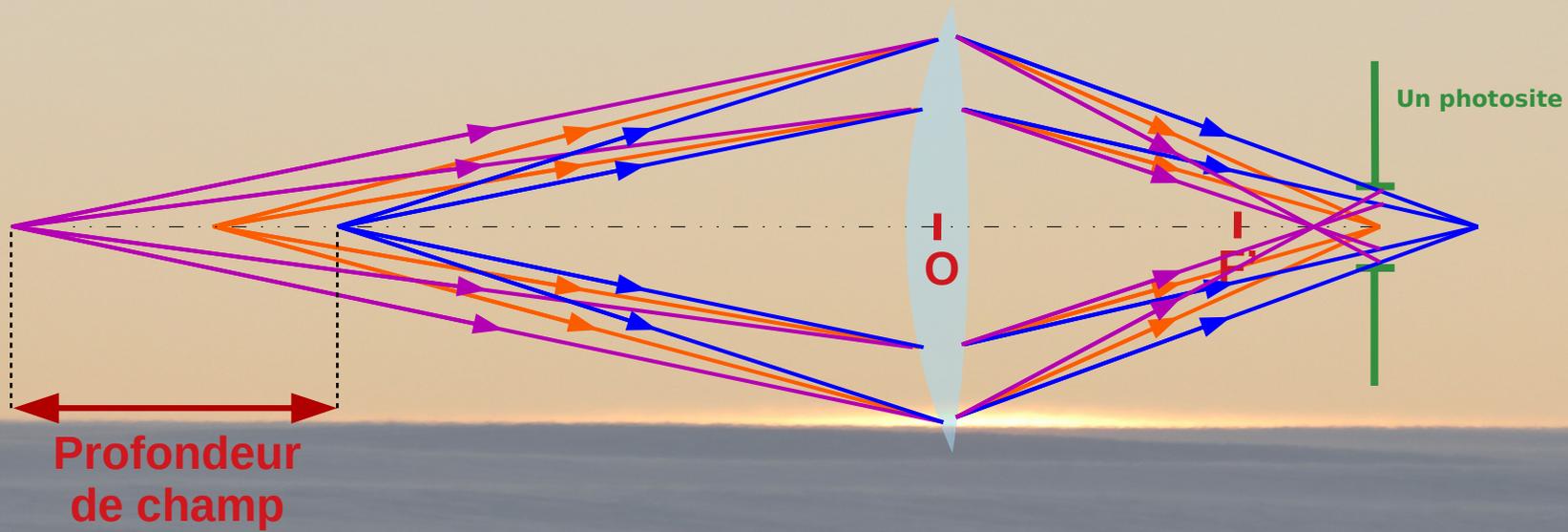


Grande profondeur de champ



Faible profondeur de champ

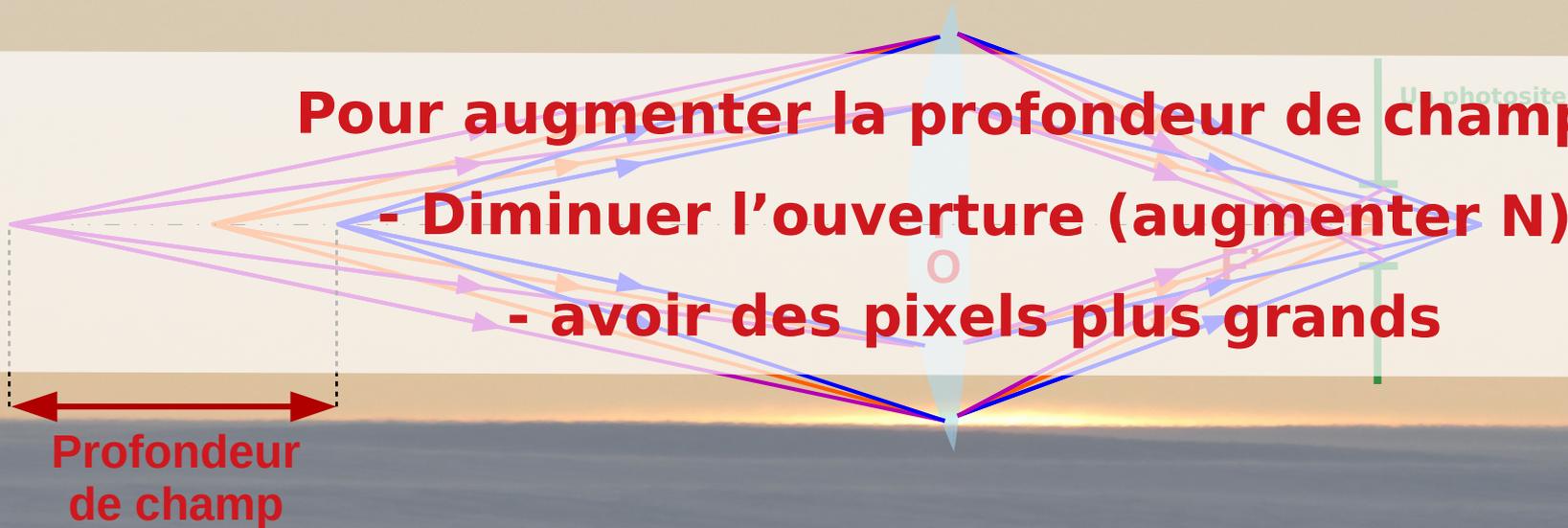
Et la profondeur de champ ?



Et la profondeur de champ ?

Pour augmenter la profondeur de champ :

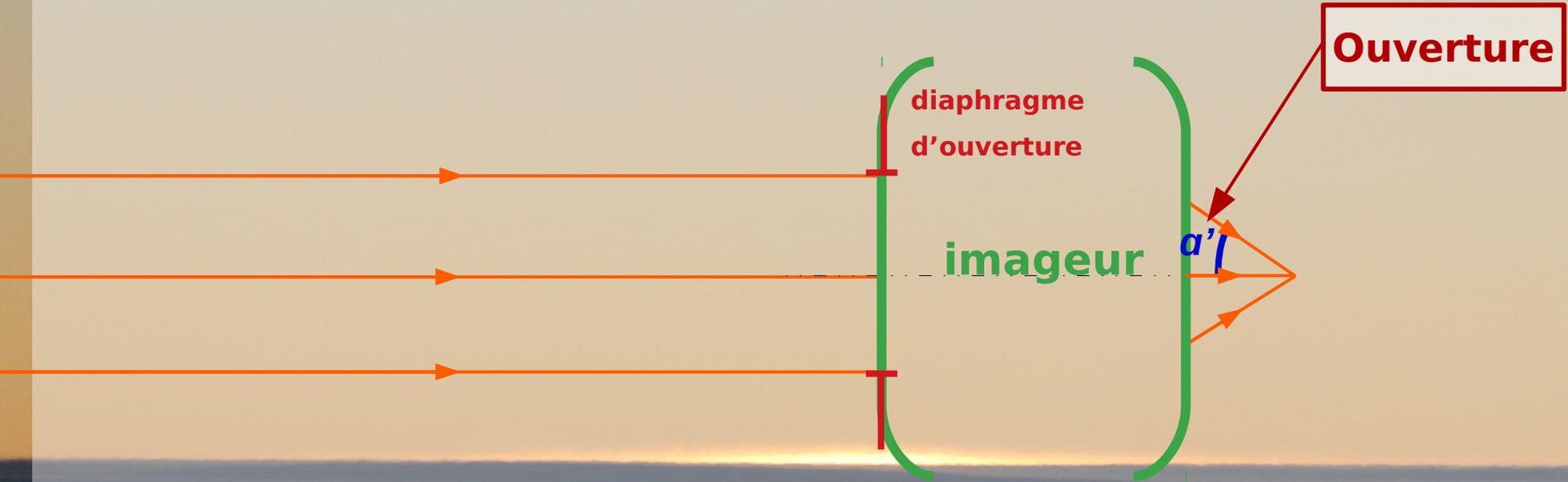
- Diminuer l'ouverture (augmenter N)
- avoir des pixels plus grands



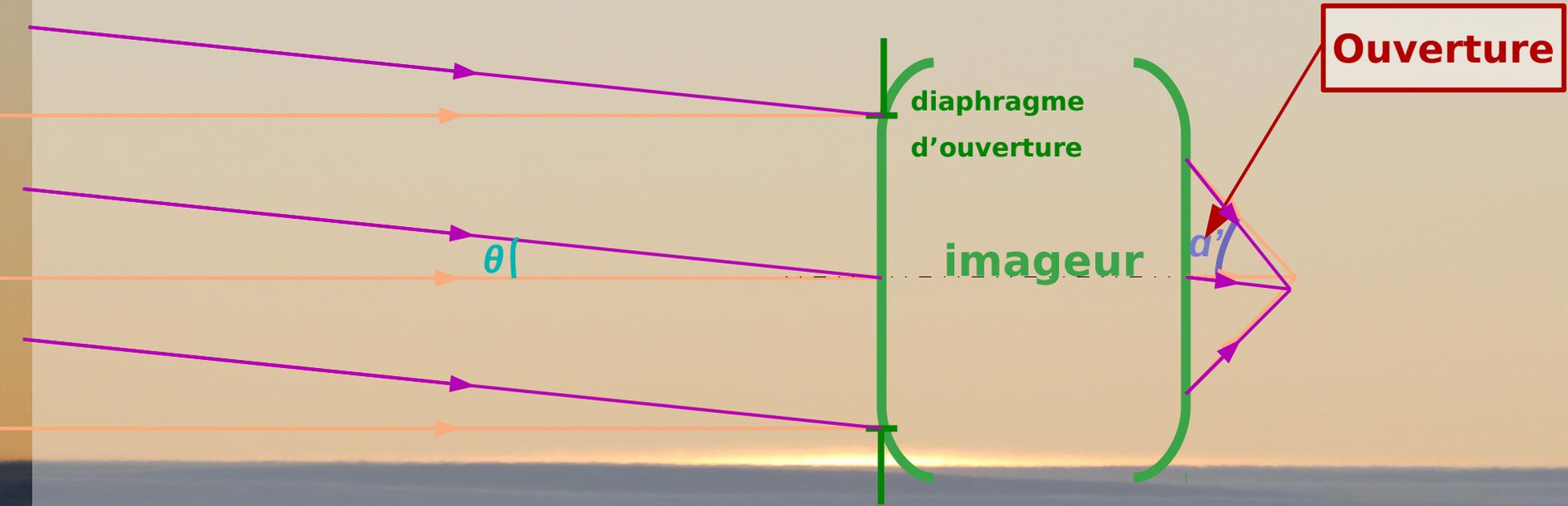
On résume tout ça ?



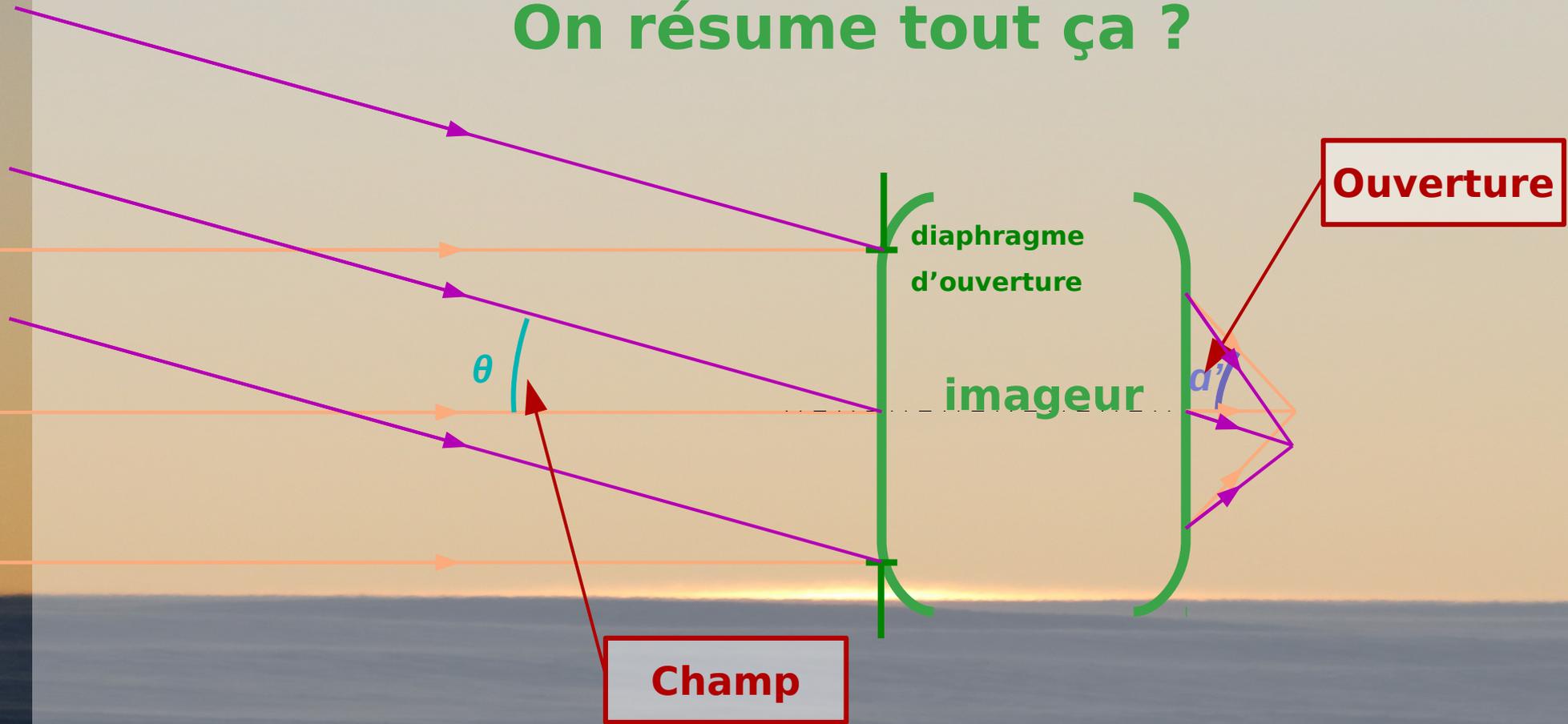
On résume tout ça ?



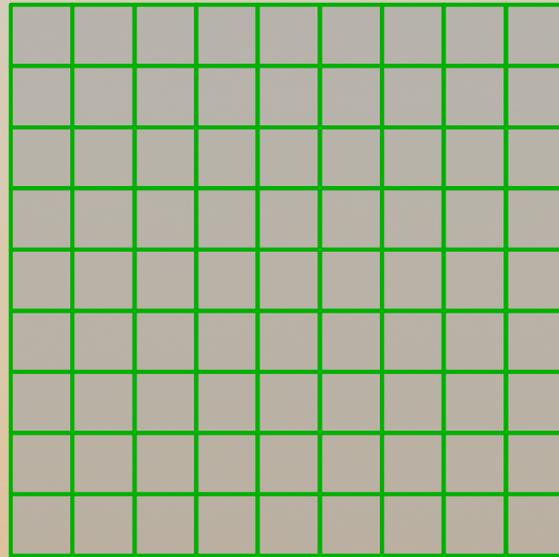
On résume tout ça ?



On résume tout ça ?

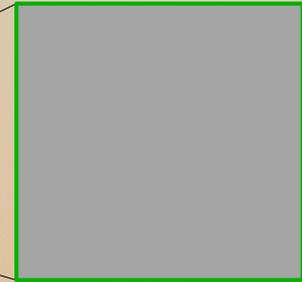


On résume tout ça ?



Taille photosite

4 μm



9 x 9 = 81 px

Définition d'image

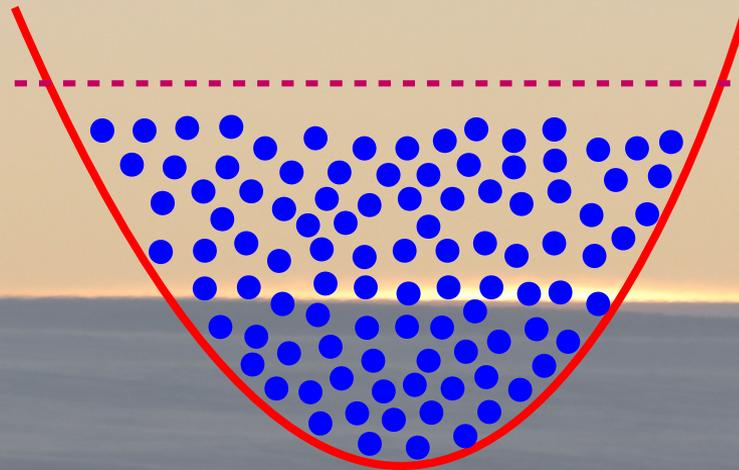
On résume tout ça ?



Durée d'exposition

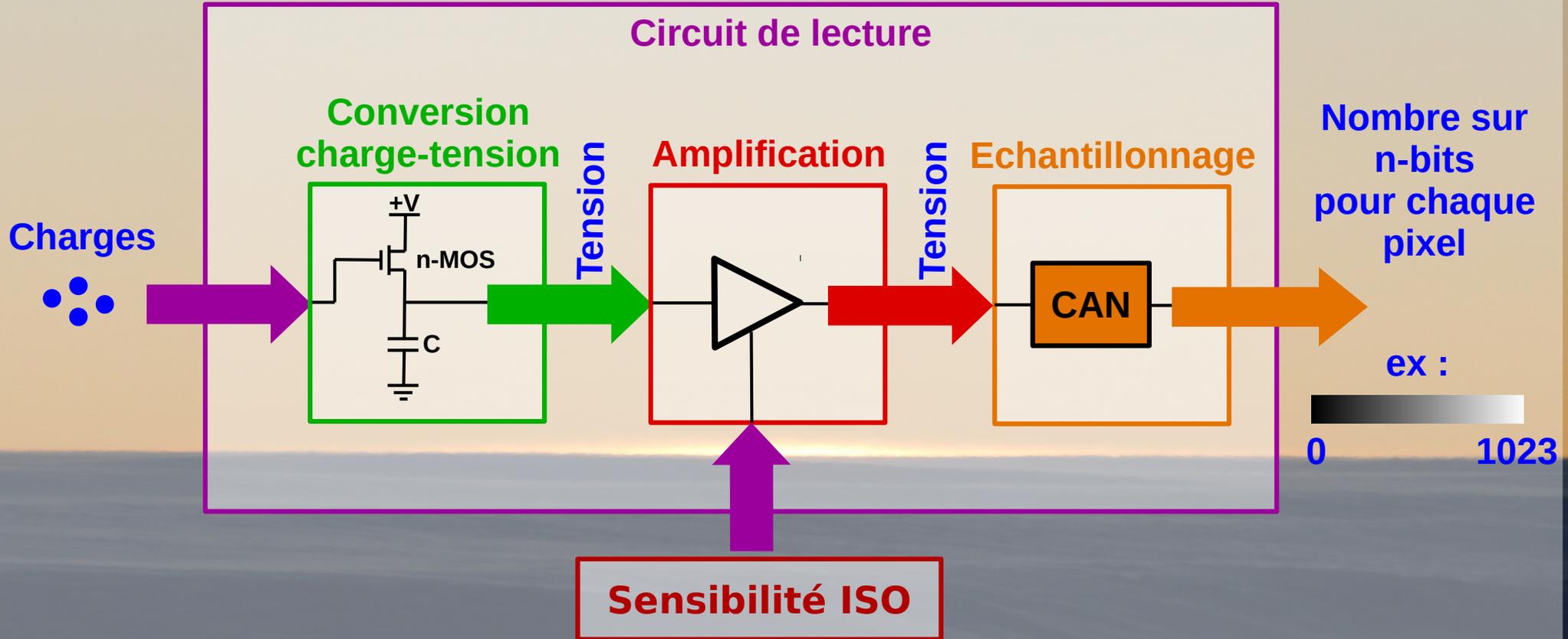
ou

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

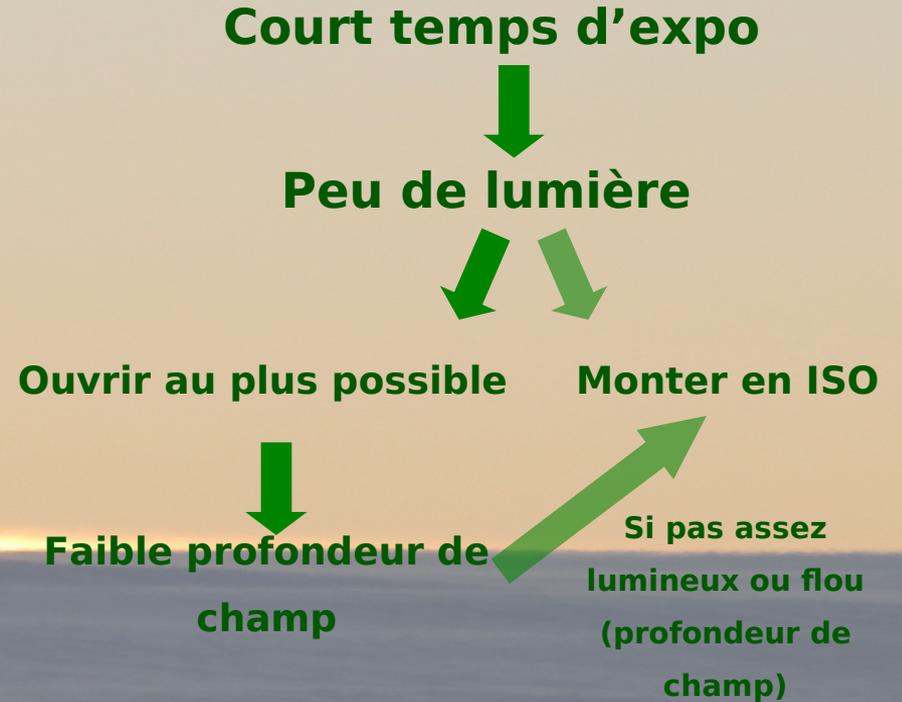
Main levée



**Flou de bouger
ou manque de
lumière**

Quelques cas pratiques ?

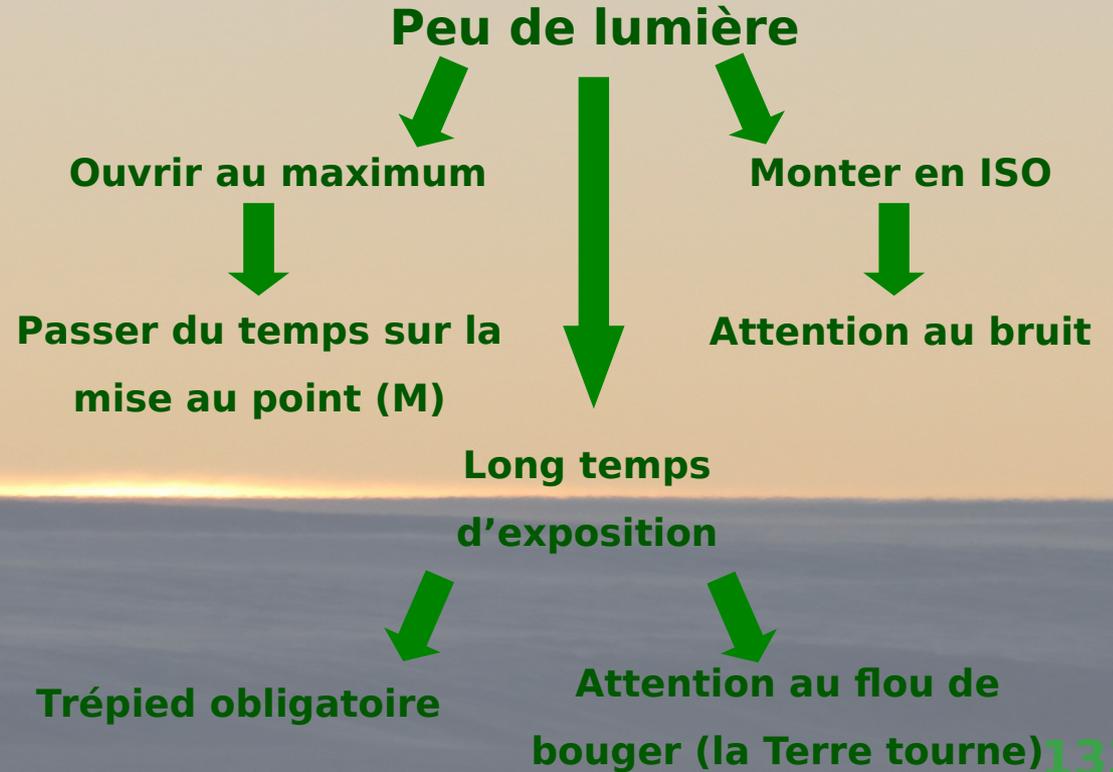
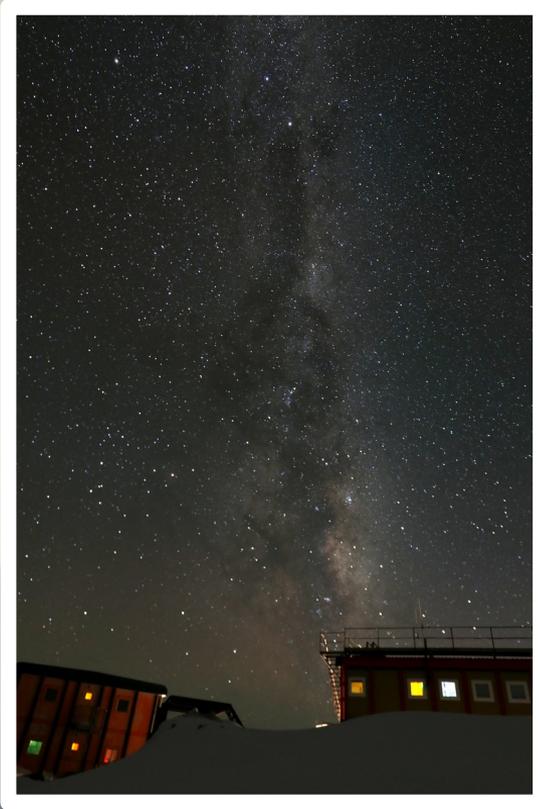
Le sujet en mouvement



Bien maîtriser ses fonctions d'autofocus !

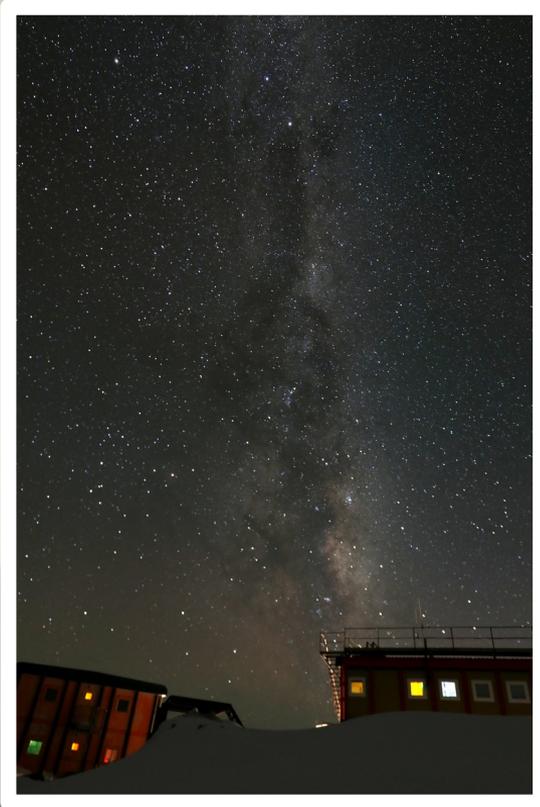
Quelques cas pratiques ?

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 $500 / \text{ focale}$

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

Trépied obligatoire

Attention au flou de bouger (la Terre tourne)