

# Vision industrielle

BUT Génie électrique et informatique industrielle

IUT de bordeaux

2023

Alexis Cailly

[alexis.caillly@cea.fr](mailto:alexis.caillly@cea.fr)



**iut**  
de **BORDEAUX**

# Introduction

## Vision industrielle

- Que savez-vous de la vision industrielle ?



# Vision industrielle

## Plan

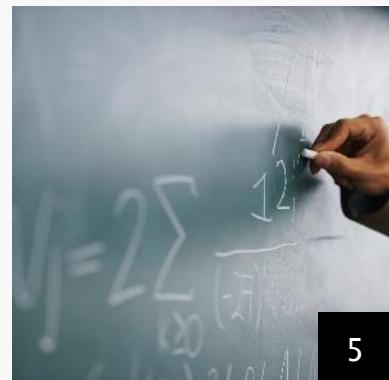
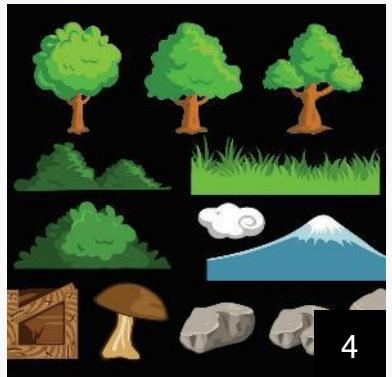
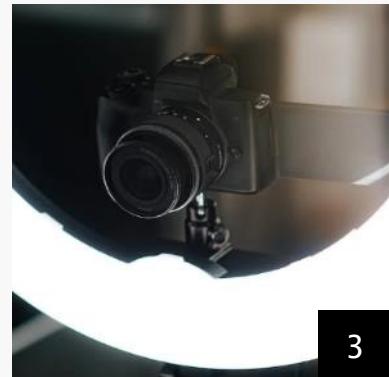
### 1. Introduction

- a) Généralité
- b) Composition d'un système de vision
- c) Exemples
- d) Domaines d'activité

### 2. Caméra

### 3. TP - Images

### 4. TP - Traitement d'image



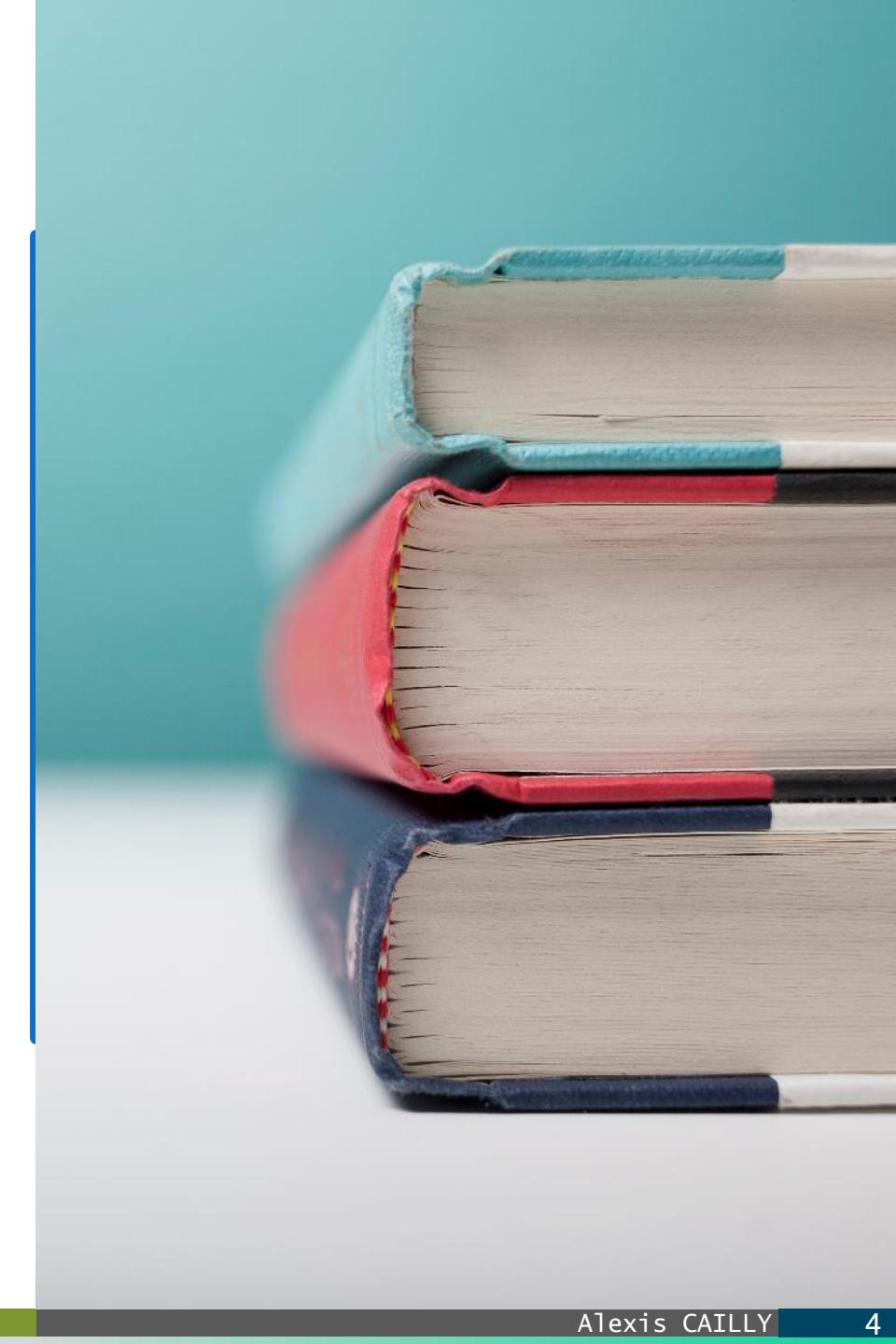
# Vision industrielle

## Définition :

La **vision industrielle** est une combinaison de techniques permettant le **contrôle non destructif (CND)** d'un objet (utilisée par exemple sur des chaînes de production).

## Contrôle non destructif :

Toutes méthodes et procédés permettant d'obtenir des informations et des données techniques d'un objet **sans altération ou destruction** de ce dernier.



# Vision industrielle

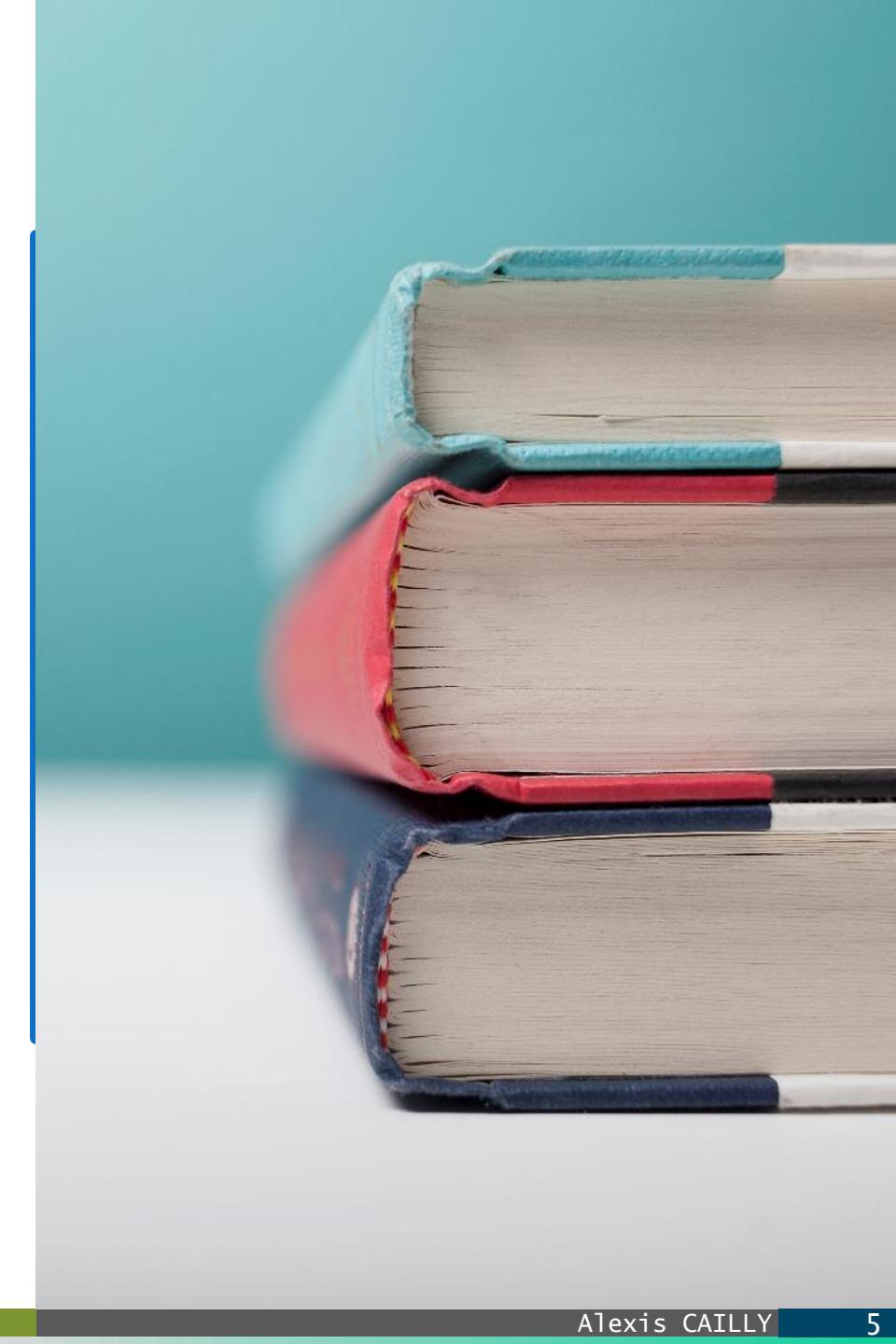
## Concrètement c'est quoi ? :

Sur une chaîne de fabrication, on va chercher à contrôler ou obtenir des informations techniques sur les pièces produites dans le/les buts :

1. Critère qualité : conformité, détection de défauts, etc.
2. Manipulation (par des robots) : tri, positionnement, etc.
3. Mesure : comptage, bonne longueur, etc.
4. Suivi de production : statistiques, optimisation, logistique, etc.

## Avantages :

1. Répétabilité de la mesure (bonne précision / fiabilité).
2. Cadences élevées.
3. En zones dangereuses.



# Vision industrielle

## Configuration d'un système de vision industrielle :

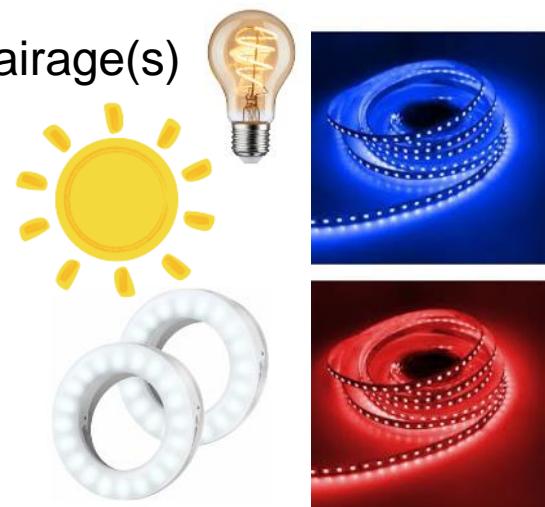
Un grille pain (un objet)



Caméra(s) & optique(s)

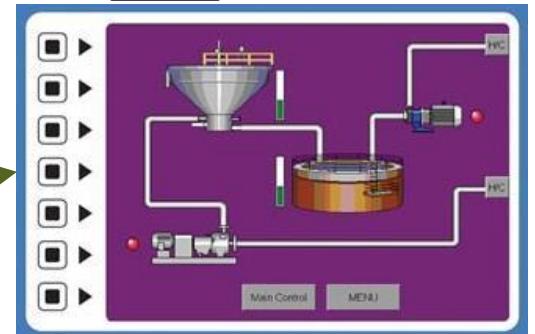


Eclairage(s)

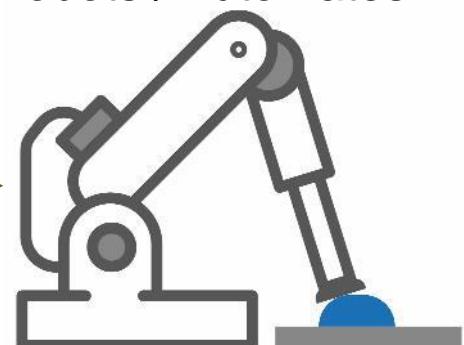


Interprétation des images.  
(logiciels, algorithmes, calculs, etc..)

Moniteurs  
Ingénieurs productions

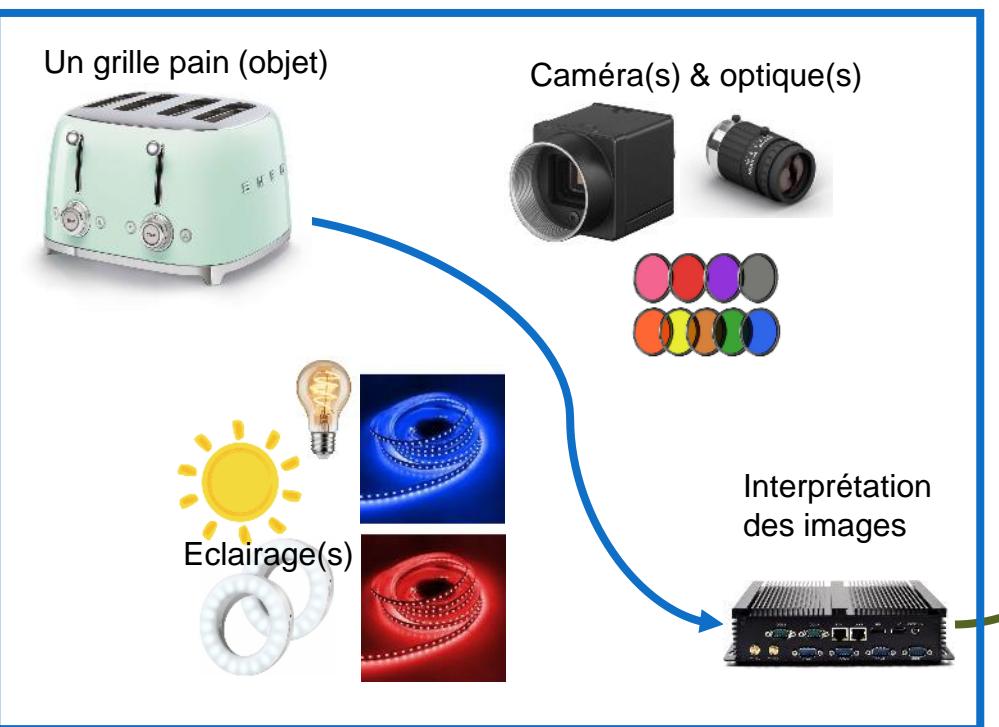


Robots / Automates

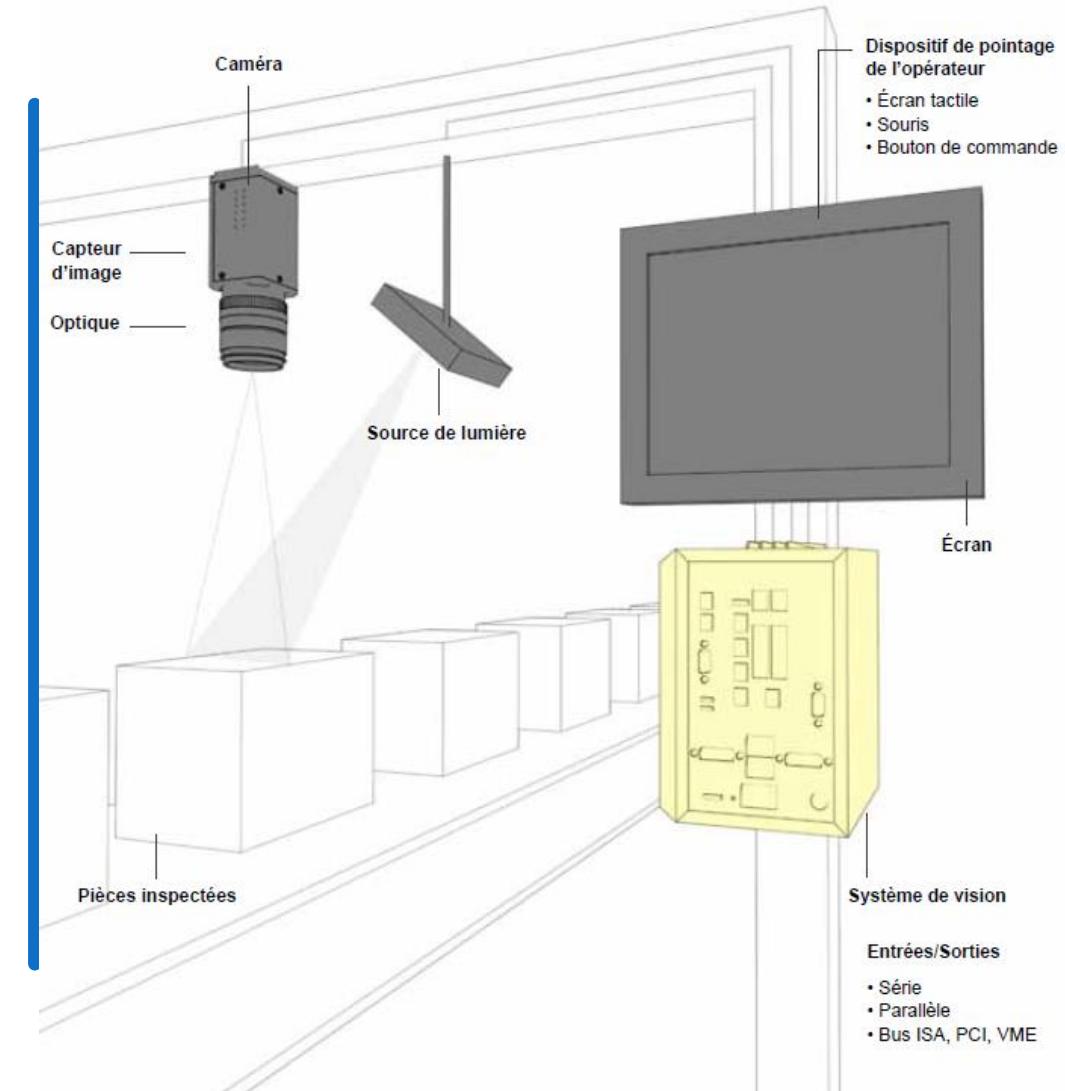
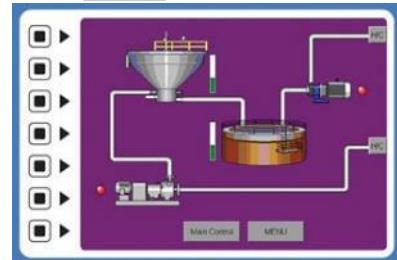


# Vision industrielle

## Exemple de configuration :



Moniteurs  
Ingénieurs productions



# Vision industrielle – Entrées / sorties

Exemple de configuration :

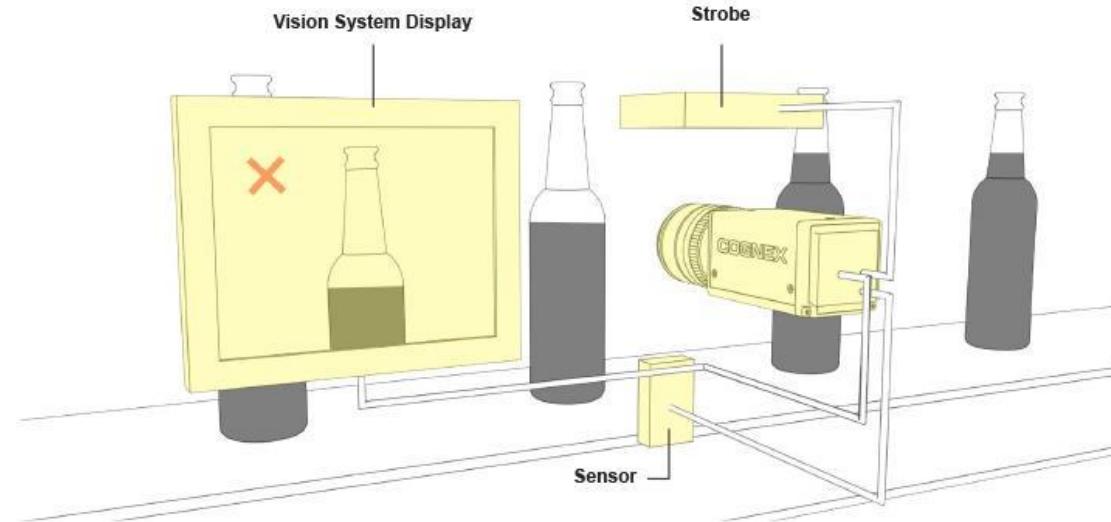
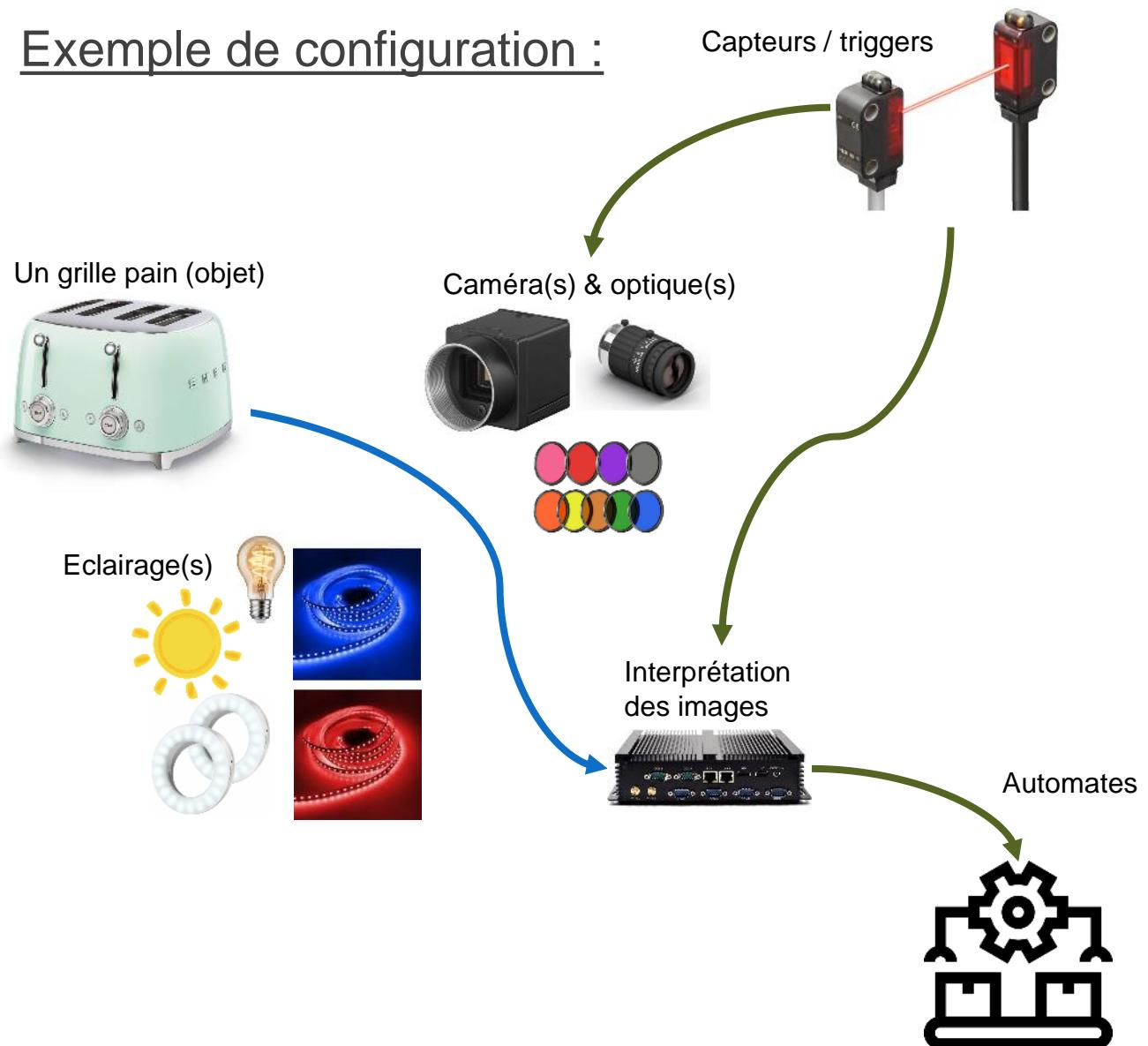
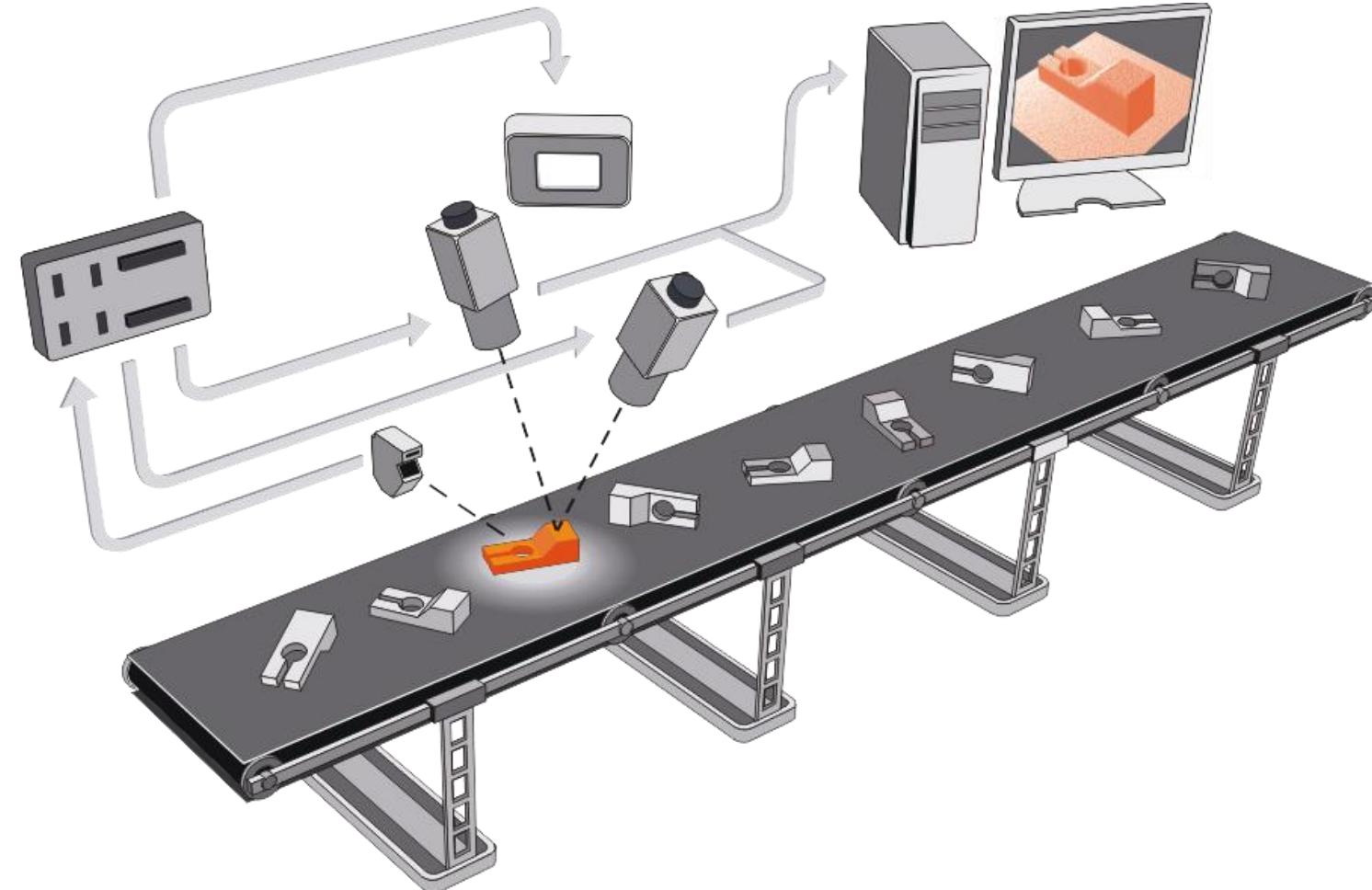


Figure 1. Bottle fill-level inspection example  
The fill-level inspection system in this example permits only two possible responses, which characterizes it as a binary system:  
1. Pass if the product is good  
2. Fail if the product is bad.

- Entrées / Sortie
  - Capteurs (Trigger, déclencheur d'acquisition, déclencheur d'éclairage)
  - Carte d'acquisition
  - Arrêt d'urgence etc...
  - Robotique et automatisme associés (système d'éjection)

# Vision industrielle

## Récapitulatif :



### Eléments de bases d'un système de vision :

- L'objet à contrôler
- Dispositif d'éclairage
  - Type : LEDs, halogène, laser, soleil, source de chaleur, etc...
  - Couleurs (longueurs d'onde)
- Caméra(s)
  - Numérique
  - Matricielle
  - Linéaire
  - Analogique + carte d'acquisition (de + en + rare)
- Optiques des caméras
  - Lentilles (macro, micro)
  - Objectifs
  - Filtres chromatiques
- Système de traitement
  - Numériser, stocker
  - Traiter les images
  - Piloter l'ensemble des éléments (éclairage, caméra, etc.)
- Système de transfert (les câbles, wifi etc...)
  - Transport de l'information
  - Transport de l'alimentation
- Entrées / Sortie
  - Capteurs (Trigger, déclencheur d'acquisition, déclencheur d'éclairage)
  - Carte d'acquisition
  - Arrêt d'urgence etc...
- Robotique et automatisme associés (système d'éjection)

# Exemple :

## Production de bouteilles



### Contrôles :

- Ebréchure / qualité de la bouteille
- Présence du bouchon
- Présence/position de l'étiquette
- Impression de l'étiquette
- Niveau du breuvage.
- Etc.

Tous ces contrôles sont effectués en production.  
Cadence très élevée !



Plus l'image est efficace (fond uniforme, le bon choix de caméra, d'éclairage, d'optique etc...) plus le traitement d'image à mettre en place sera simple et rapide et surtout robuste.



Cela permet de réduire le coup de développement de la machine, d'augmenter la cadence de production, de réduire la consommation électrique au quotidien, etc.



# Exemple :

## Production de flacons pharmaceutiques



### Contrôles :

Nbre de flacon  
Nbre de bouchon  
Hauteur liquide

Longueur étiquette  
Position étiquette  
Présence bouchon  
Présence étiquette  
Etiquette blanche  
Défaut collage

Numéro de lot  
Date

CONTROLE AMPOULES PP

MECA CONCEPT

4402314

2021 07

10 ml

VISION 1

VISION 2

VISION 3

Activé

Temps cycle min  
Total : 340 / Cdr 32 Delta : 0.00

Rec NOK Rec OK

Compteur total	Compteur OK	Compteur NOK	Compteur Passé Toler.
41	41	0	0

Nbre de flacon  
Nbre de bouchon  
Hauteur

Activé

Temps cycle min  
Total : 260 / Cdr 49 Delta : 0.00

Rec NOK Rec OK

Compteur total	Compteur OK	Compteur NOK	Compteur Passé Toler.
34	34	0	0

Longueur étiquette  
Position étiquette  
Présence bouchon  
Présence étiquette  
Etiquette blanche  
Défaut collage

Activé

Temps cycle min  
Total : 160 / Cdr 11 Delta : 0.00

Rec NOK Rec OK

Compteur total	Compteur OK	Compteur NOK	Compteur Passé Toler.
36	36	0	0

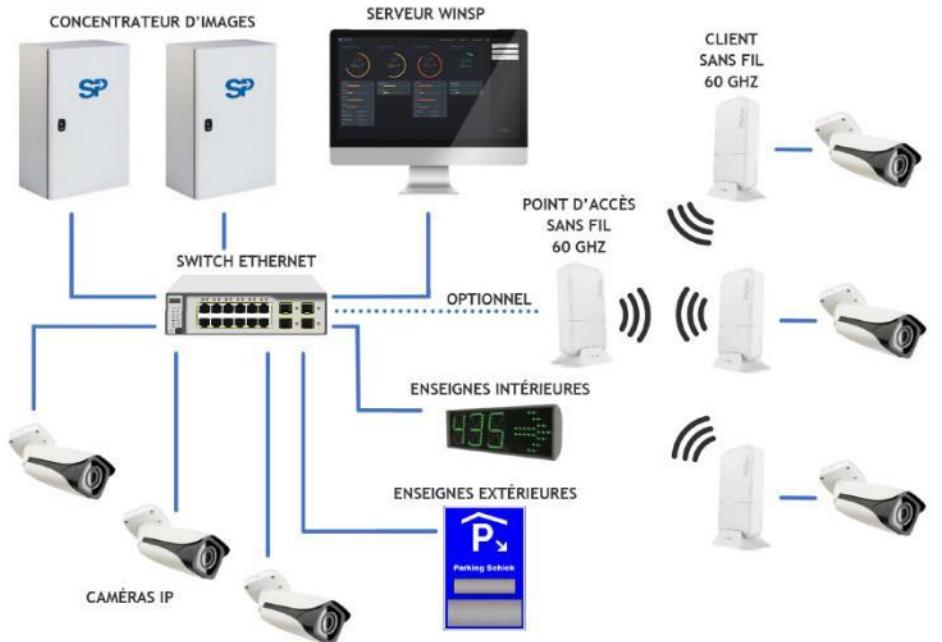
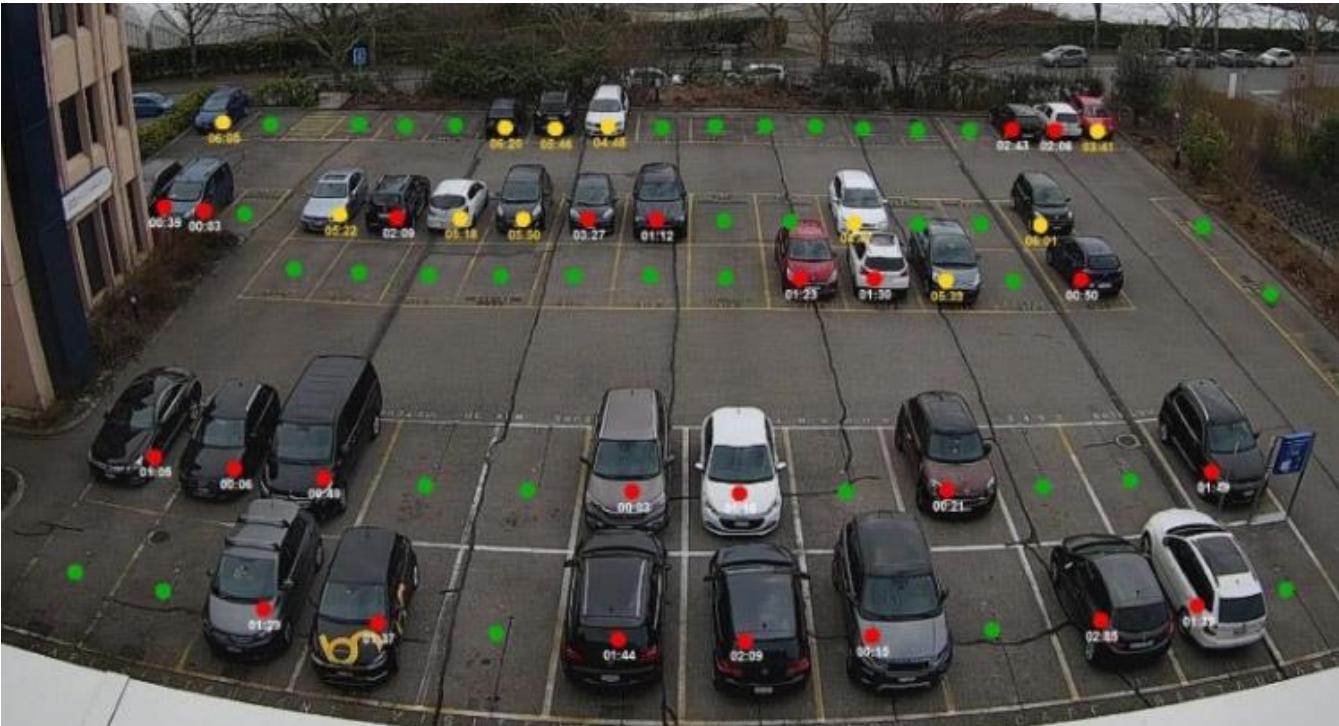
N. Numéro de lot  
D. Date

# Exemple : Automobile



# Exemple :

## Affichage des places de parking



L'éclairage en extérieur n'est pas maîtrisé. Il varie en fonction de la météo et de l'heure de la journée !

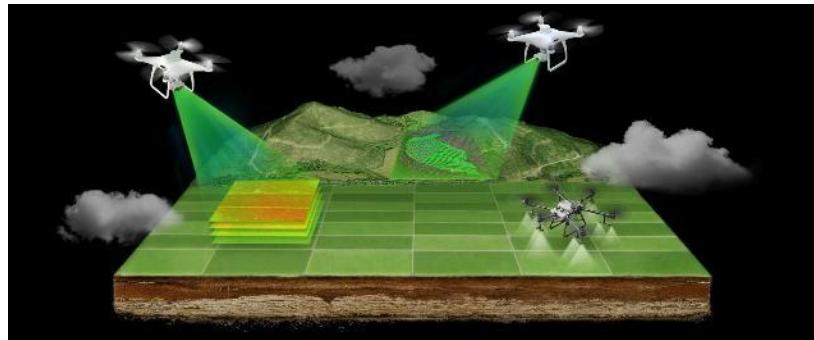
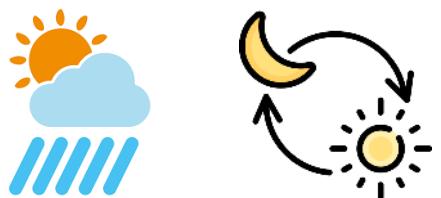
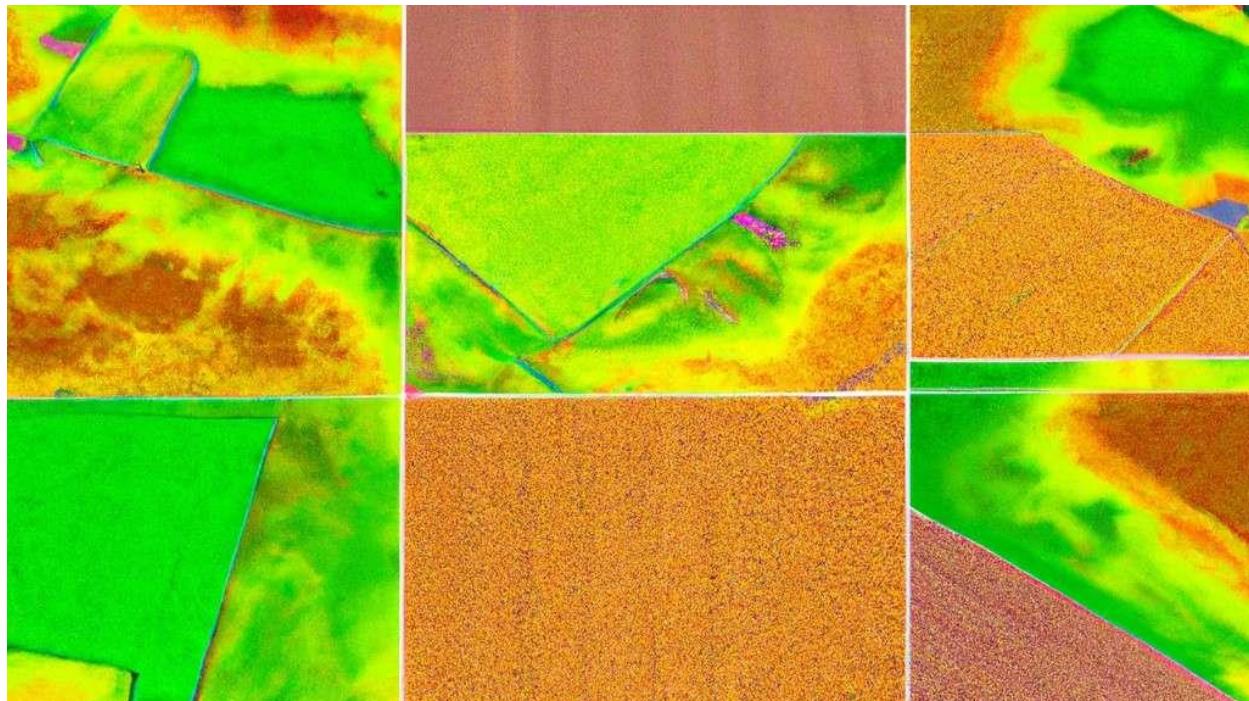
Vérifier que votre système marche par tout temps (météo et heure de la journée) !

En intérieur, travaillez loin des fenêtres ou éclairages parasites.

Utilisez des caissons noirs (si possible).

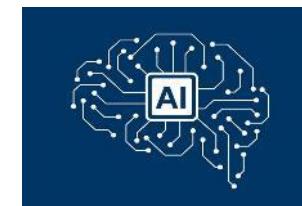
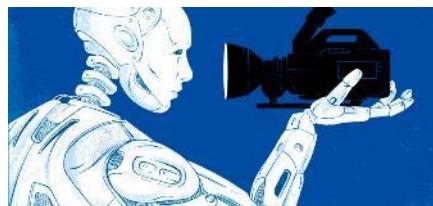


# Exemple : Agriculture



# Exemple :

## Tri des déchets



L'intelligence artificielle fait partie des *nouvelles technologies*\* à la mode en vision industrielle.  
Elle sont très efficaces.

**Mais elles nécessitent une grande quantité de données pour fonctionner.**

Possibilité d'utiliser des modèles existant sur internet.  
Modèle non adaptable.

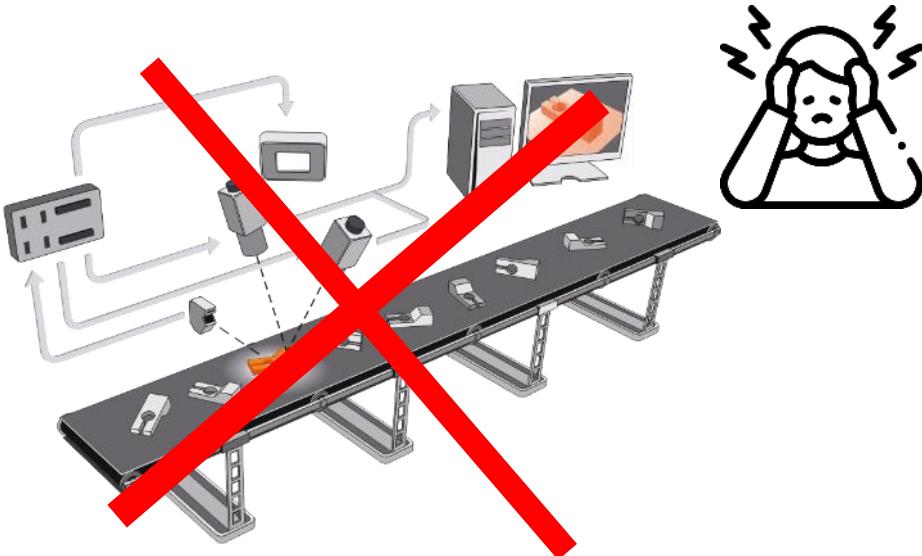
**Des ordinateurs spécifiques pour apprendre un modèle.**

\* Intelligence Artificielle existe depuis les années 1980. Les ordinateurs de l'époque n'étaient pas assez puissant pour leur exploitation à grande échelle.

# Exemple 7 :

## Système compact

### Caméra intelligente

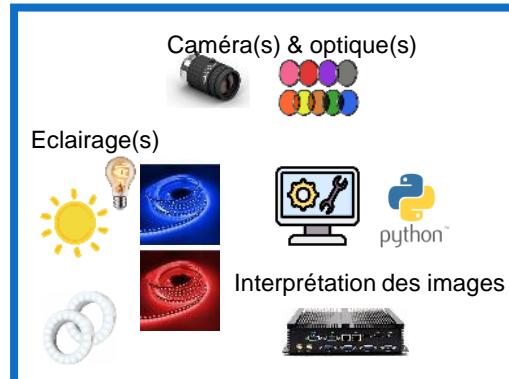


Les systèmes de visions industrielles peuvent être compliqués à mettre en place pour les non-initiés.

Système compact et clé en main (une caméra, un éclairage, logiciel + traitement d'image).

Difficilement modulable, pas d'évolution possible.  
Applications très spécifiques.

### Système compact



### Exemples:

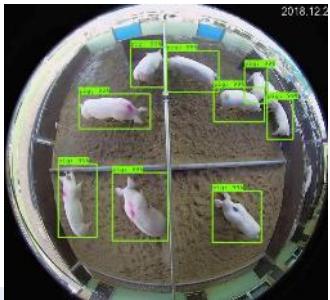
- Lecteurs de qrcode
- Lecteurs de texte (OCR)



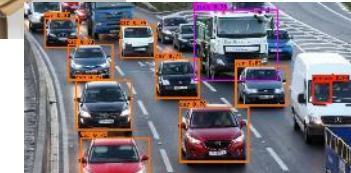
- Système avec une suite logiciel de traitement d'image



# Domaines d'applications



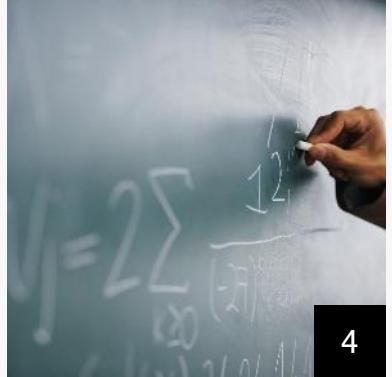
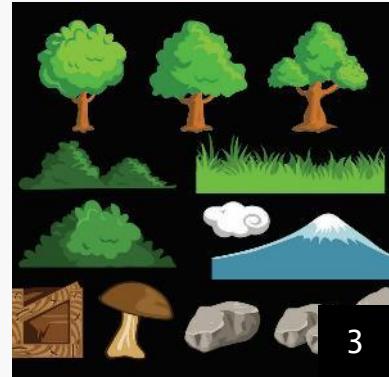
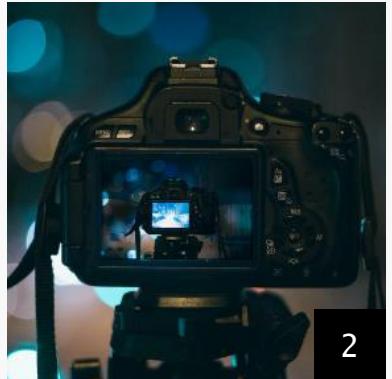
XXI<sup>e</sup> siècle  
La vision  
industrielle  
est partout !



# Vision industrielle

## Plan

1. Introduction
2. Caméra
  - a) Définition
  - b) Mots clés
  - c) Matricielle / Linéaire
  - d) TD1 : Détection de QR Code sur colis
3. TP - Images
4. TP - Traitement d'image



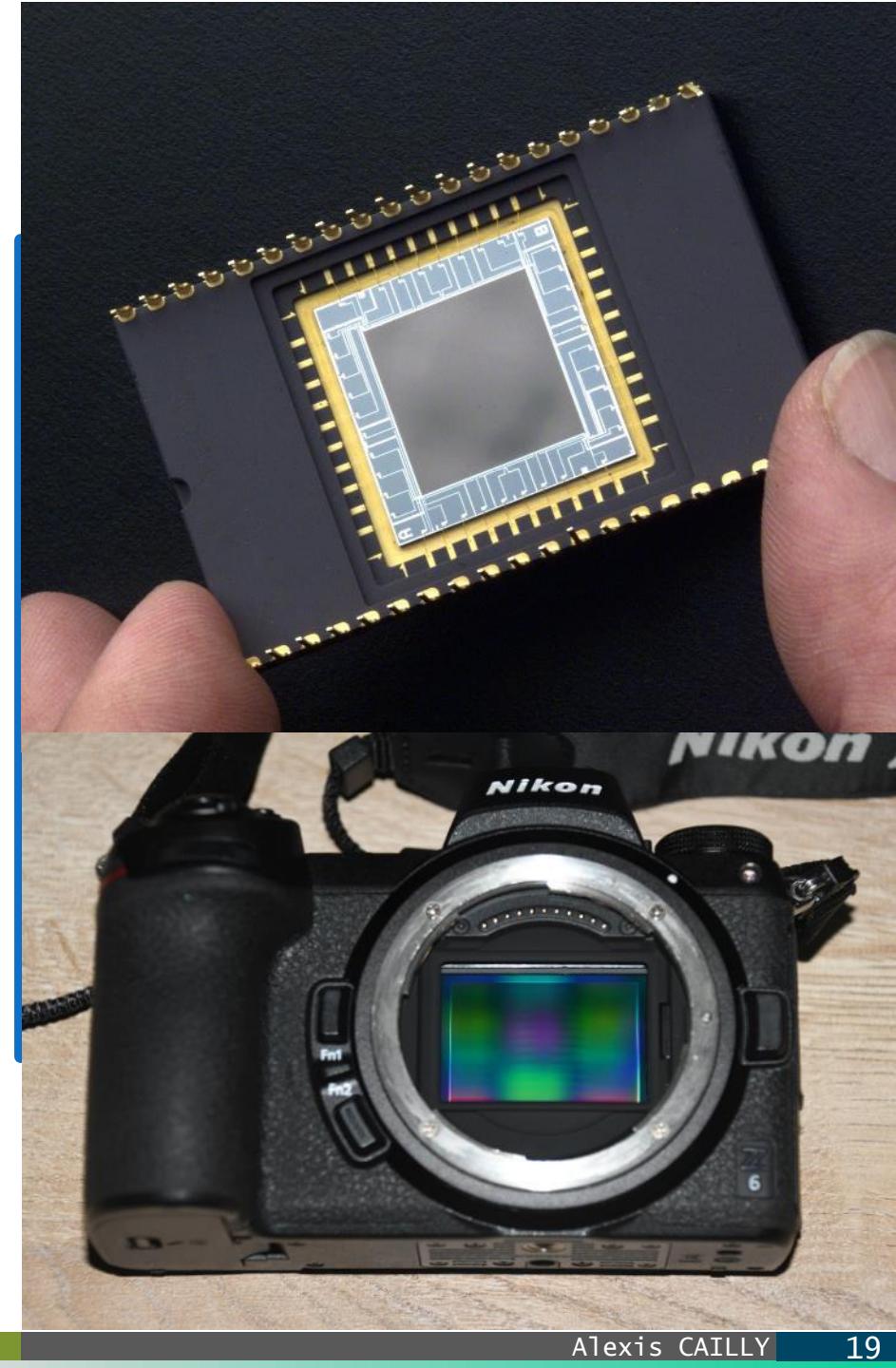
# Caméra - Définition

Une **caméra** est un dispositif **opto-électronique** complexe permettant de capturer l'information d'une scène.

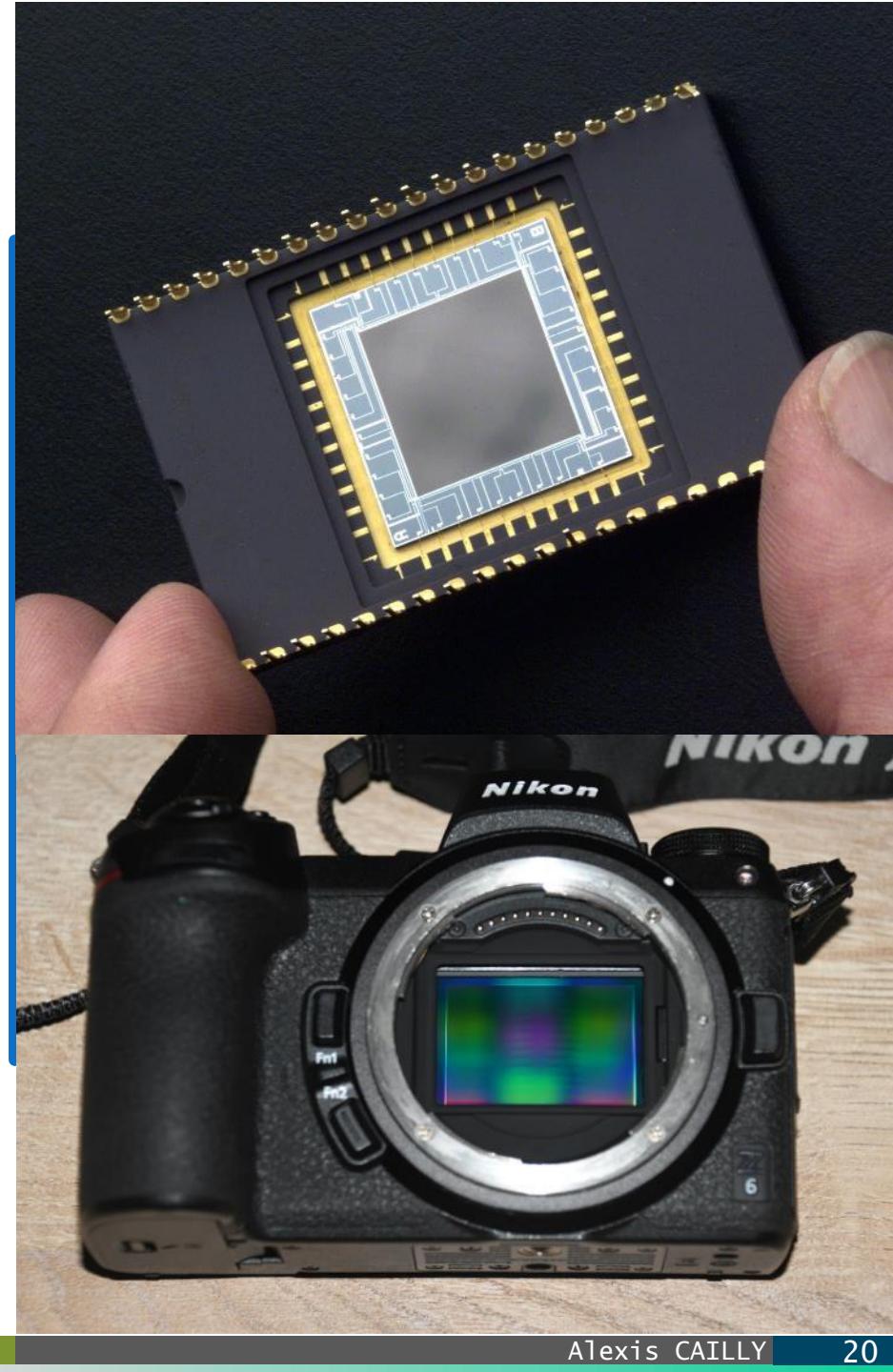
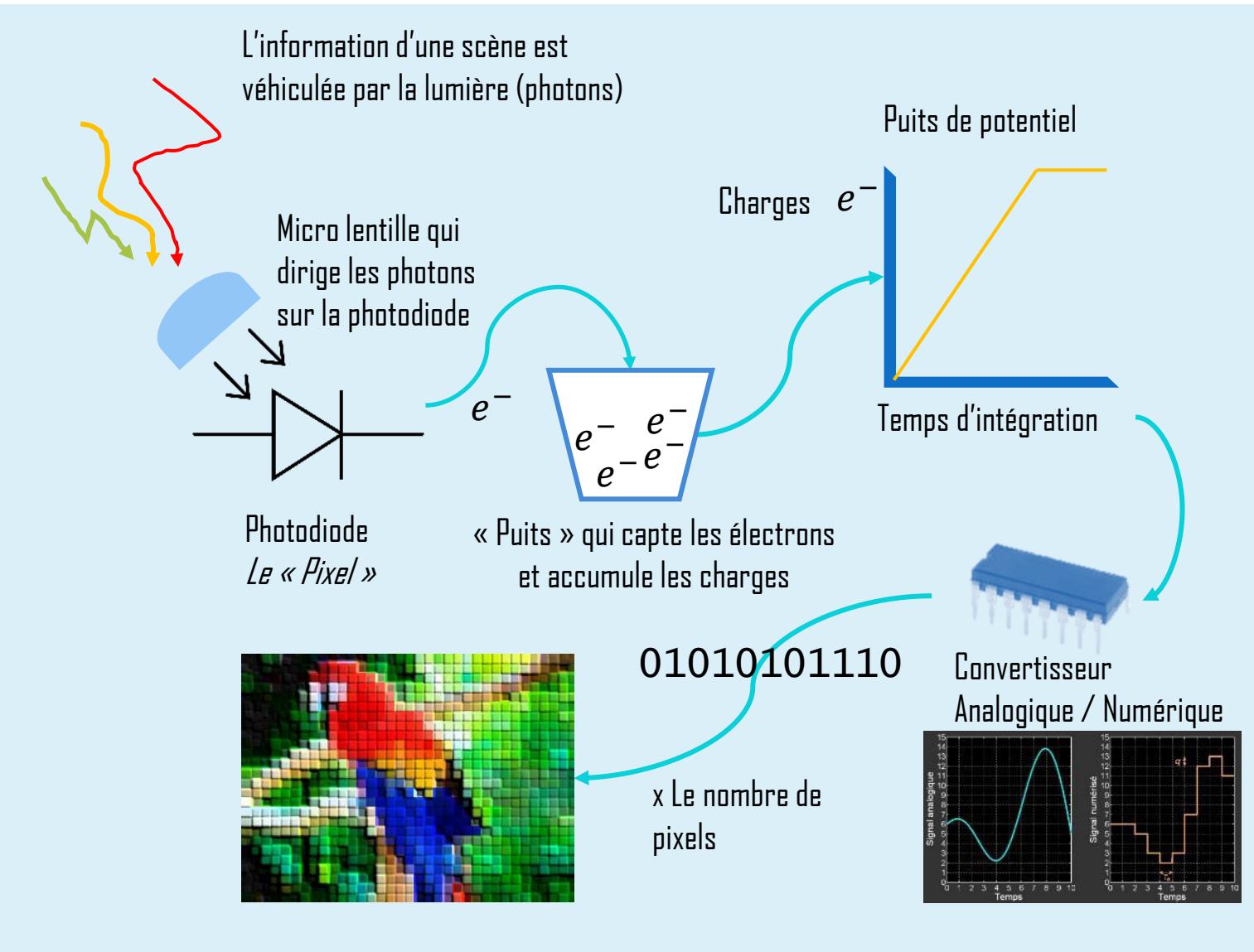
Elle est composée :

- d'un **capteur** constitué d'une matrice d'éléments (pixels) semi-conducteurs **photosensibles** dont le but est de convertir l'énergie lumineuse (photons) en énergie électrique.
- de **composants électroniques** permettant la mise en forme du signal (analogique) en sortie du capteur en un signal image (signal numérique).
- de **composants optiques** intégrés / posés sur les cellules photosensibles (micro-lentilles, filtre bayer)

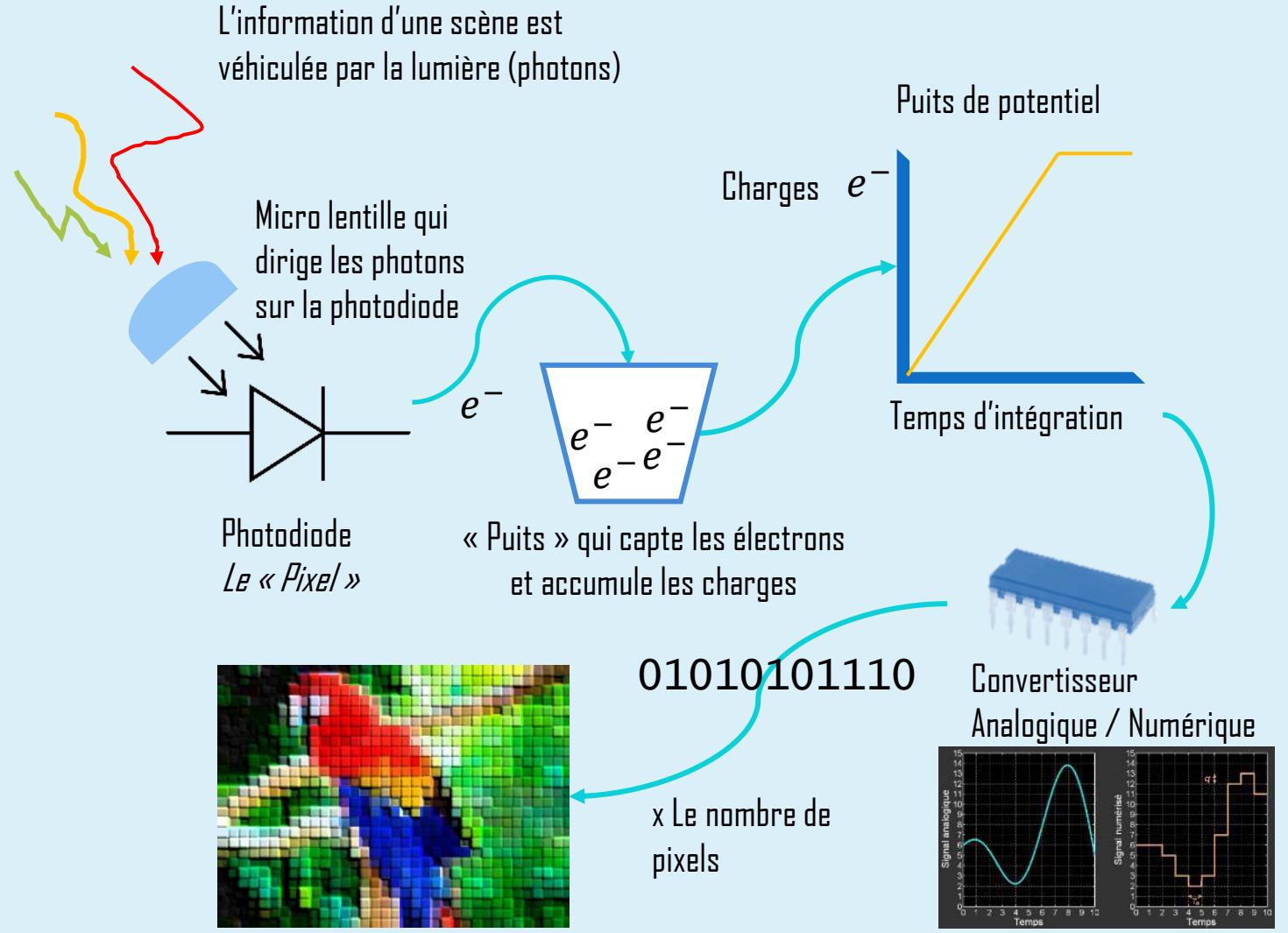
L'opto-électronique est à la fois une branche de l'électronique et de la photonique (photon - lumière)



# Caméra – Fonctionnement



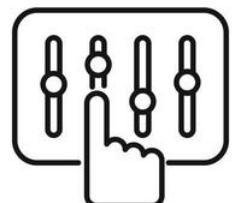
# Mot clé – Temps d'intégration



Temps d'exposition  
Temps d'intégration  
*Exposure time*  
*Integration time*

C'est le temps pendant lequel l'ensemble du capteur (les photodiodes) est exposé à la lumière.

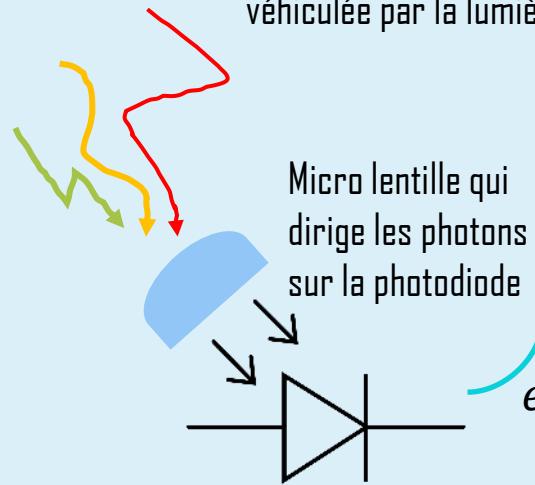
Paramètre ajustable.



# Mot clé – Saturation

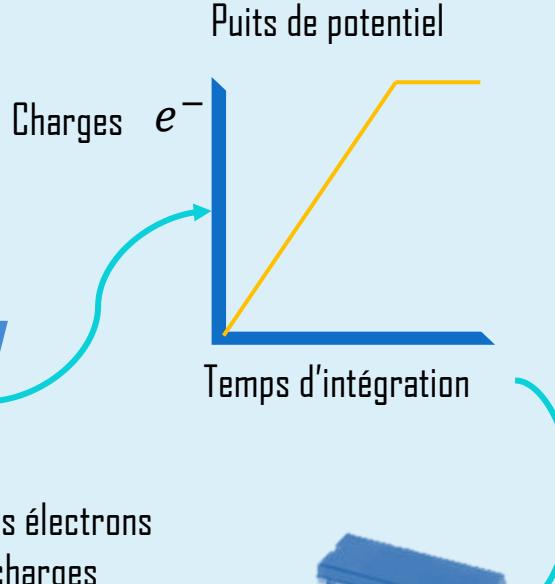


L'information d'une scène est véhiculée par la lumière (photons)



Micro lentille qui dirige les photons sur la photodiode

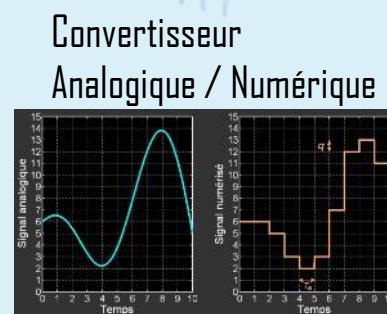
Photodiode  
*Le « Pixel »*



« Puits » qui capte les électrons et accumule les charges



01010101110  
x Le nombre de pixels



## Saturation

Le phénomène de saturation apparaît lorsque le puits à électrons n'est plus en capacité d'accumuler de nouvelles charges  $e^-$ .

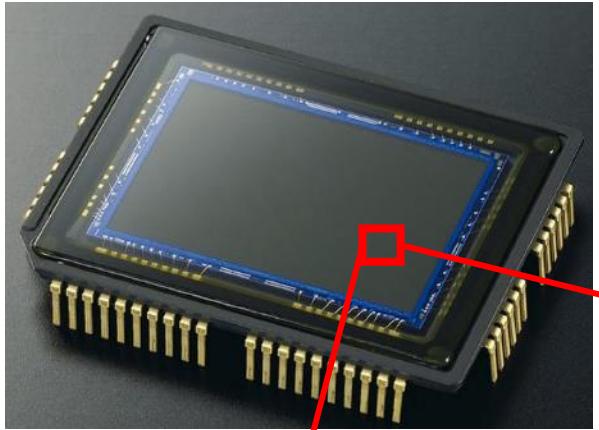
Le puits « déborde » !

Cela se produit lorsque l'on regarde des objets très lumineux avec un temps d'intégration trop long.

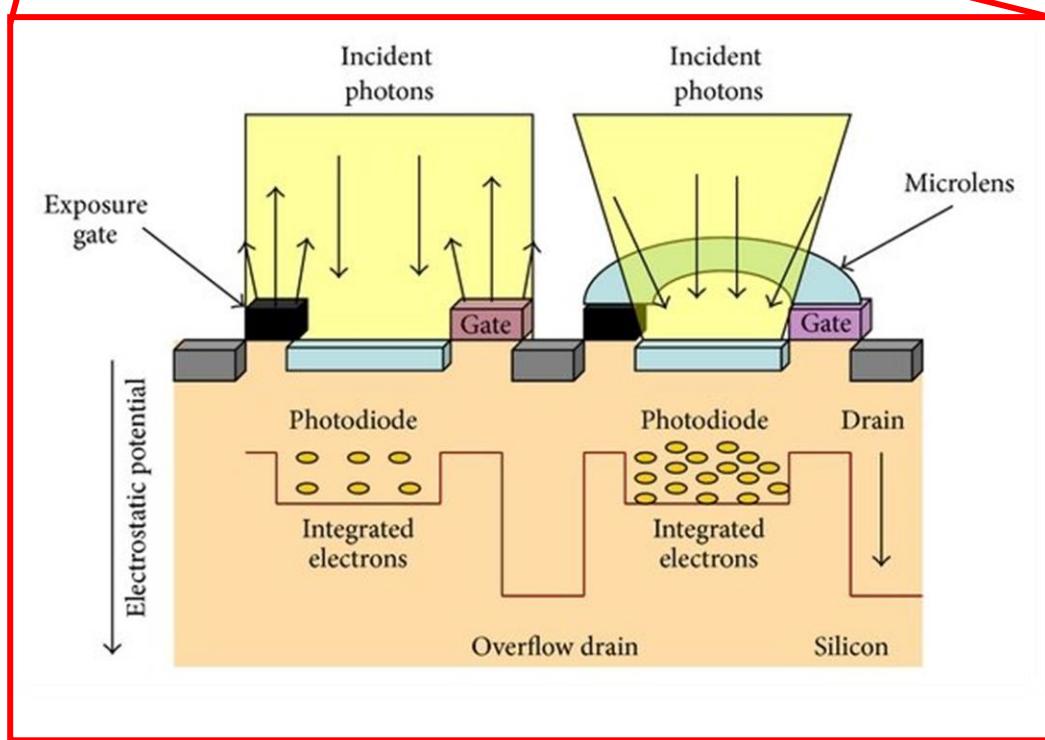
Phénomène (partiellement) contrôlable en réduisant le temps d'intégration.



# Mot clé – Facteur de remplissage



Taille d'un pixel :  
quelques micromètres ( $\mu\text{m}$ )

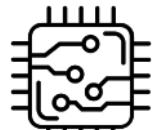


## Facteur de remplissage *Fill factor*

Le rapport entre la surface photosensible d'une photodiode et sa surface totale.  
Valeur idéale 100%.

Un « pixel » est constitué d'une photodiode et d'éléments électroniques entourant la photodiode.

Dépendant du capteur



Non paramétrable.



# Mot clé – Efficacité quantique



L'information d'une scène est véhiculée par la lumière (photons)

Micro lentille qui dirige les photons sur la photodiode

Photodiode  
*Le « Pixel »*

Puits de potentiel

Charges  $e^-$

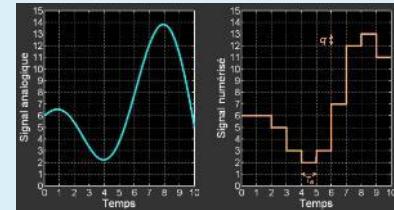
Temps d'intégration

« Puits » qui capte les électrons et accumule les charges

01010101110

x Le nombre de pixels

Convertisseur Analogique / Numérique

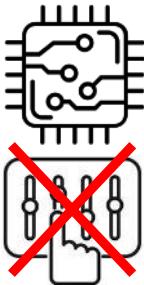


L'efficacité quantique  
*Quantum efficiency*

Le rapport entre le nombre de charges électroniques converties par le système (photodiode, puits, résistance électronique, etc...) et le nombre de photons incidents.

Grandeur (en %) donnée par le constructeur du capteur.

Dépendant du capteur  
Non paramétrable.



Il faut bien choisir son capteur !  
Typiquement pour regarder des objets très absorbants, des scènes sombres avec peu de photons.

# Mot clé – Dynamique du capteur



L'information d'une scène est véhiculée par la lumière (photons)

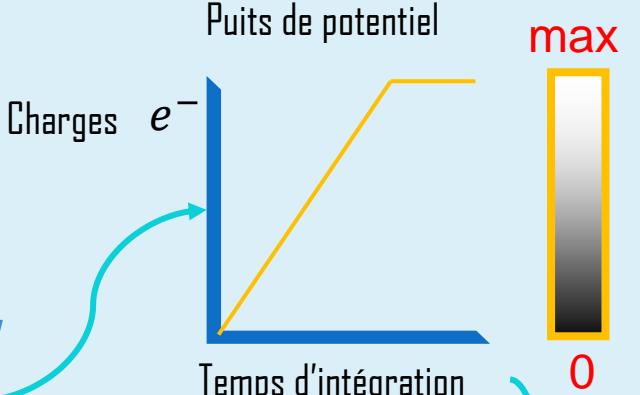
Micro lentille qui dirige les photons sur la photodiode

Photodiode  
*Le « Pixel »*

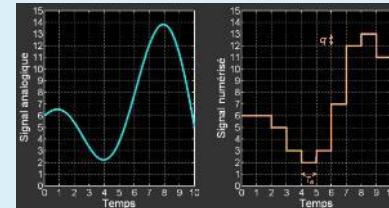
« Puits » qui capte les électrons et accumule les charges



01010101110  
x Le nombre de pixels



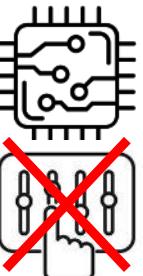
Convertisseur Analogique / Numérique



## Dynamique du capteur

La capacité de la caméra à retranscrire correctement les hautes et basses lumières d'une même scène.

Dépendant du capteur.  
(la taille du puits)  
Non paramétrable.



Il faut bien choisir son capteur !  
Typiquement si vous avez des objets très réfléchissants (lumineux) et très absorbants (sombres) dans une même scène, il vous faut un capteur avec une grande dynamique.

# Dynamique de la scène vs dynamique du capteur



Dynamique de la scène



Dynamique de mon capteur



Temps d'intégration 0,025s



Temps d'intégration 0,8s

Dynamique de la scène & temps d'intégration ?

Pour observer les **objets sombres** de la scène il faut **augmenter le temps d'intégration**.

Pour observer les **objets lumineux** de la scène, il faut **réduire le temps d'intégration**.

Le temps d'intégration permet de déplacer l'intervalle observé par le capteur à travers la dynamique de la scène.

# Dynamique de la scène vs dynamique du capteur



Dynamique de la scène / Dynamique du capteur & temps d'intégration

Temps d'intégration 0,025s



Temps d'intégration 0,2s



Temps d'intégration 0,8s



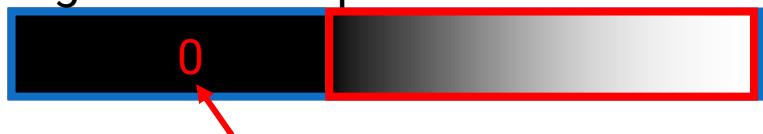
Dynamique de la scène



Dynamique de la scène



Signal sur le capteur



0

Saturation dans le noir : au temps d'intégration choisi pas assez de photons pour passer le premier seuil de la numérisation.

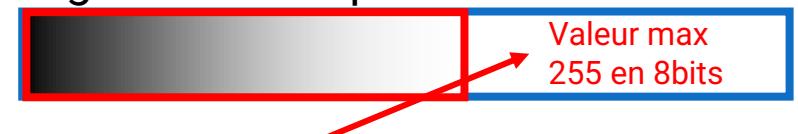
Signal sur le capteur



0

Valeur max  
255 en 8bits

Signal sur le capteur



Saturation

Valeur max  
255 en 8bits

# Dynamique des capteurs existants



12 bits – 4096 niveaux de gris – valeur max 4095



10 bits – 1024 niveaux de gris – valeur max 1023



8 bits – 256 niveaux de gris – valeur max 255



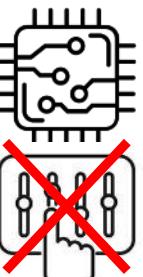
1 bits – 2 niveaux de gris – valeur max 1



## Dynamique du capteur

La capacité de la caméra à retranscrire correctement les hautes et basses lumières d'une même scène.

Dépendant du capteur  
(la taille du puits)  
Non paramétrable.



Il faut bien choisir son capteur !  
Typiquement si vous avez des objets très réfléchissants (lumineux) et très absorbants (sombre) dans une même scène, il vous faut un capteur avec une grande dynamique.

# Dynamique des capteurs et écran de visualisation



12 bits – 4096 niveaux de gris



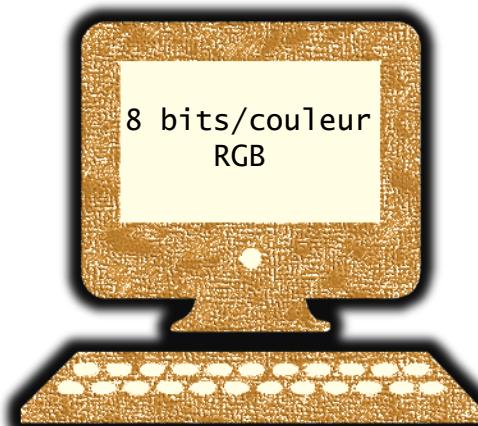
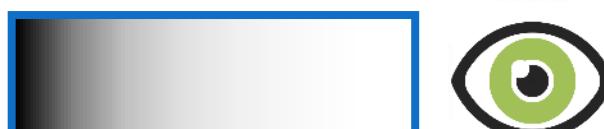
10 bits – 1024 niveaux de gris



8 bits – 256 niveaux de gris



Œil – ~60 niveaux de gris



Attention à ce que vous percevez de vos écrans !

Les écrans ne permettent d'afficher que 256 niveaux de gris (8bits) par couleurs.

Les images de capteurs 12bits et 10bits ne peuvent pas être visualisées telles quelles à l'écran.

Pour un affichage à l'écran, il faut choisir un intervalle d'observation de 256 niveaux ou il faut réduire la dynamique à 256 niveaux (au risque de perdre des informations). Les calculs peuvent se faire sans problème en 12bits et 10bits sans pertes de données.

Possibilité d'utiliser des « carte de couleurs » (colormap) pour aider à visualiser les données à l'écran.



# Dynamique des capteurs et écran de visualisation



Exemple avec un capteur 10bits (1024 niveaux de gris)

Intervalle observé à l'écran [768 – 1024[



Dynamique capteur



Intervalle d'observation à l'écran

0

Intervalle [384 – 640[



Dynamique capteur



Intervalle d'observation à l'écran

0

Intervalle [0 – 256[



Dynamique capteur



Intervalle d'observation à l'écran

255

Affiché par l'écran

Les valeurs basses sont tronquées à 0

Les nuances de niveaux de gris sont perdues.

Affiché par l'écran

Les valeurs basses sont tronquées à 0

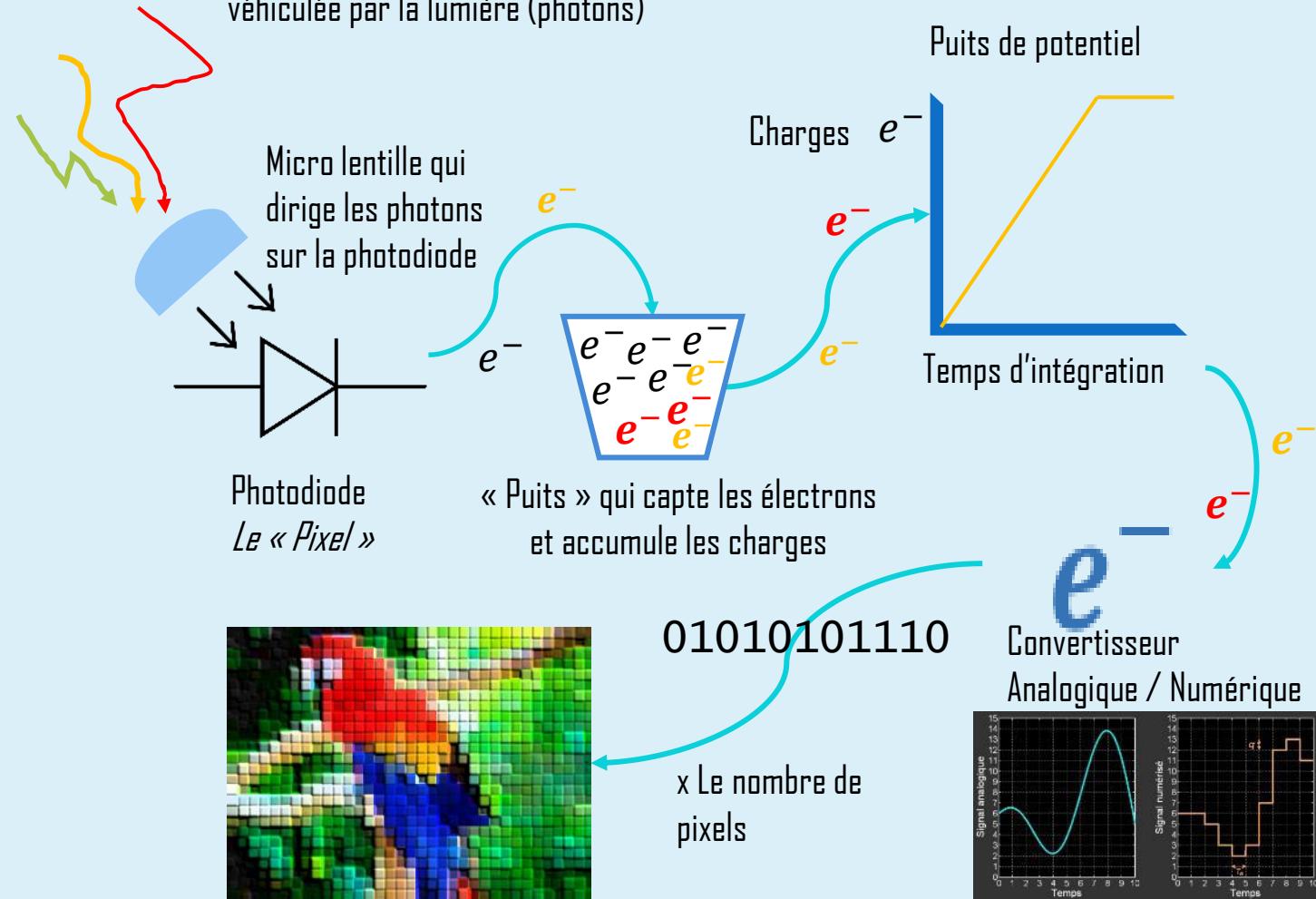
Les valeurs hautes à 255

Affiché par l'écran

# Mot clé – Bruits



L'information d'une scène est véhiculée par la lumière (photons)



## Bruit de capteur

La réponse du capteur dans le noir.

- Bruit thermique  $e^-$
  - Bruits électroniques  $e^-$
- photodiode (efficacité quantique), électronique (partie analogique), ...

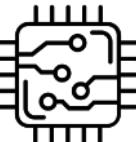
Pixel dépendant.

Partiellement corrigible par une calibration de la caméra.

## Bruits de « scène »

- Bruit temporel
- Photonique

Difficilement corrigable.  
Le traitements d'image peut aider.



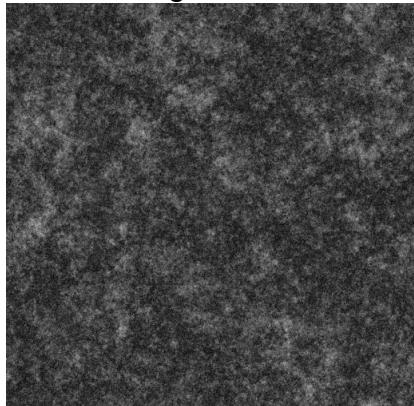
# Mot clé – Bruits



Bruit capteur.



L'image retournée par la caméra avec l'obturateur fermé. Image dans le noir.



Valeurs proches de 0  
Gain x100 pour les observées à l'écran

Bruit photonique



Bruit de capteur

La réponse du capteur dans le noir.

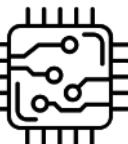
- Bruit thermique
- Bruits électroniques  $e^-$  photodiode (efficacité  $e^-$  quantique), électronique (partie analogique),...

Pixel dépendant.

Partiellement corrigéable par une calibration de la caméra.

Bruits de « scène »

- Bruit temporel
- Photonique / éclairage



Difficilement corrigéable.  
Le traitements d'image peut aider.

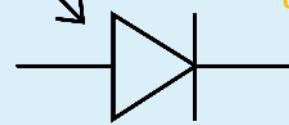


# Mot clé – Gain

$e^-$

L'information d'une scène est véhiculée par la lumière (photons)

Micro lentille qui dirige les photons sur la photodiode

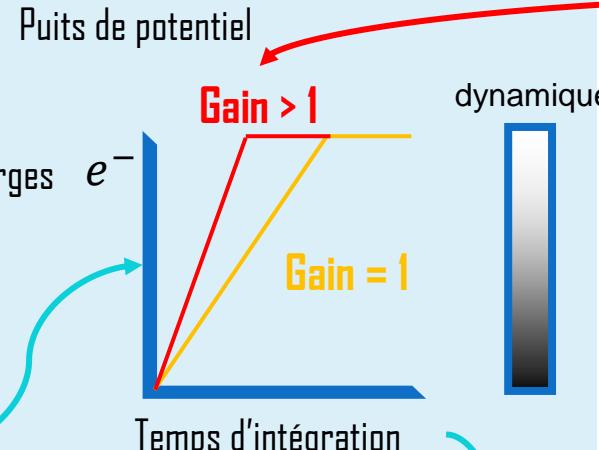


Photodiode  
*Le « Pixel »*

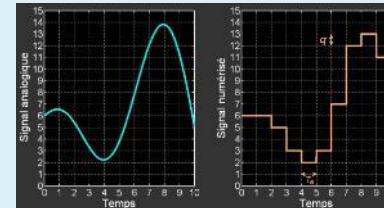


« Puits » qui capte les électrons et accumule les charges

01010101110  
x Le nombre de pixels



Convertisseur Analogique / Numérique



## Gain (analogique)

S'effectue avant la conversion Analogique / Numérique.

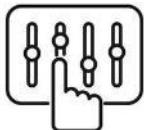
Permet d'arriver plus vite à la saturation avec moins de photons dans le but de mieux exploiter la dynamique du capteur.

**Attention** cela augmente aussi le **bruit** de l'image.

Cas d'utilisation :

- quand on ne peut pas augmenter le temps d'intégration. (Par exemple, pour de la vidéo et éviter un flou de mouvement. Pour respecter la cadence de production).

- En cas d'éclairage trop faible.



# Mots clés

## Résolution

Le nombre de photodiodes (pixels) de votre capteur. La capacité du capteur à voir les détails de la scène. Augmente le temps de traitement, le transfert et le stockage de l'image.

## Nombre d'images par seconde

### *Frames per second (fps)*

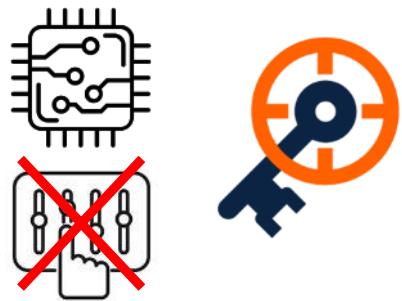
C'est le nombre d'image que peut fournir la caméra en 1 seconde.

Généralement, cela diminue avec la résolution du capteur. Plus l'image est grande plus le capteur met du temps à transférer l'image.

## Obturation

### *Shutter*

Mécanisme (automatique ou manuel) permettant l'arrivée des photons sur capteur.



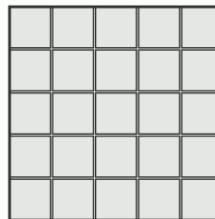
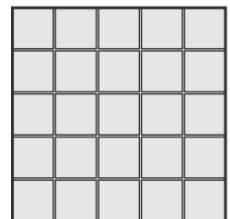
## Rolling shutter / Global shutter

La façon dont les valeurs des pixels sont collectées par le système électronique au niveau du capteur.



Rolling Shutter

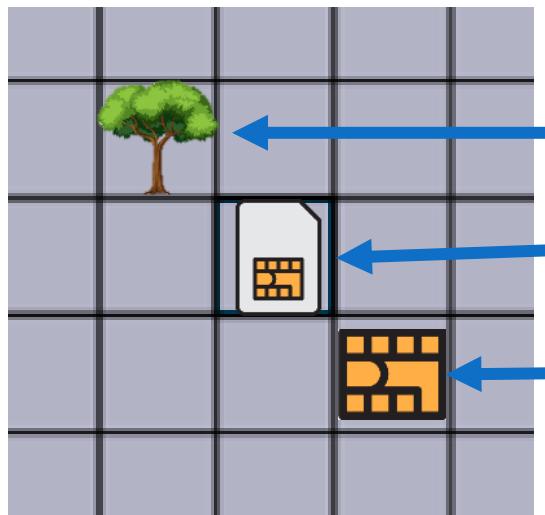
Global Shutter



Attention aux objets en mouvement avec le Rolling Shutter !



# Mot clé – Précision



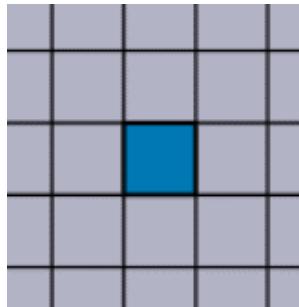
Précision horizontale = largeur de l'arbre  
Précision verticale = hauteur de l'arbre  
Ordre de grandeur : le mètre  
(ex: Télédétection / Image satellite)

Ordre de grandeur : cm

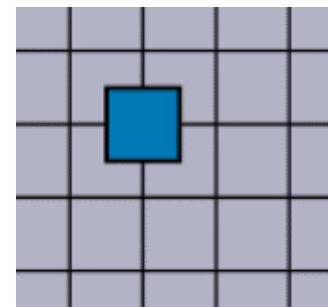
Ordre de grandeur : mm

Etc...

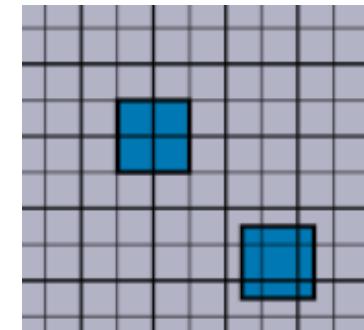
Plus petit élément à observer



Cas idéal  
(coup de chance)



Cas réel



Cas sécurisé.  
Théorème de Shannon

## Précision (ou résolution spatiale)

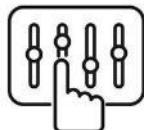
C'est la distance observée dans la scène par 1 pixel dans une direction donnée (horizontale ou verticale).

Unité métrique : m, mm, µm, etc...

La précision est à définir en fonction du plus petit objet à détecter.

Afin d'éviter des problèmes de sous-échantillonnage un facteur de sécurité  $C_{sec}$  est utilisé (idéalement au moins x2 d'après le théorème de Shannon).

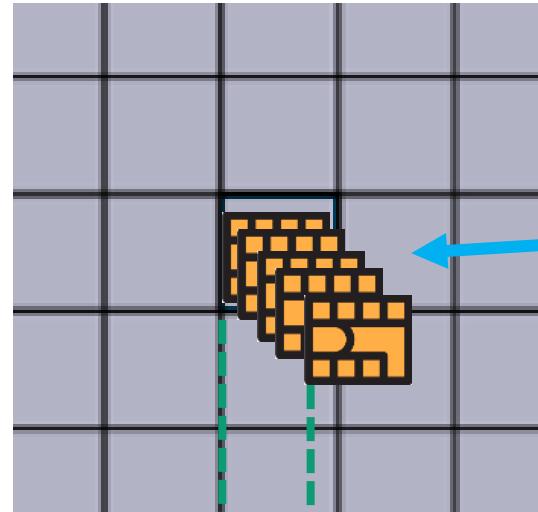
$$\text{Précision} = \frac{\partial}{C_{sec}}$$



Nombre de pixels (résolution capteur) :

$$\text{Pixels} = \frac{L}{\text{Précision}} \quad L = \text{longueur de la scène}$$

# Temps d'exposition et flou de mouvement :



Flou de mouvement : l'objet se déplace à travers plusieurs pixels dans n'importe quelle direction (horizontal, verticale ou les deux) durant le temps d'exposition.

Temps

Ouverture du shutter caméra (début de prise d'image)

$T$   $\leftrightarrow$   $T + Te$

$Te$  : temps d'exposition

Fermeture du shutter (fin de prise d'image)

## Flou de mouvement

Plus le temps d'exposition est long plus le flou de mouvement sera important.

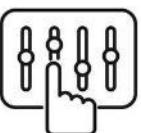


$\Delta f l o u$  : distance en pixel ?

$$\Delta dist = V * Te \text{ (métrique)}$$

$$\Delta f l o u = \frac{\Delta dist}{Précision} \text{ (en pixel)}$$

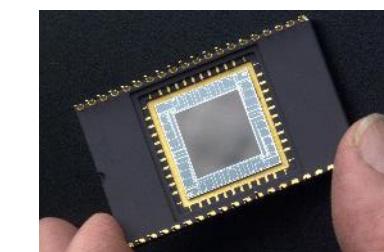
$V$  : vitesse de l'objet



# Capteur matriciel vs linéaire



Capteur matriciel



Matrice de photodiodes

Capteur linéaire



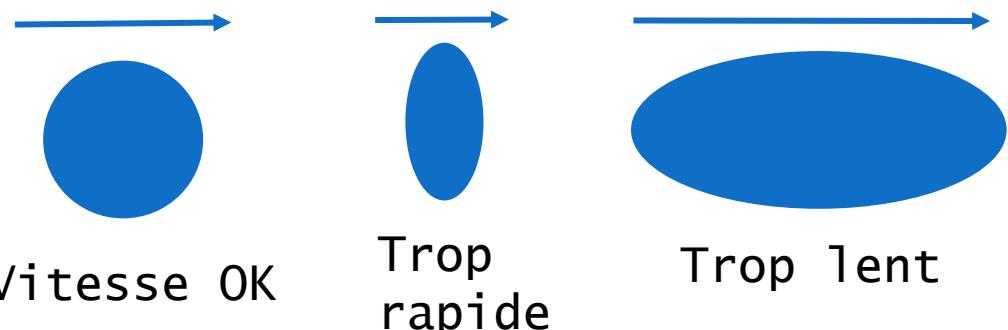
Une ligne de photodiodes

## Capteur matriciel :

- Prise d'image en 1 seule fois (pas de problème de synchronisation).
- Eclairage plus compliqué (une surface à éclairer, réflexions et ombres à gérer)
- Plus coûteux.

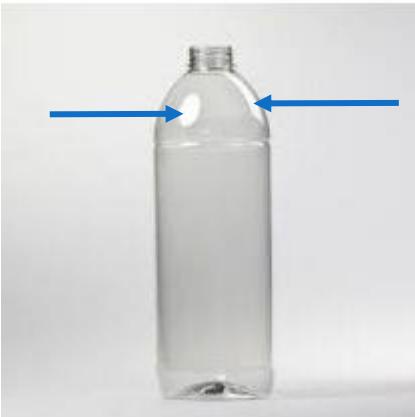
## Capteur Linéaire :

- Fréquence d'acquisition très rapide.
- Eclairage plus simple à mettre en place (moins de réflexion, ombre)
- Nécessite une synchronisation avec la vitesse de défilement.
- On peut commencer les traitements dès la première ligne.



# Capteur matriciel vs linéaire

Capteur matriciel



Réflexions spéculaires

Capteur linéaire



Pas de problème de réflexion spéculaire le long de la ligne

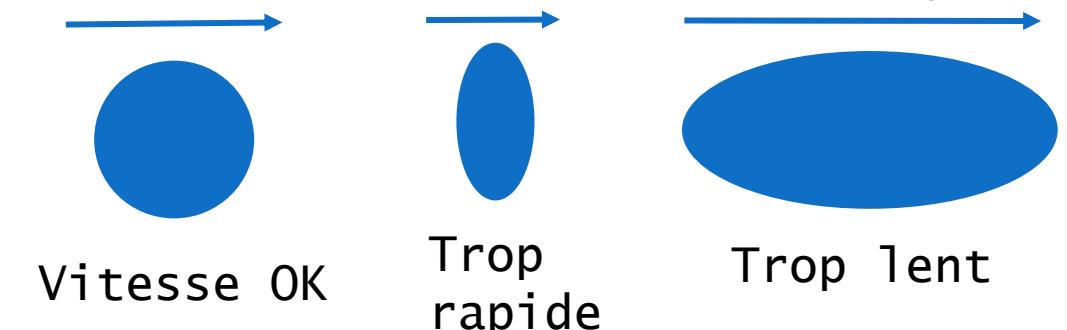
Si un défaut apparaît dans une zone de réflexion/saturation il ne pourra pas être détecté

## Capteur matriciel :

- Prise d'image en 1 seule fois (pas de problème de synchronisation).
- Eclairage plus compliqué (une surface à éclairer, réflexions et ombres à gérer)
- Plus coûteux.

## Capteur Linéaire :

- Fréquence d'acquisition très rapide.
- Eclairage plus simple à mettre en place (moins de réflexions, moins d'ombres sur la ligne d'acquisition)
- Nécessite une synchronisation avec la vitesse de défilement.
- On peut commencer les traitements dès la première ligne.



# Protocole de connexion caméra

	Vitesse de transfert	Distance de transfert
	10Gbit/s	100m
 	6 Gbits/s (USB3.1)	10m
	1Gbits/s à 12.5Gbits/s	Jusqu'à 200m
	5Gbits/s	10m
Fire Wire	800 Mbits/s	100m

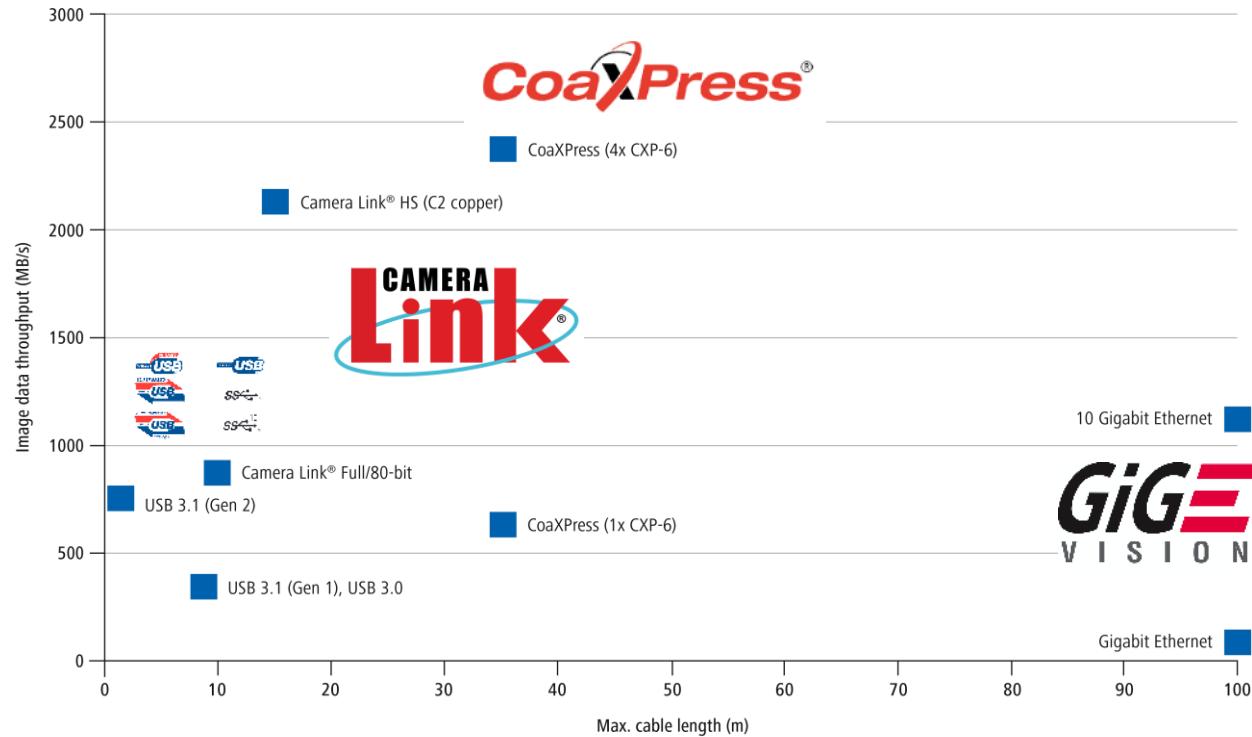
Chaque caméra nécessite des câbles de connexion (alimentation, E/S trigger, transfert de données) à un PC ou carte d'acquisition.

Plusieurs standards de connexion et protocoles existent.

Généralement le constructeur propose le bon protocole pour pouvoir transférer les images de sa caméra en fonction de la résolution et fréquence caméra.



# Protocole de connexion caméra



Chaque caméra nécessite des câbles de connexion (alimentation, E/S trigger, transfert de données) à un PC ou carte d'acquisition.

Plusieurs standards de connexion et protocoles existent.

Généralement le constructeur propose le bon protocole pour pouvoir transférer les images de sa caméra en fonction de la résolution et fréquence caméra.



# Comment choisir une caméra ?



Cahier des charges :

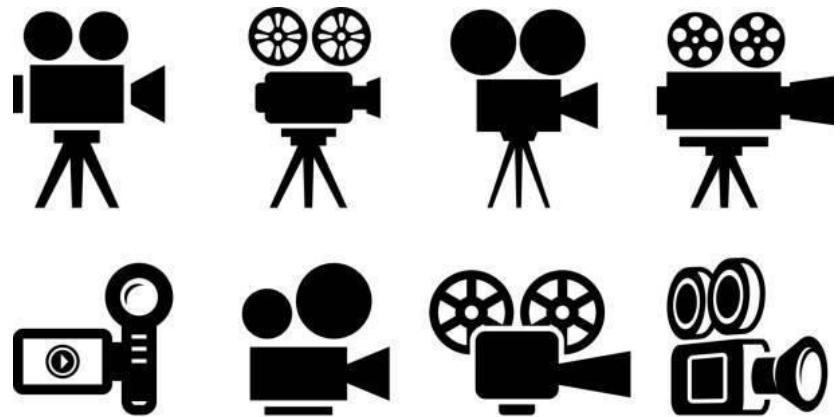
- Taille du plus petit élément à observer
- Dimension de la scène à observer
- Vitesse de défilement des objets

Paramètres à calculer :

- Précision d'un pixel (horizontal vertical, en mm)
- La résolution d'un capteur (nombres de pixels)
- Temps d'exposition
- Fréquence d'acquisition des images

Autres caractéristiques à déterminer :

- Dynamique du capteur (8bits, 10bits ou 12bits)
- Le type de capteur (linéaire ou matriciel, N&B ou couleur)



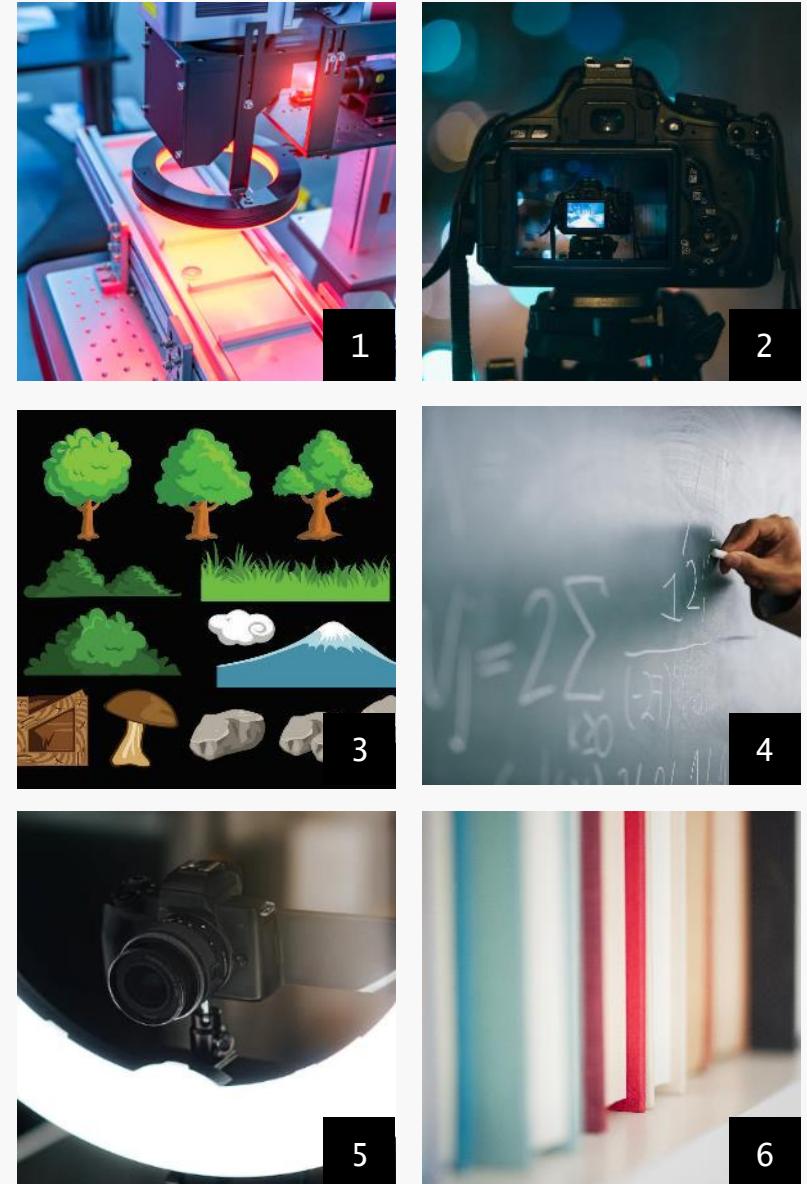
# Vision industrielle

## Plan

1. Introduction
2. Caméra
  - a) Définition
  - b) Mots clés
  - c) Matricielle / Linéaire
  - d) TD1 : Détection de QR Code sur colis
3. Images
4. Traitement d'image
5. Eclairage
6. Conclusion



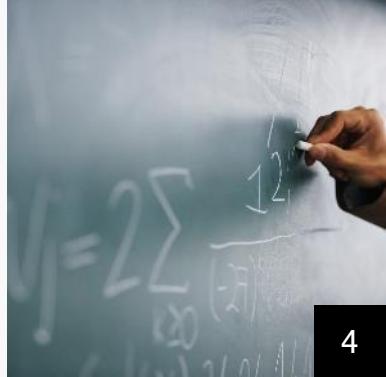
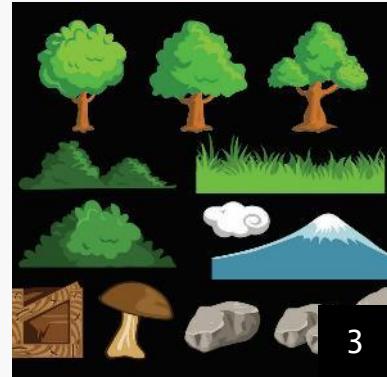
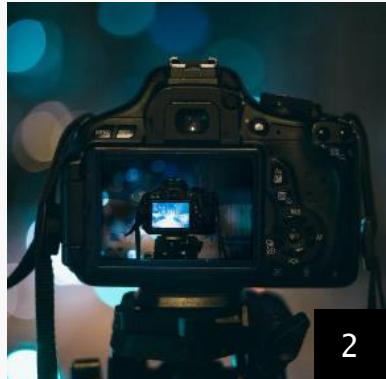
<https://github.com/Robx1ey/VisionIndustrielle>



# Vision industrielle

## Plan

1. Introduction
2. Caméra
  - a) Définition
  - b) Mots clés
  - c) Matricielle / Linéaire
  - d) TD1 : Détection de QR Code sur colis
  - e) Objectif
  - f) TD2 : Exercices
  - g) TP3 : Jupyter Notebook - Scan d'une bouteille en rotation
3. TP - Images
4. TP - Traitement d'image



# Objectif & Caméra



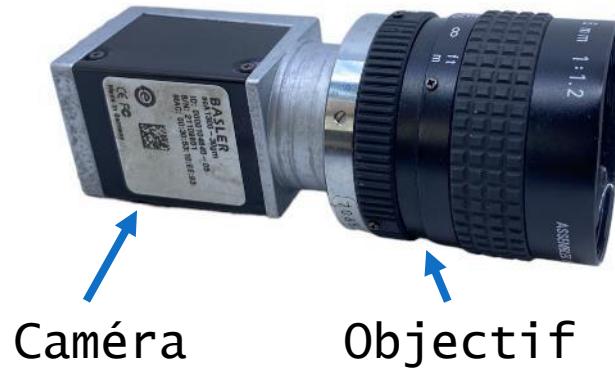
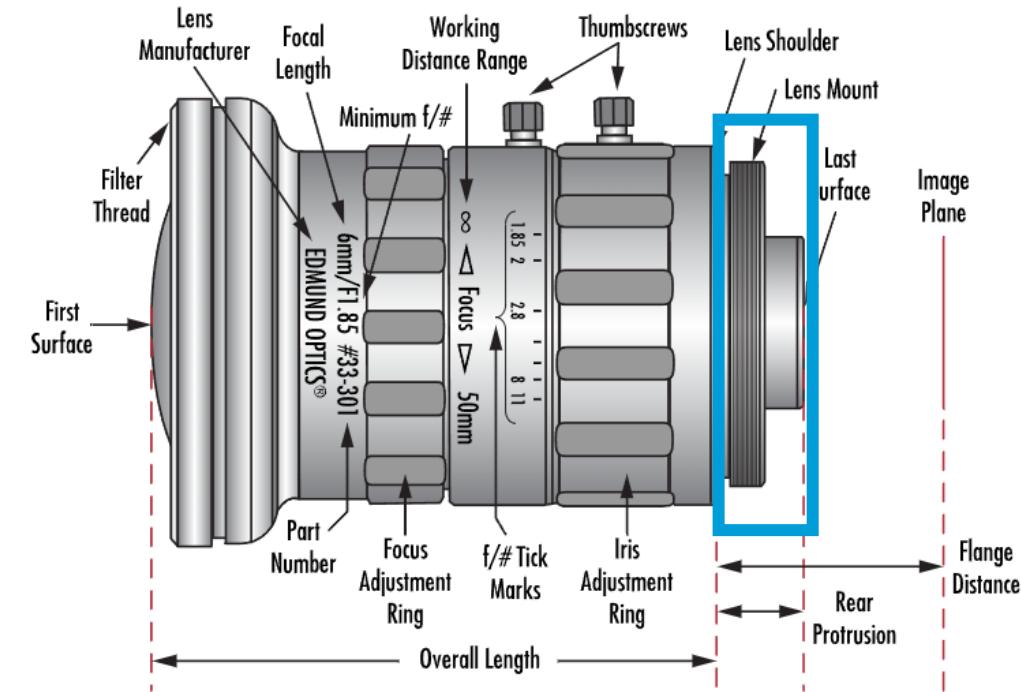
Les **caméras** ont toujours besoin d'un **objectif** pour diriger la lumière réfléchie par la scène vers le **capteur**.

La constitution de l'**objectif** (rayons des lentilles, la distance entre les lentilles, la distance entre l'objet et la lentille (distance de travail), ainsi que la distance entre la lentille et le capteur ont un **impact** sur la qualité d'image).

Tout cela se calcule pour avoir la meilleure image possible !

# Objectif – Constitution

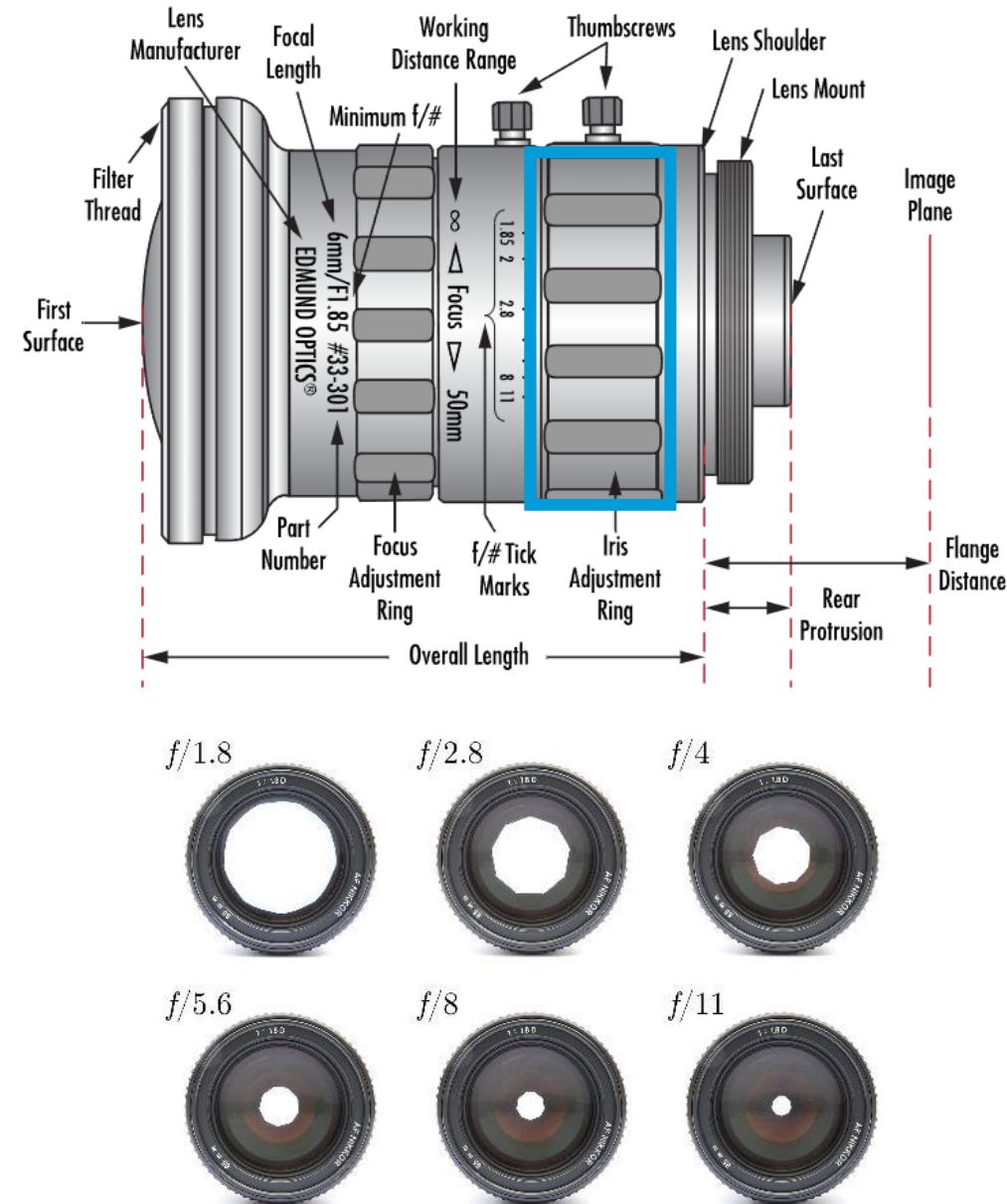
**La monture** : à visse ou baïonnette permettant de fixer l'objectif sur la caméra (la plus courante en vision industrielle est la monture de type C)



# Optique – Constitution

**La monture** : à visse ou baïonnette permettant de fixer l'objectif sur la caméra (la plus courante en vision industrielle est la monture de type C)

**L'ouverture** : permet de piloter le diaphragme (ou iris) de l'objectif pour jouer sur la quantité de **lumière atteignant le capteur et la profondeur de champ**. Peut-être automatique, pilotée ou manuelle.

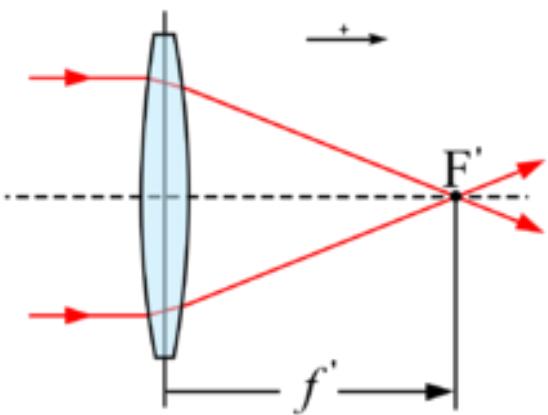
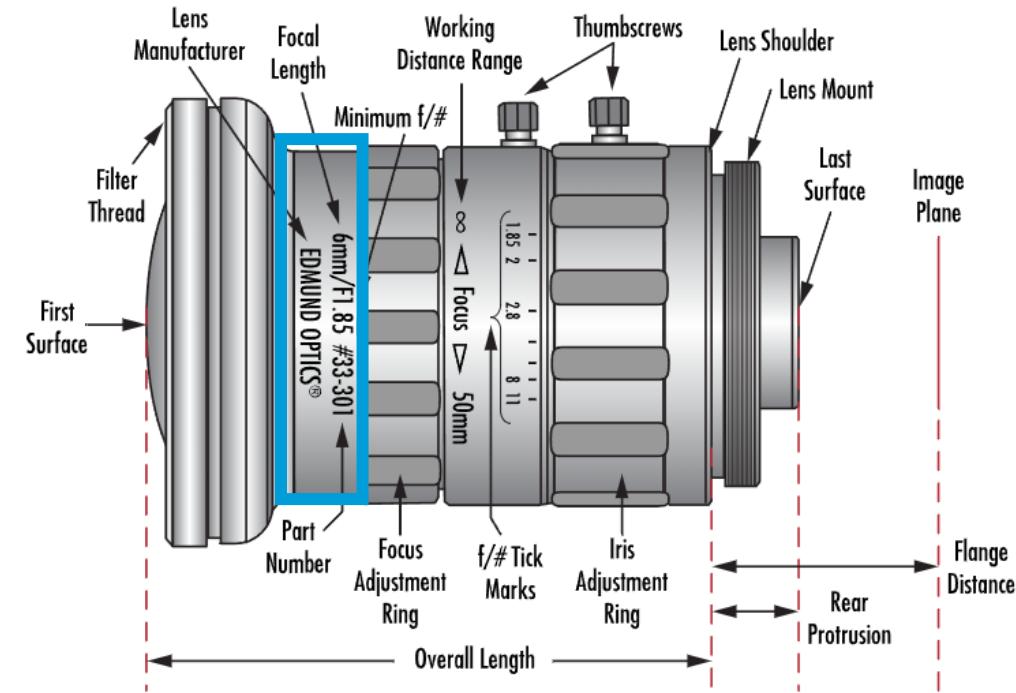


# Optique – Constitution

**La monture** : à visse ou baïonnette permettant de fixer l'objectif sur la caméra (la plus courante en vision industrielle est la monture de type C)

**L'ouverture** : permet de piloter le diaphragme (ou iris) de l'objectif pour jouer sur la quantité de lumière atteignant le capteur et la profondeur de champ. Peut-être automatique, piloté ou manuelle.

**La focale** : elle permet de voir les objets plus ou moins grand. Généralement **valeur fixe** sur les objectifs de vision industrielle.



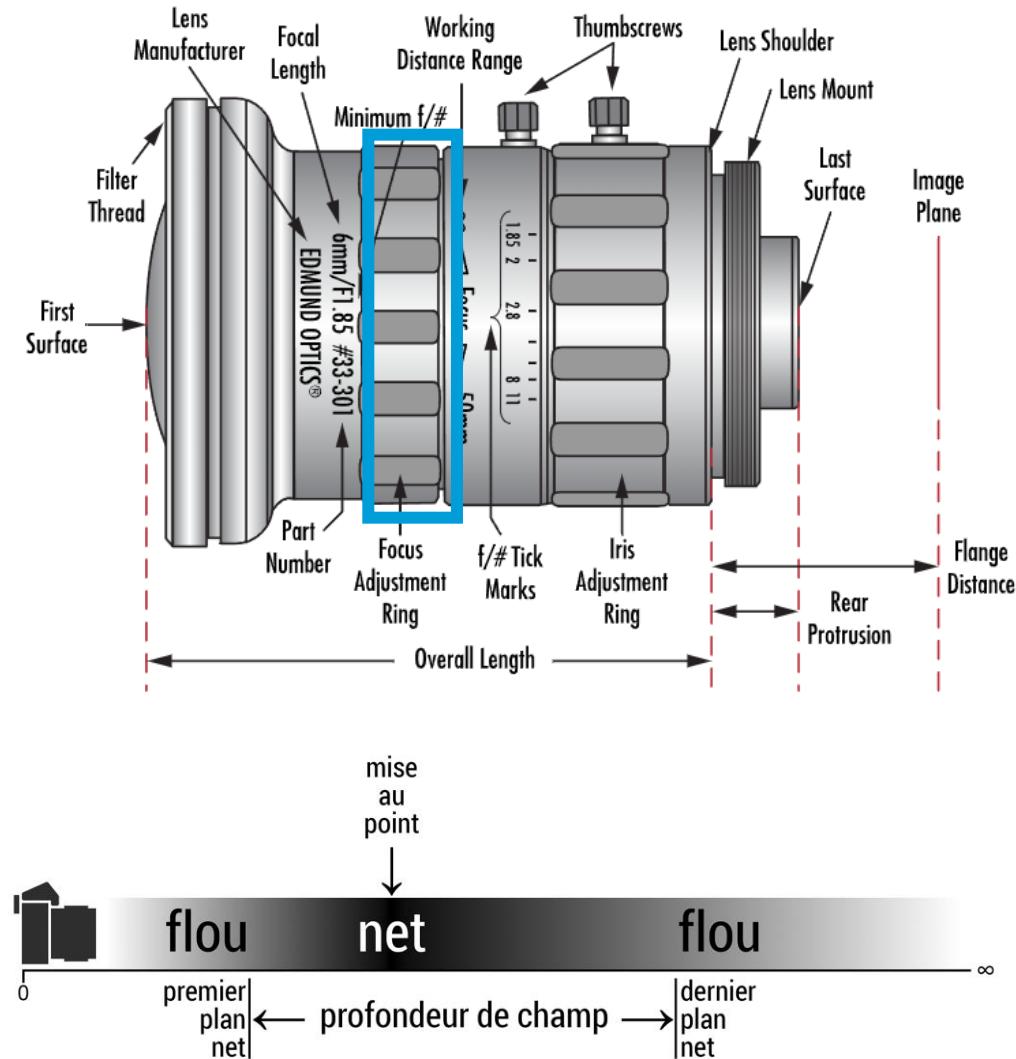
# Optique – Constitution

**La monture** : à visse ou baïonnette permettant de fixer l'objectif sur la caméra (la plus courante en vision industrielle est la monture de type C)

**L'ouverture** : permet de piloter le diaphragme (ou iris) de l'objectif pour jouer sur la quantité de lumière atteignant le capteur et la profondeur de champ. Peut-être automatique, piloté ou manuelle.

**La focale** : elle permet de voir les objets plus ou moins grand. Généralement fixe sur les objectifs de vision industrielle.

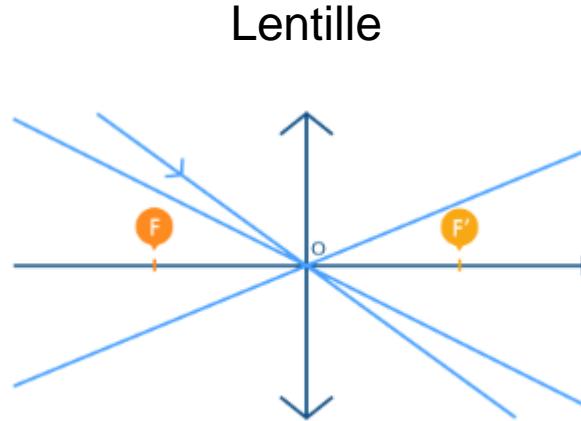
**La mise au point (ou focus)** : elle permet d'obtenir une image nette en déplaçant les lentilles à l'intérieur de l'objectif et dépend des autres réglages (ouverture, focale) et distance de l'objet à observer.



# Optique géométrique – Lentille mince convergente

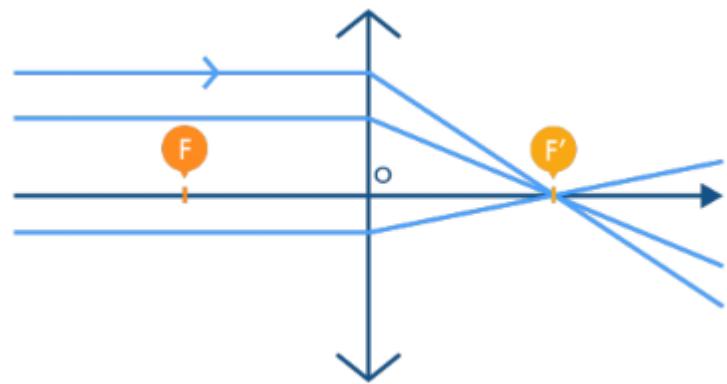
Trois propriétés :

1.



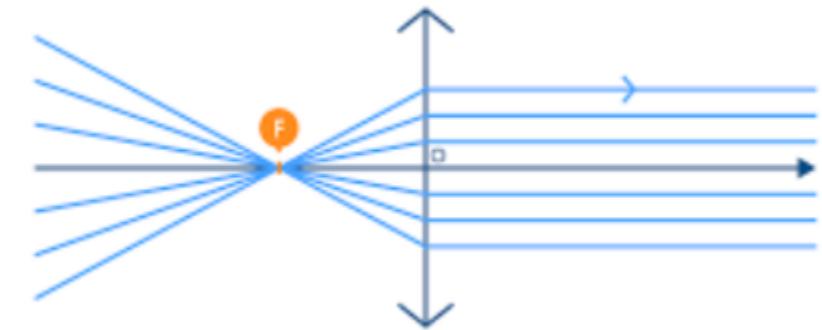
Les rayons passant par le centre optique  $O$  ne sont pas déviés.

2.



Les rayons incidents (côté objet) parallèles à l'axe optique émergent de la lentille en passant par le foyer image  $F'$ .

3.

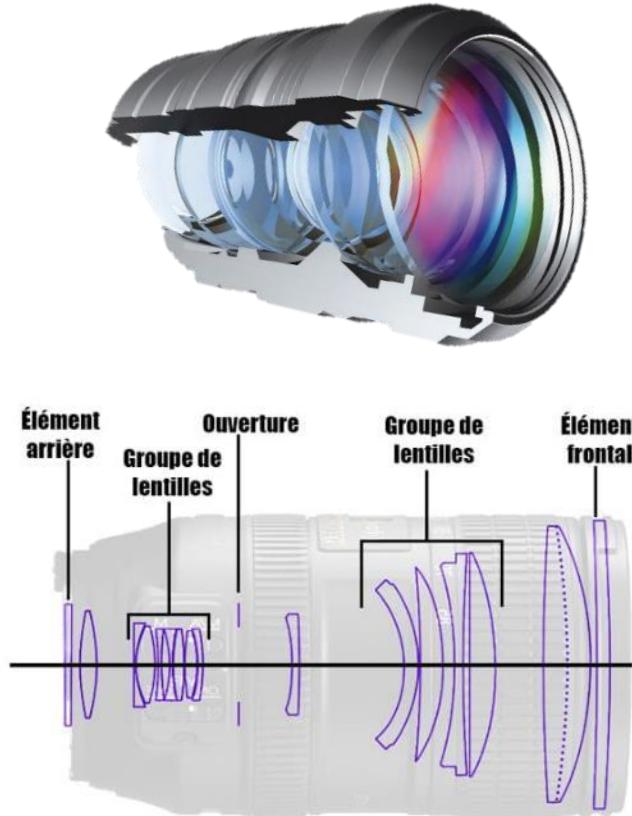


Les rayons incidents passant par le foyer objet  $F$ , émergent de la lentille en étant parallèles à l'axe optique.

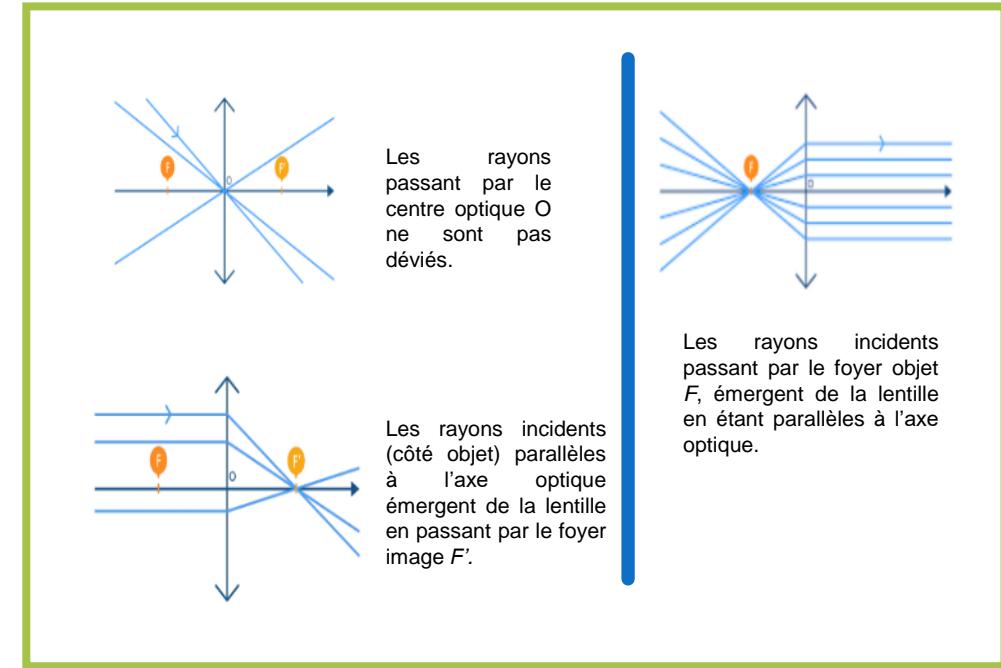
$F$  : foyer objet    $O$  : centre optique    $F'$  : foyer image

# Optique géométrique – Lentille mince convergente

Un objectif est un système optique composé de plusieurs lentilles.



## Lentille mince

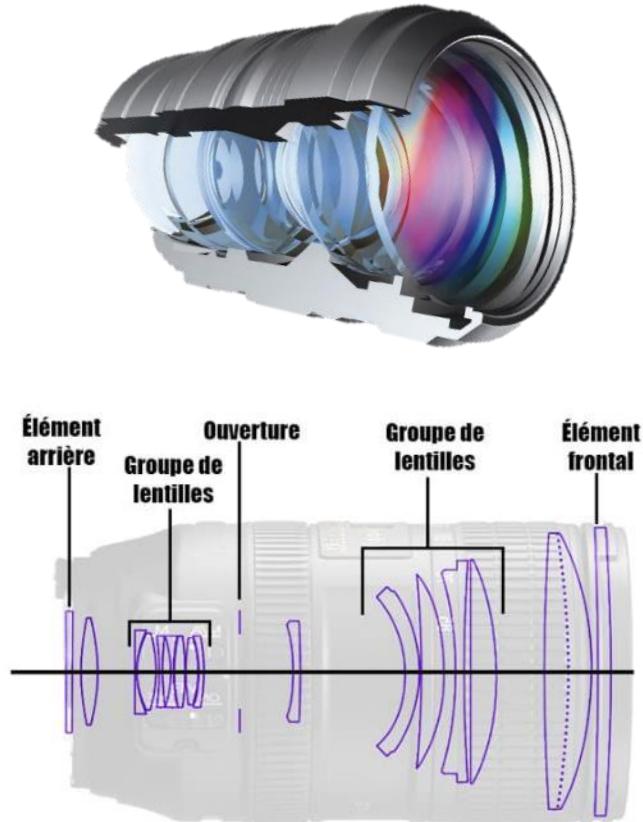


Un système de plusieurs lentilles minces peut être modélisé par une unique lentille mince de focale  $f$ .

Les constructeurs vous renseignent sur la valeur de cette focale !

# Objectif et vision industrielle

Un objectif est un système composé de plusieurs lentilles.



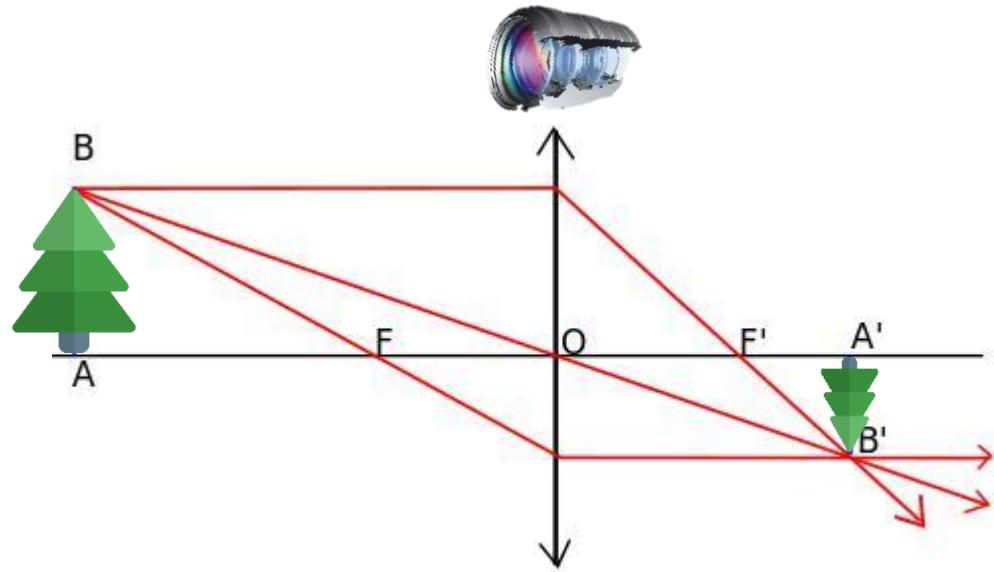
En vision industrielle, les objectifs utilisés sont à focale fixe. (En photographie les zooms sont à focale variable)

Les valeurs focales classiques sont généralement (en mm) : 8, 12, 16, 25, 35, 50.



Comment choisir la bonne focale ?

# Focale et grandissement



On se sert des trois propriétés de l'optique géométrique pour reconstruire l'image inversée de l'objet.

La **focale**  $f$  est la distance (en mm) du centre optique O au foyer image  $F'$  :  
 $f = OF = OF'$

Formule de conjugaison de Descartes :

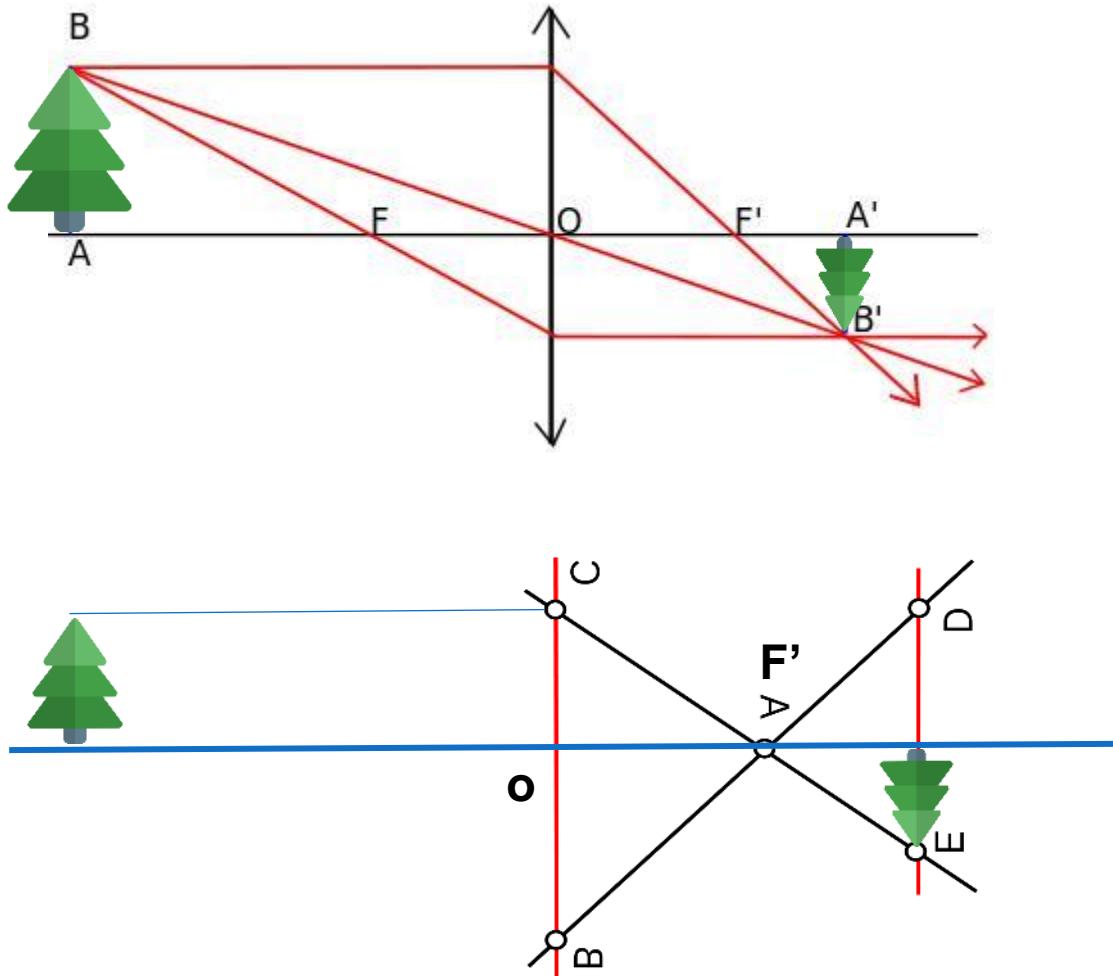
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA}$$

$$\text{Le grandissement : } \gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

La focale en fonction du grandissement et de la distance par rapport à la lentille

$$f = \frac{OA}{\frac{1}{\gamma} + 1}$$

# Focale et grandissement



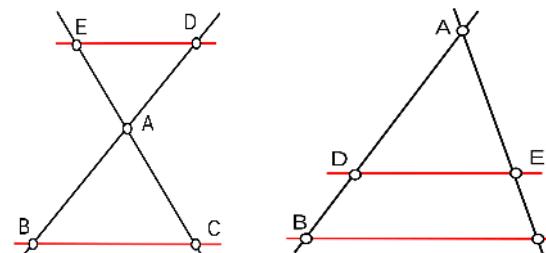
La **focale**  $f$  est la distance (en mm) du centre optique O au foyer image  $F'$  :  
 $f = OF = OF'$

Formule de conjugaison de Descartes :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA} \quad f = \frac{OA}{\frac{1}{\gamma} + 1}$$

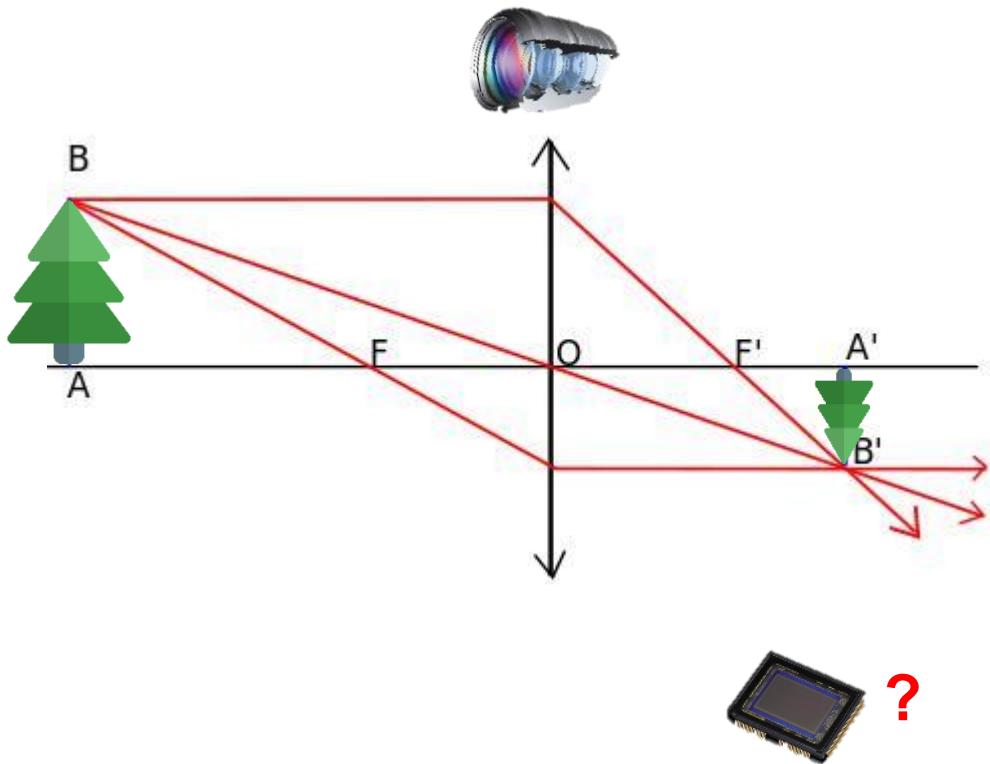
Le grandissement :  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$

Le **théorème de Thales** permet de retrouver ces relations :

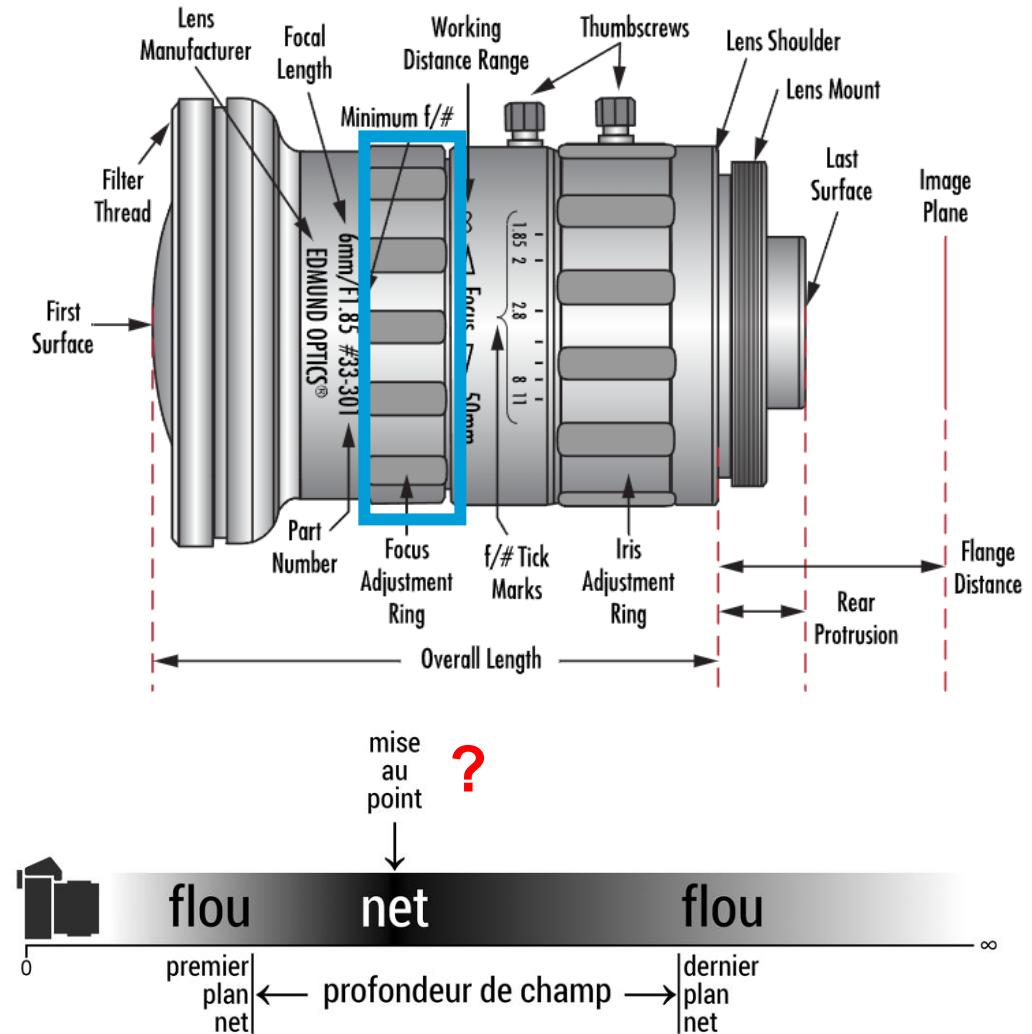


$$\frac{AB}{AC} = \frac{AD}{AE} = \frac{DB}{EC}$$

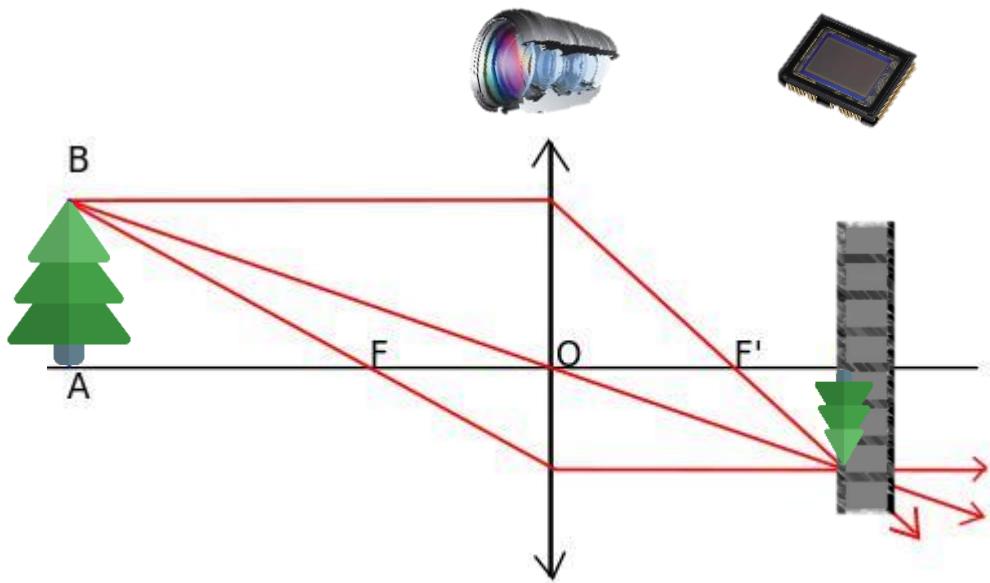
# Mise au point (ou focus)



Où doit-être placé le capteur pour avoir une image nette ?

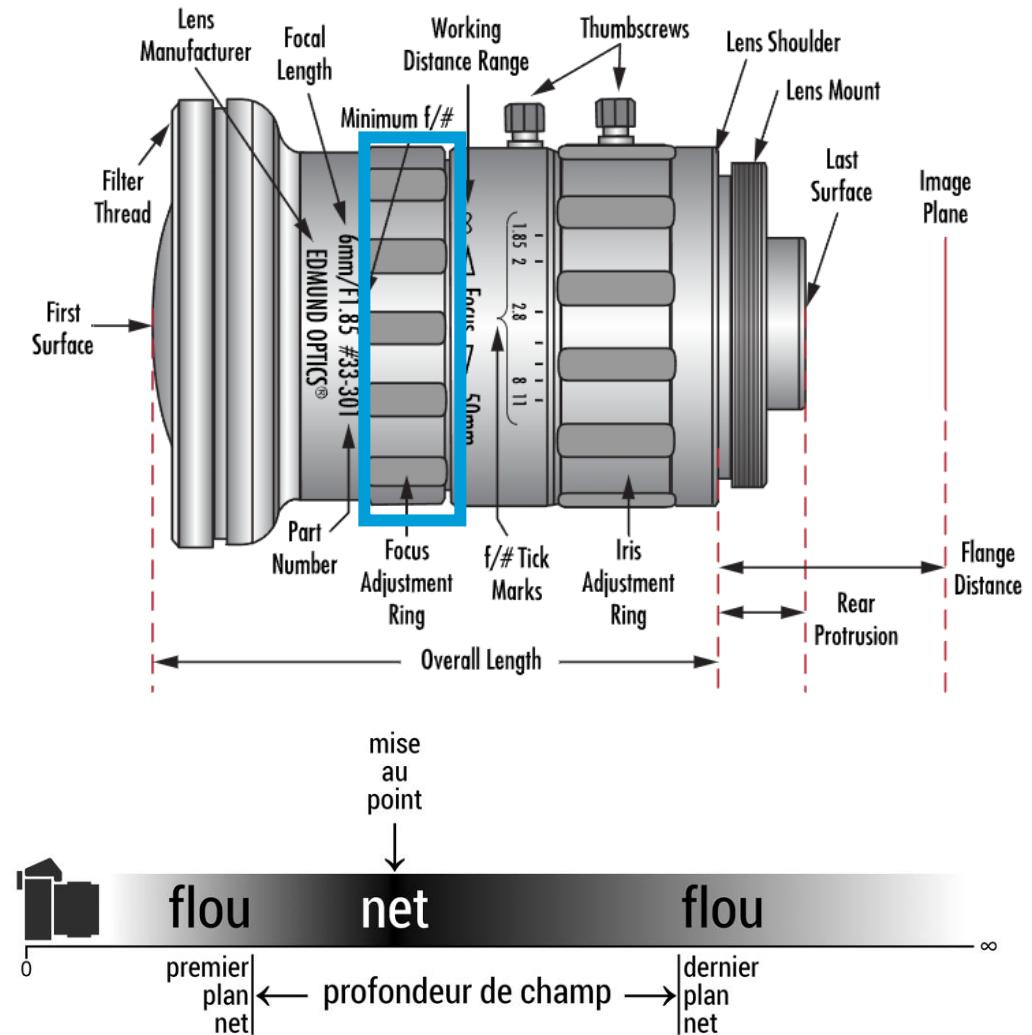


# Mise au point (ou focus)

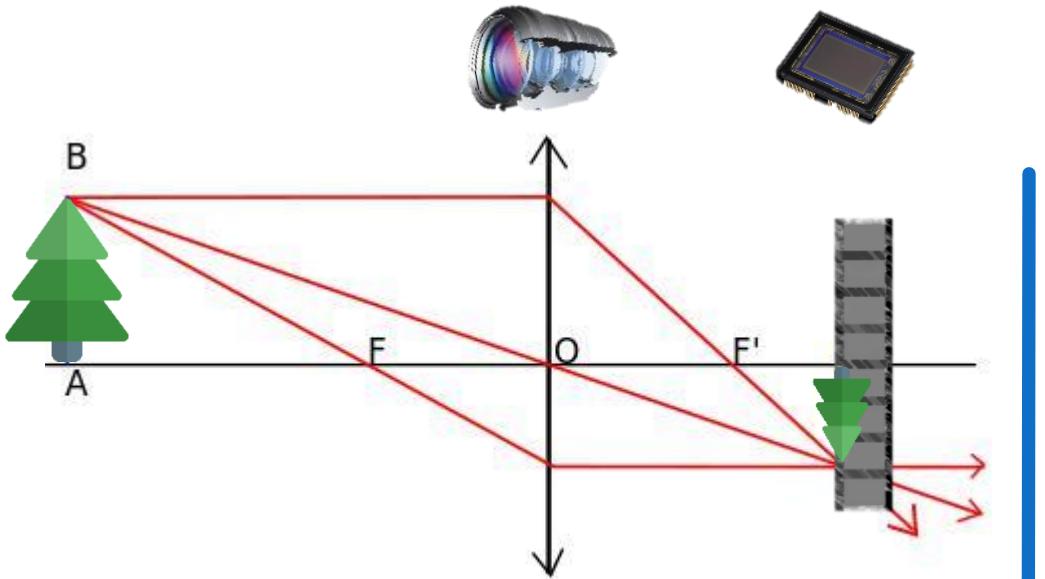


La **mise au point** consiste à positionner le capteur à l'endroit où se forme l'**image de l'objet** qui nous intéresse dans la scène afin que ce dernier soit le plus net possible.

Sur l'objectif, il faut jouer sur la bague de mise au point pour positionner correctement le capteur.



# TD2 : Exercice



Rappel des formules :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA}$$

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

$$f = \frac{OA}{\frac{1}{\gamma} + 1}$$

↓

$$OA = \left( \frac{1}{\gamma} + 1 \right) * f$$

## Problème 1 : Il est loin mon sapin ?

Mon sapin mesure 18m de hauteur et sur le capteur il fait 90 pixels. La focale  $f$  est de 25. La taille d'un pixel du capteur est de  $5,5\mu\text{m}$  ( $0.0055\text{mm}$ ).

- Calculer la précision (résolution spatiale) d'un pixel.
- Calculer le grandissement  $\gamma$ .
- Calculer la distance du sapin par rapport à la caméra.

### Solution :

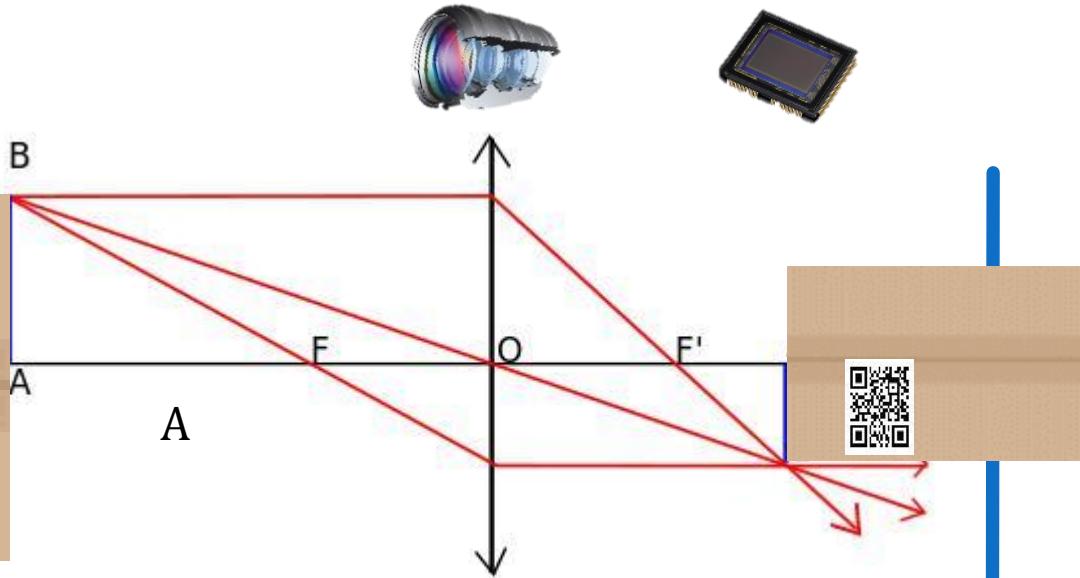
$$a) \text{résolution spatiale} = \frac{18m}{90\text{pixels}} = 0.2m = 200mm$$

$$b) \gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{90 * 0.0055}{18000} = 2.75e - 05$$

$$c) OA = \left( \frac{1}{2.75e - 05} + 1 \right) * 25mm = 909115.90mm$$

$$OA = \left( \frac{1}{2.75e - 05} + 1 \right) * 25mm = 909.115m$$

# TD2 : Exercice



Rappel des formules :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA}$$

$$f = \frac{OA}{\frac{1}{\gamma} + 1}$$

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

$$OA = \left( \frac{1}{\gamma} + 1 \right) * f$$



## Problème 2 : Boîte avec QR Code

Une boîte de dimension 40cm x 30cm est scannée sur sa largeur de 30cm. Il faut au moins 750 pixels pour respecter la précision nécessaire à la lecture du QRCode.

La hauteur maximale disponible au dessus du carton est de 120cm.

La documentation du capteur renseigne que la taille d'un pixel est de 3,4µm (0.0034mm).

- Calculer la taille de l'image de la boîte projetée sur le capteur.
- Calculer le grandissement  $\gamma$ .
- Calculer la focale  $f'$  pour une distance de travail maximale de 120cm.
- Choisir la meilleure focale dans la liste suivante : 6, 8, 12, 16, 25, 35 (focales classiquement proposées chez les constructeurs). Calculer la position de la caméra avec la focale retenue.

## Solution :

$$a) A'B' = 750 * 0.0034 = 2.55 \text{ mm}$$

$$b) \gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{2.55}{300} = 0.0085$$

$$c) f = \frac{OA}{\frac{1}{\gamma} + 1} = \frac{1200}{\frac{1}{0.0085} + 1} = 10.11 \text{ mm}$$

$$d) OA = \left( \frac{1}{\gamma} + 1 \right) * f = \left( \frac{1}{0.0085} + 1 \right) * 8 = 949 \text{ mm}$$

# TD2 : Exercice



Peut-on calculer la hauteur de l'éolienne avec deux de ces images ?

$$OA = \left( \frac{1}{\gamma_1} + 1 \right) * f_1 \quad OA = \left( \frac{1}{\gamma_2} + 1 \right) * f_2$$

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{h}{H} \rightarrow \frac{1}{\gamma} = \frac{H}{h}$$

$$OA = \left( \frac{H}{h_1} + 1 \right) * f_1 = \left( \frac{H}{h_2} + 1 \right) * f_2$$

$$(Hh_2 + h_2h_1) * f_1 = (Hh_1 + h_2h_1) * f_2$$

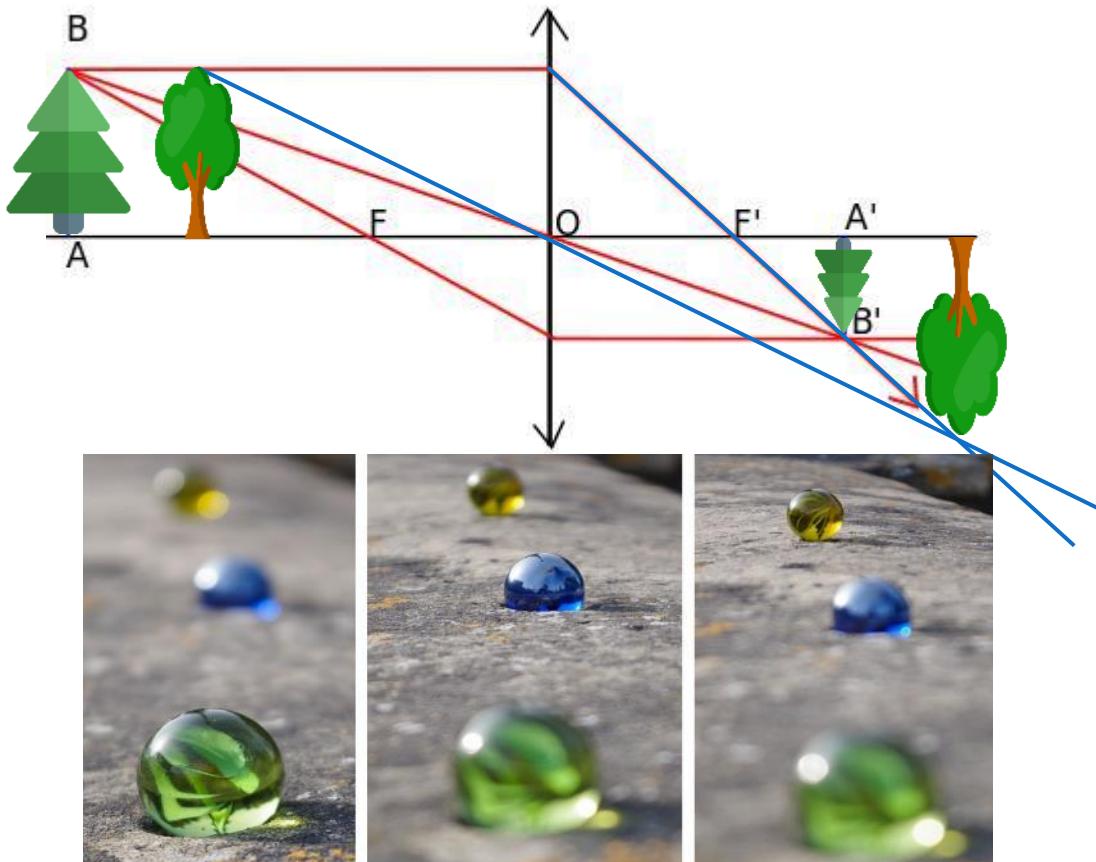
$$Hh_2f_1 + h_2h_1f_1 = Hh_1f_2 + h_2h_1f_2$$

$$H(h_2f_1 - h_1f_2) = h_2h_1(f_2 - f_1)$$

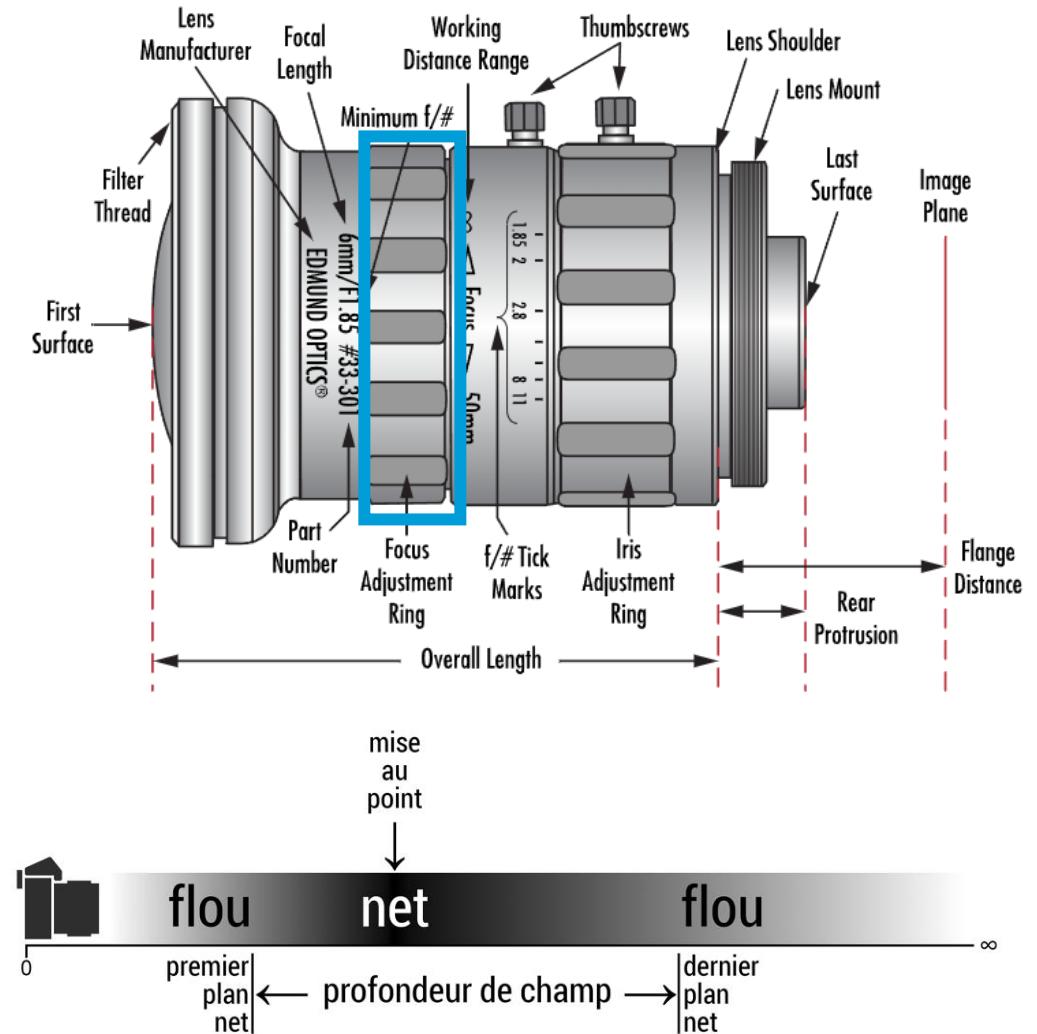
$$H = \frac{h_2h_1(f_2 - f_1)}{(h_2f_1 - h_1f_2)}$$

Il nous manque la taille en mm d'un pixel du capteur pour calculer les hauteurs images  $h_2$  et  $h_1$ .

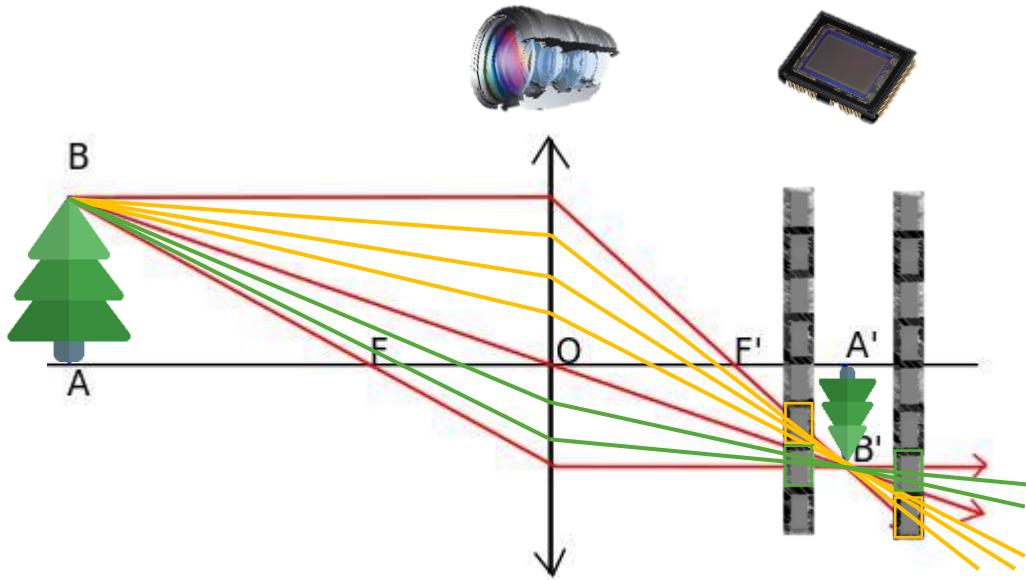
# Mise au point (focus)



La **mise au point** consiste à **positionner le capteur** à l'endroit où se forme l'**image de l'objet** qui nous intéresse dans la scène afin que ce dernier soit le plus net possible.

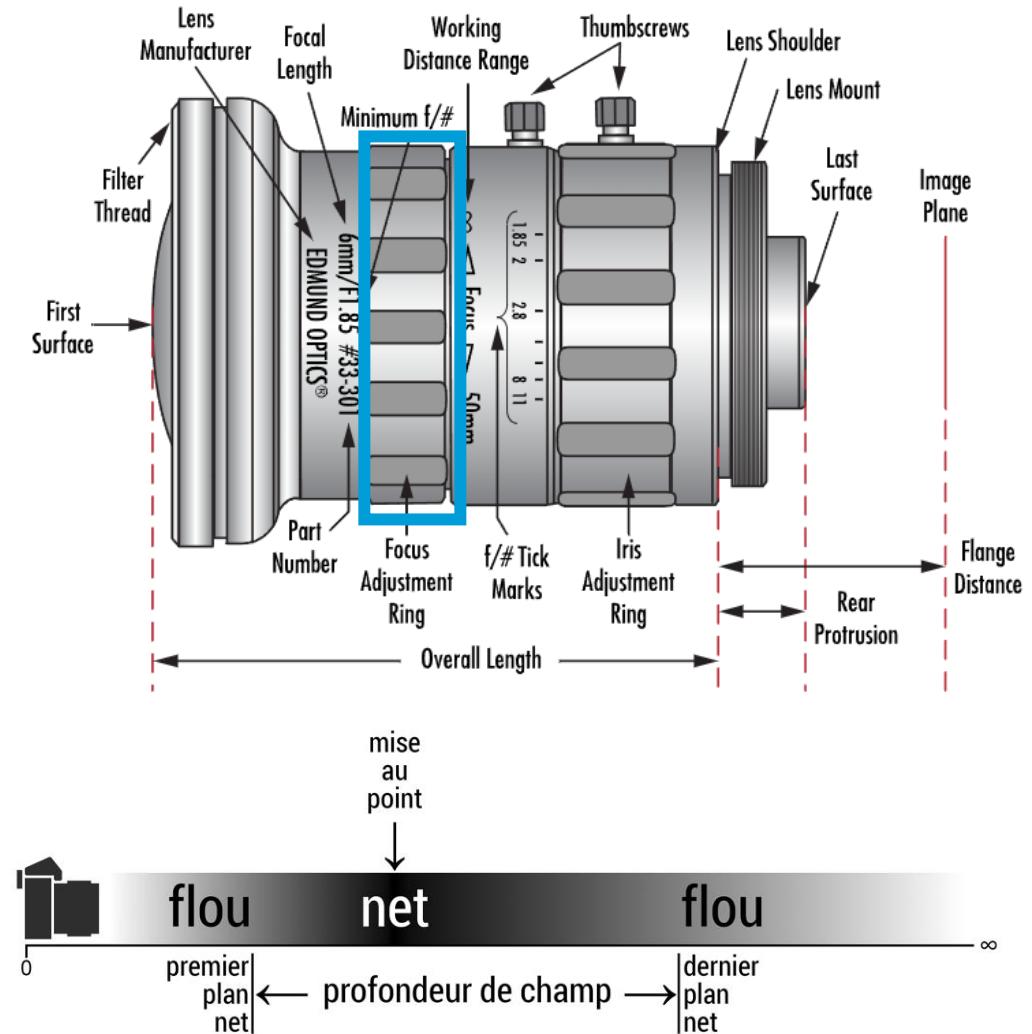


# Flou ?

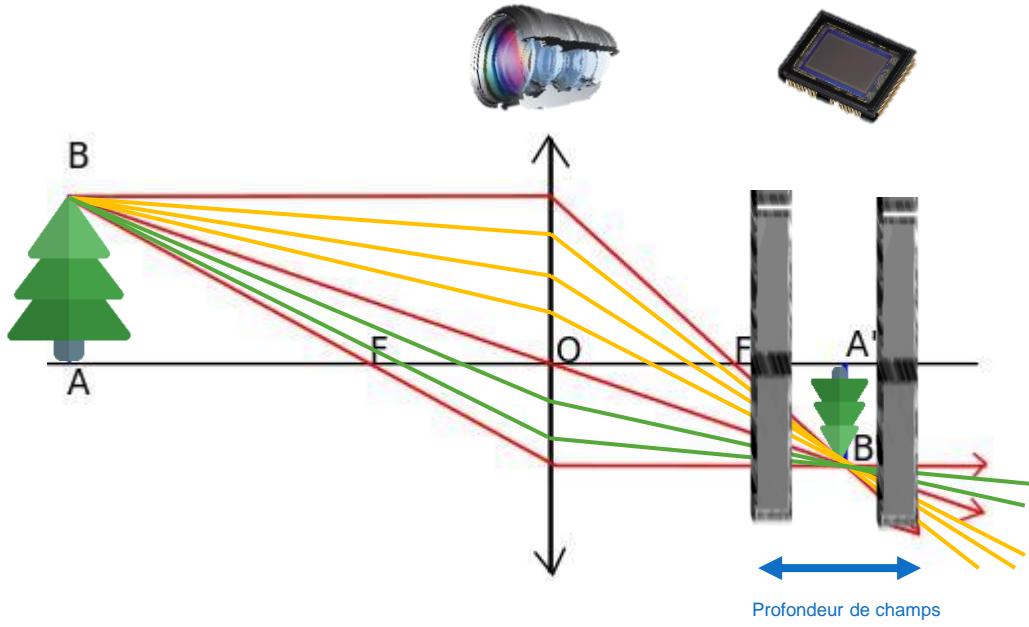


L'image observée sur le capteur est floue lorsque le capteur est placé en amont ou en aval de l'image.

**Flou** : les rayons issus d'un même point objet ne convergent pas tous dans le même pixel.



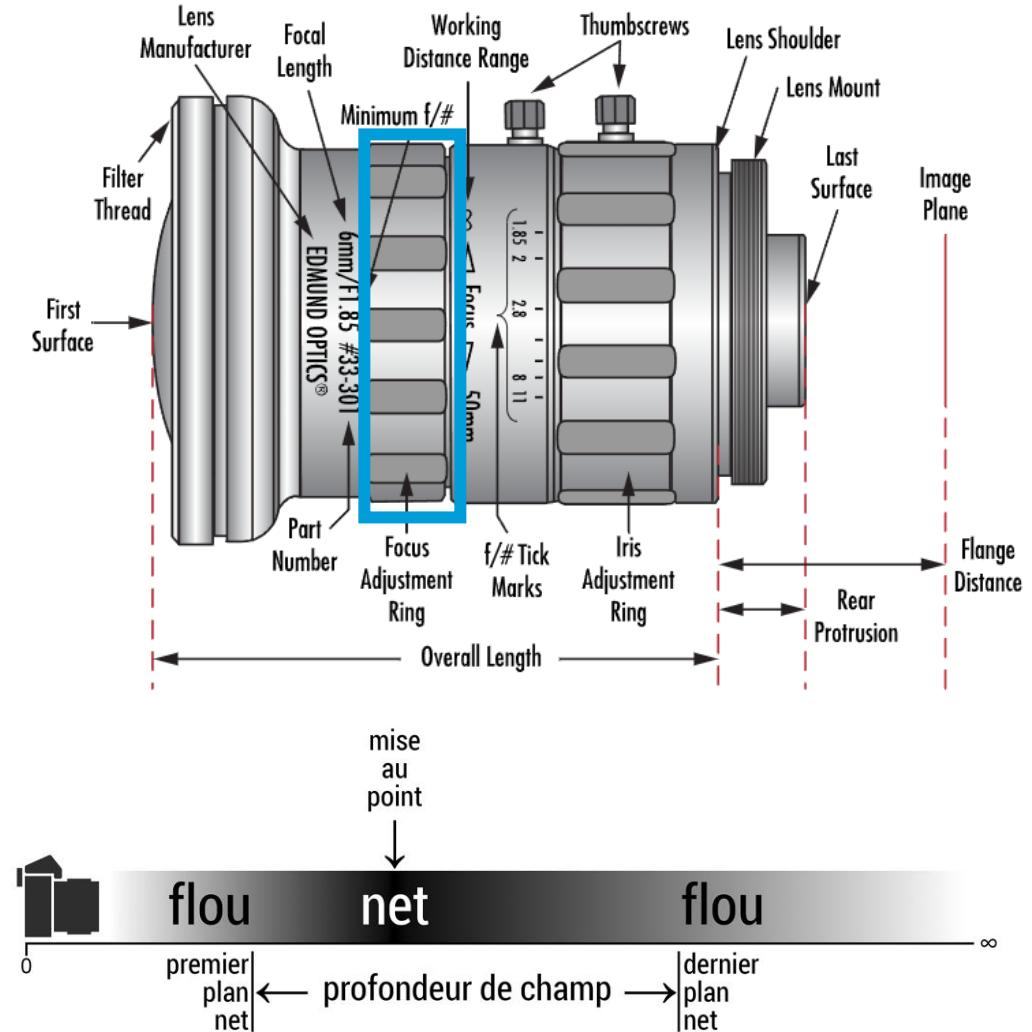
# Profondeur de champ



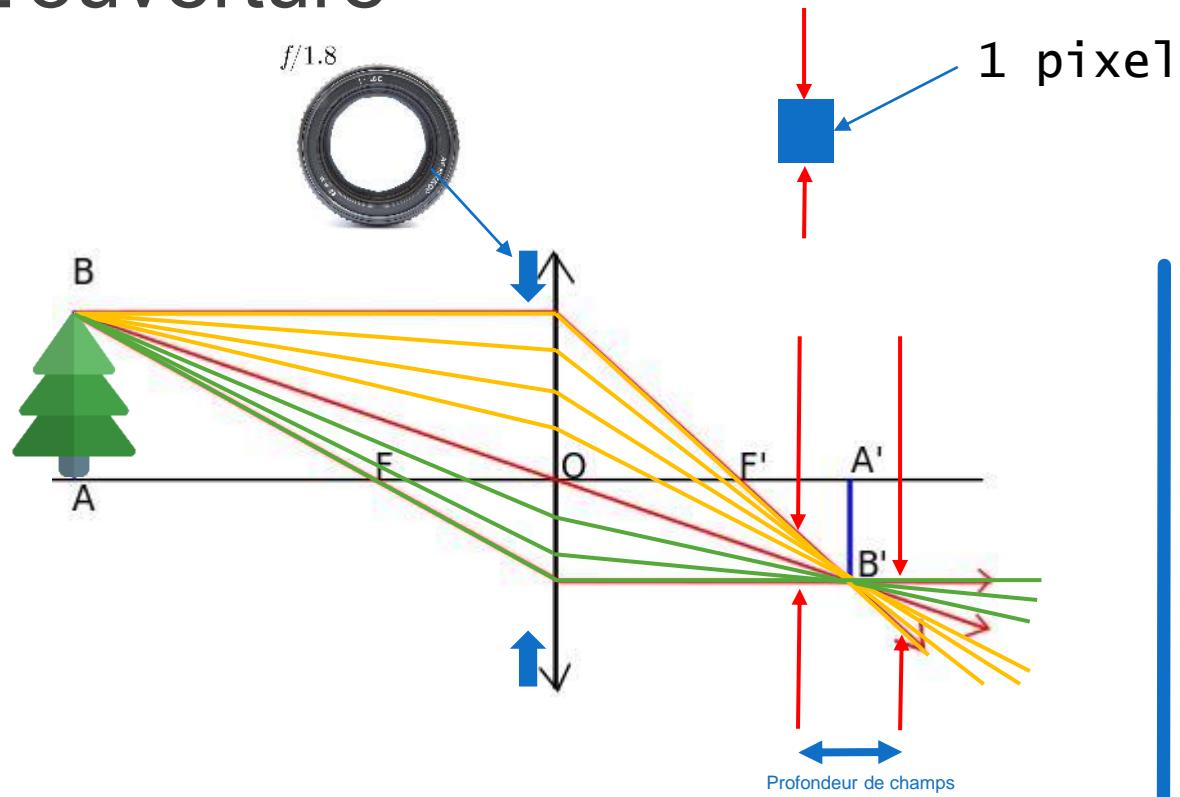
## Profondeur de champs:

C'est la zone de netteté qui se répartit devant et derrière l'endroit où vous avez fait la mise au point.

Les pixels du capteur ont une certaine dimension permettant une zone de tolérance sur le positionnement du capteur sans dispersion des rayons issus d'un même point sur plusieurs pixels.



# L'ouverture

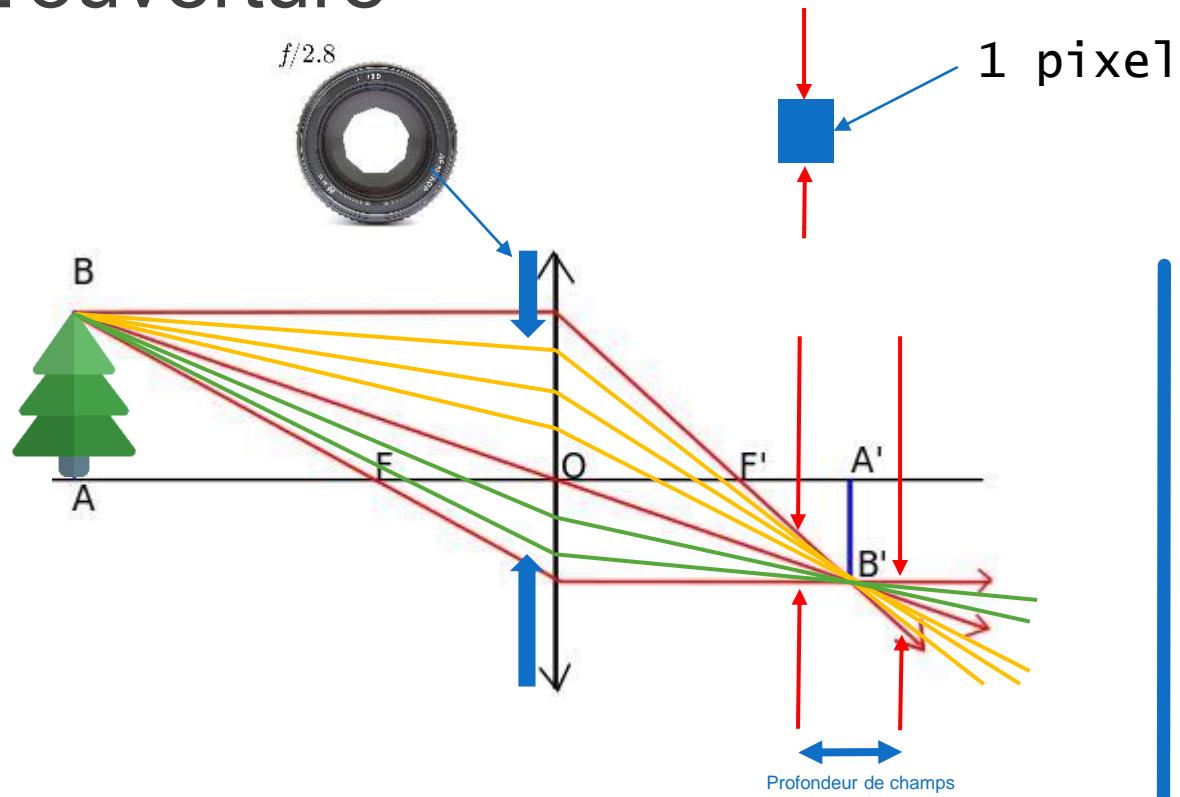


## L'ouverture:

Mécanisme permettant la fermeture/ouverture de l'iris limitant la quantité de lumière et filtrant les rayons les plus éloignés du centre optique.



# L'ouverture

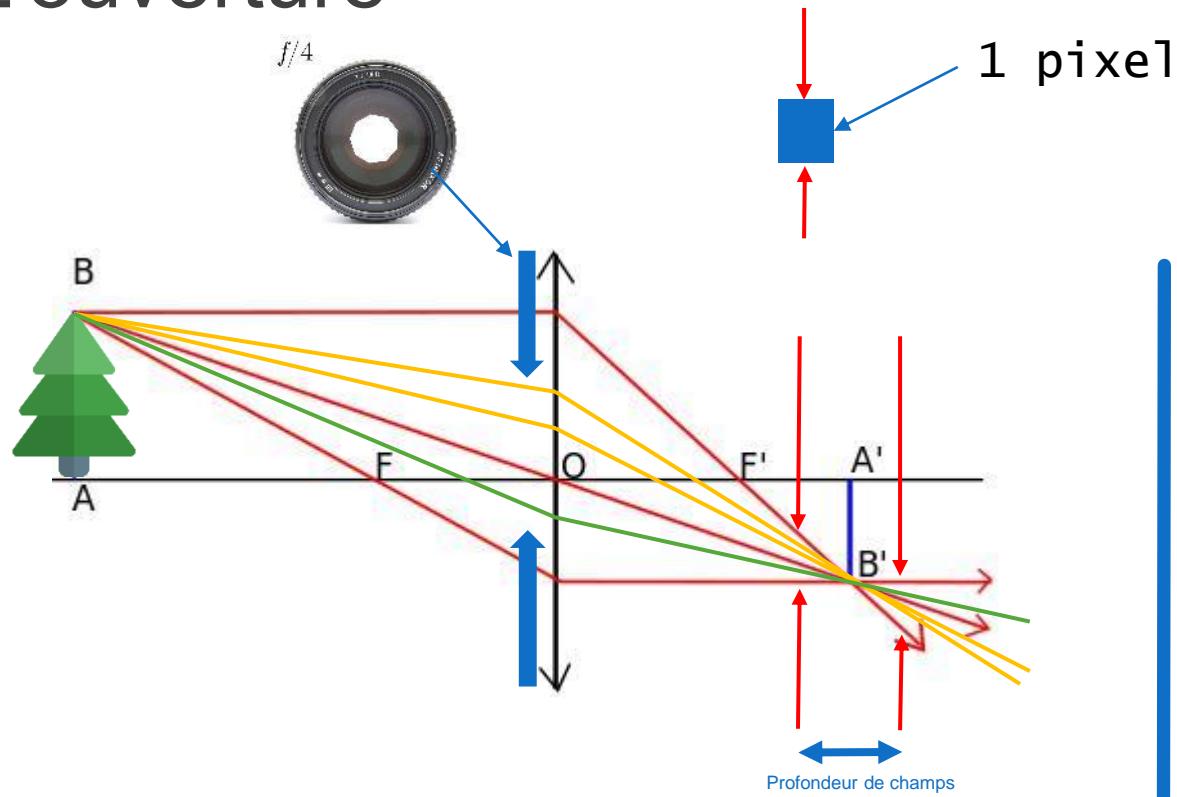


## L'ouverture:

Mécanisme permettant la fermeture/ouverture de l'iris limitant la quantité de lumière et filtrant les rayons les plus éloignés du centre optique.



# L'ouverture

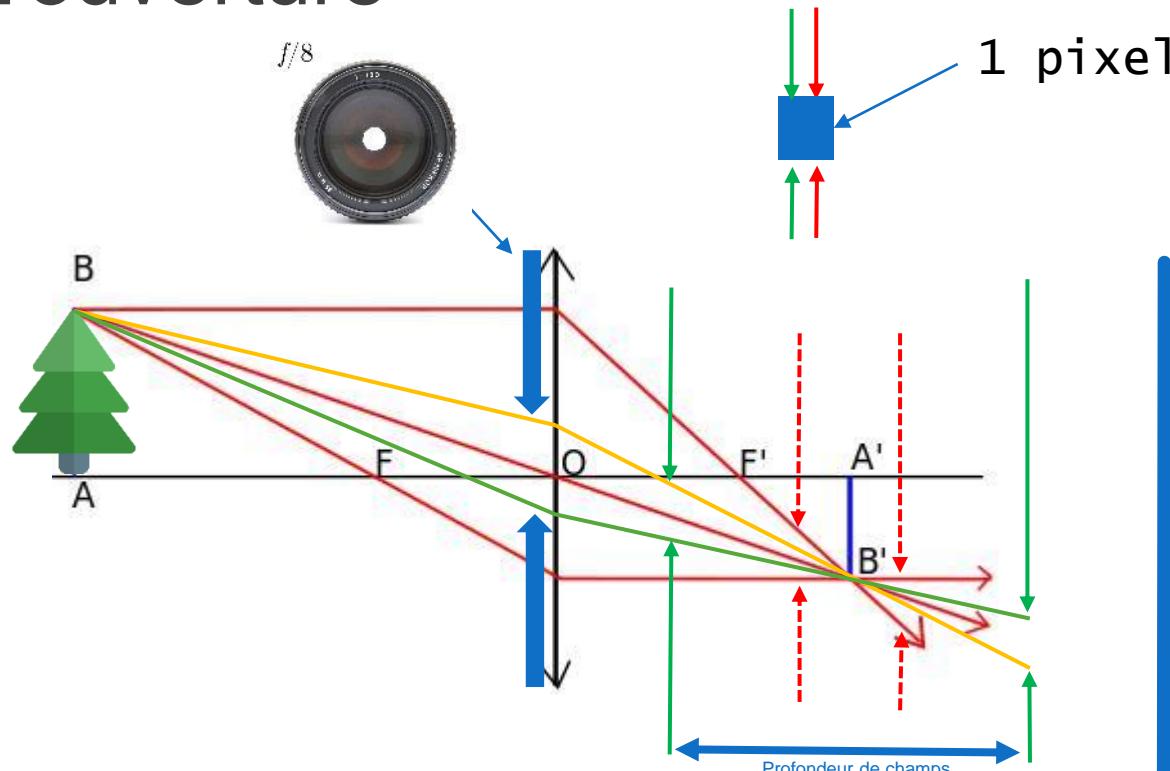


## L'ouverture:

Mécanisme permettant la fermeture/ouverture de l'iris limitant la quantité de lumière et filtrant les rayons les plus éloignés du centre optique.



# L'ouverture



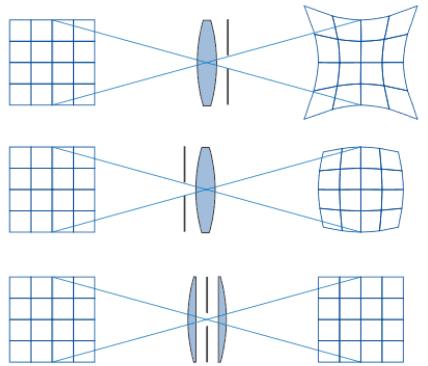
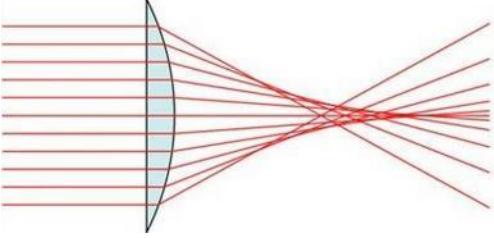
## L'ouverture:

Plus on ferme, plus la profondeur de champ est grande (en supprimant les rayons éloignés du centre optique).

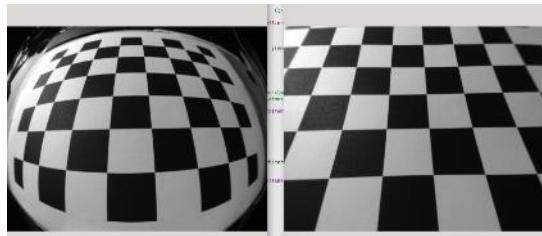
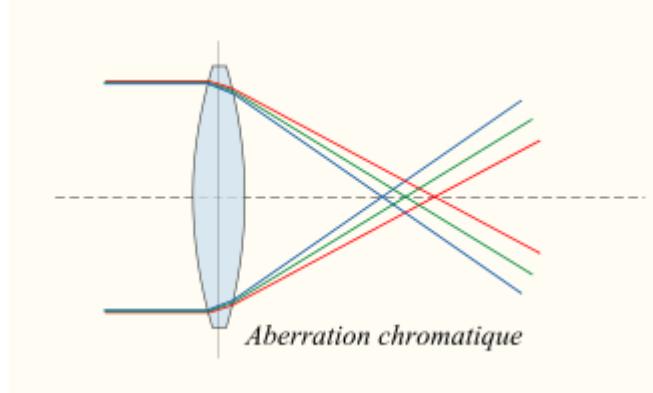


# Aberrations optiques

## Aberration géométrique



## Aberration chromatique



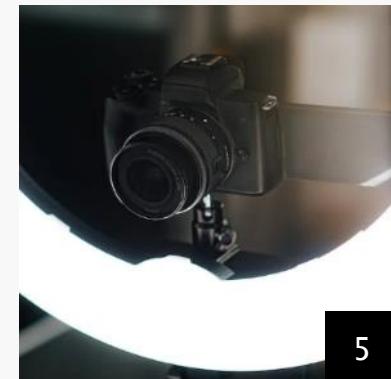
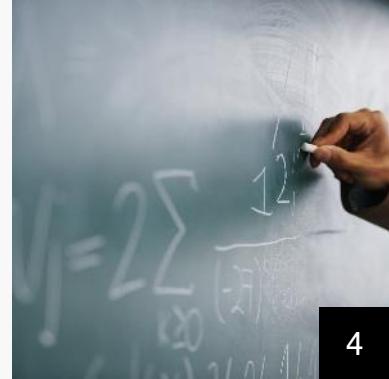
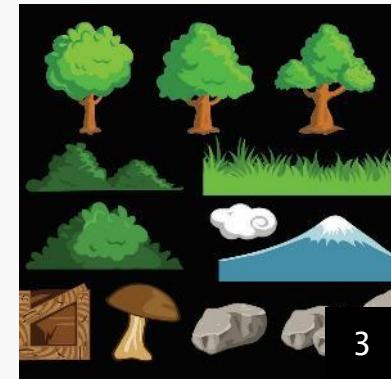
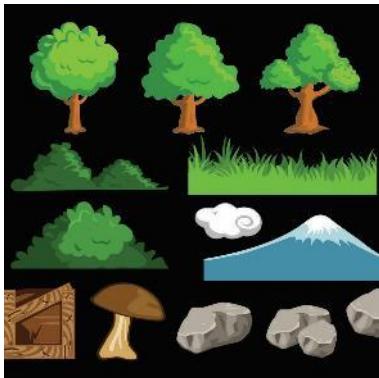
Calibration du système de vision pour corriger les aberrations par l'utilisation de mires.

Les focales courtes (lentilles à forte courbure avec une déviation importante de la lumière) ont plus de risques de présenter des aberrations. L'utilisation de plusieurs optiques dans un objectif permet de limiter et compenser une partie de ces aberrations. [Correction possible par traitement d'image avec une calibration du système de vision.](#)

# Image

## Plan

1. Introduction
2. Caméra
3. TP - Images
  - a) Environnement de développement pour le traitement d'image
  - b) Utilisation d'une librairie de vision par ordinateur : OpenCV
4. TP - Traitement d'image
5. Conclusion



# TP - Environnement de développement pour le traitement d'image.

## Un environnement de développement intégré (IDE) :

une application logicielle qui aide les programmeurs à développer efficacement le code logiciel/algorithmes.  
(PyCharm, Visual Studio, VS Code, Borland, matlab etc...)



Visual Studio  
Code pour le TD

## Un langage de programmation pour le pilotage des caméras, triggers et le traitement d'image. (C++, python, C, etc...)

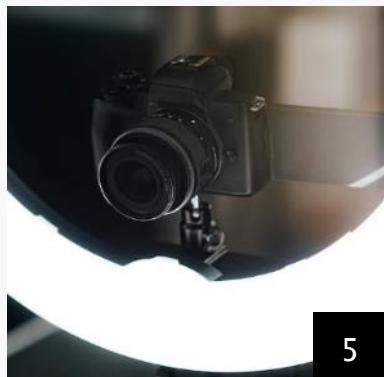
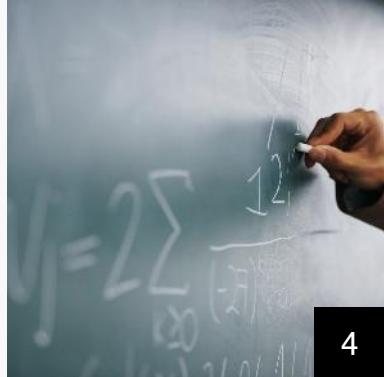
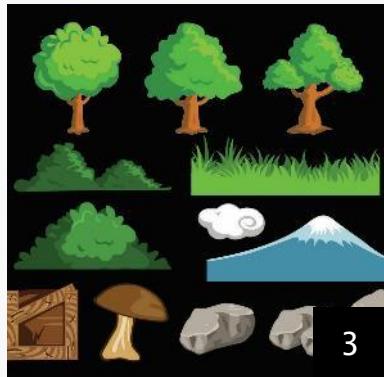
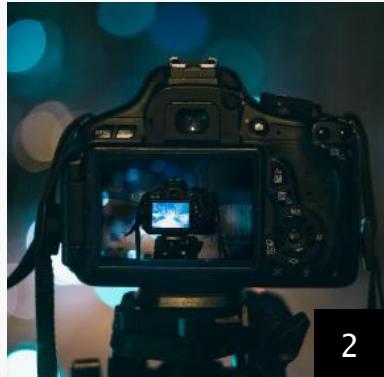


Python pour le TD

## Outils / librairie de vision par ordinateur fournissant les outils classiques de traitement d'image (lecture/écriture d'image, opérations matricielles, filtres, etc...)



OpenCV pour le TD



# Vision industrielle

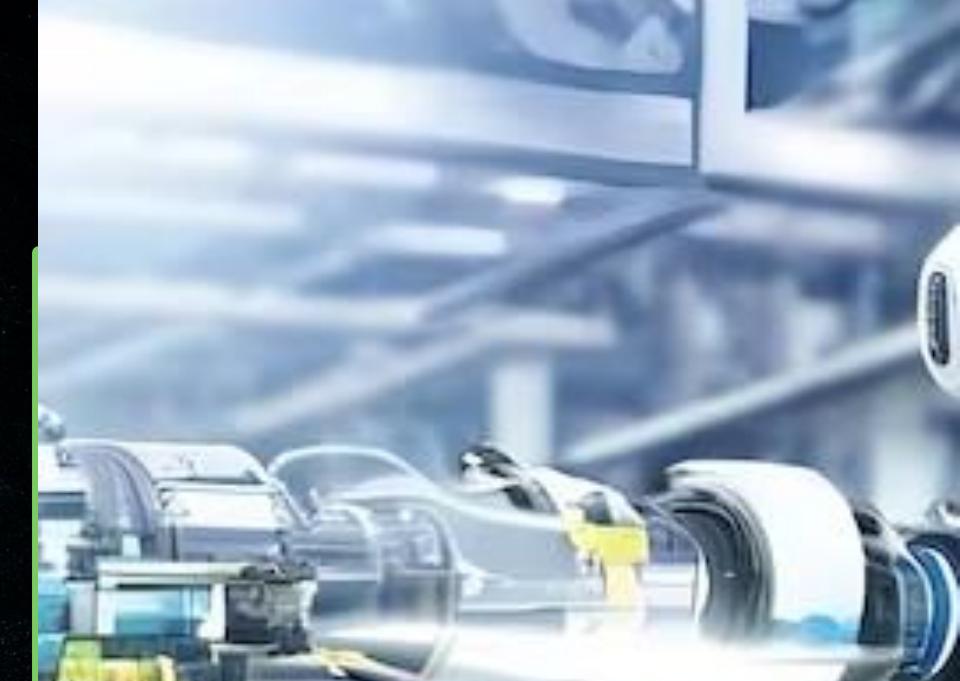
BUT Génie électrique et informatique industrielle

IUT de bordeaux

2023

Alexis Cailly

[alexis.caillly@cea.fr](mailto:alexis.caillly@cea.fr)



**iut**  
de **BORDEAUX**