

Travaux Pratiques

Semestre 6

Vision Industrielle

TP 1 / Banc de vision industrielle



Ce sujet est disponible au format électronique sur le site du LEnsE - <https://lense.institutoptique.fr/> dans la rubrique Année / Première Année / Interfaçage Numérique S6 / Bloc 2 Vision Industrielle.



© 2025 by LEnsE-IOGS

L'image de la page de garde provient du projet DEPhI Vision Industrielle de 2026. Crédits : Joséphine BECHU, Justine GABRIEL et Paul CHENEAU (Promo 2027).

Ce bloc de travaux pratiques utilise un **banc de vision industrielle** avec une lampe de type Effi-Ring RGB, une caméra Basler et une interface développée en **Python** (*PyQt6*) et qui utilise des fonctionnalités de la bibliothèque **OpenCV**.

Les documentations de la caméra et de l'éclairage sont disponibles aux adresses suivantes :

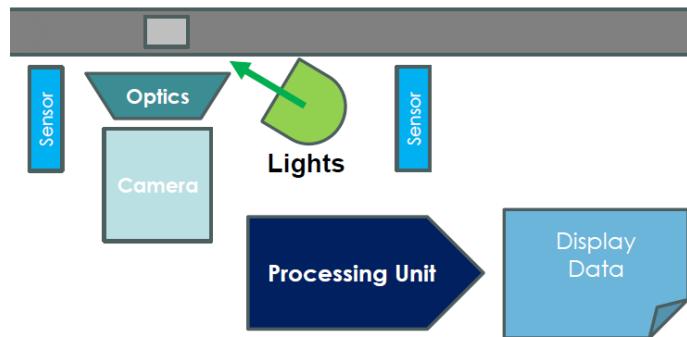
- Basler **a2A 1920 - 160ucBAS** : <https://docs.baslerweb.com/a2a1920-160ucbas#specifications>
- **Effi-Ring** : <https://www.effilux.com/fr/produits/annulaire/effi-ring>

Chaîne de vision industrielle

Cette séance se base sur un **banc de vision industrielle** contenant un éclairage annulaire, une caméra et son objectif, des objets à analyser et d'un logiciel de pilotage de la caméra.

Cette séance a pour but :

- d'analyser l'impact des différents maillons d'une chaîne d'acquisition sur la qualité de l'image
- de proposer des méthodes quantitatives de mesure de la qualité d'image
- de modéliser cette chaîne de manière simple



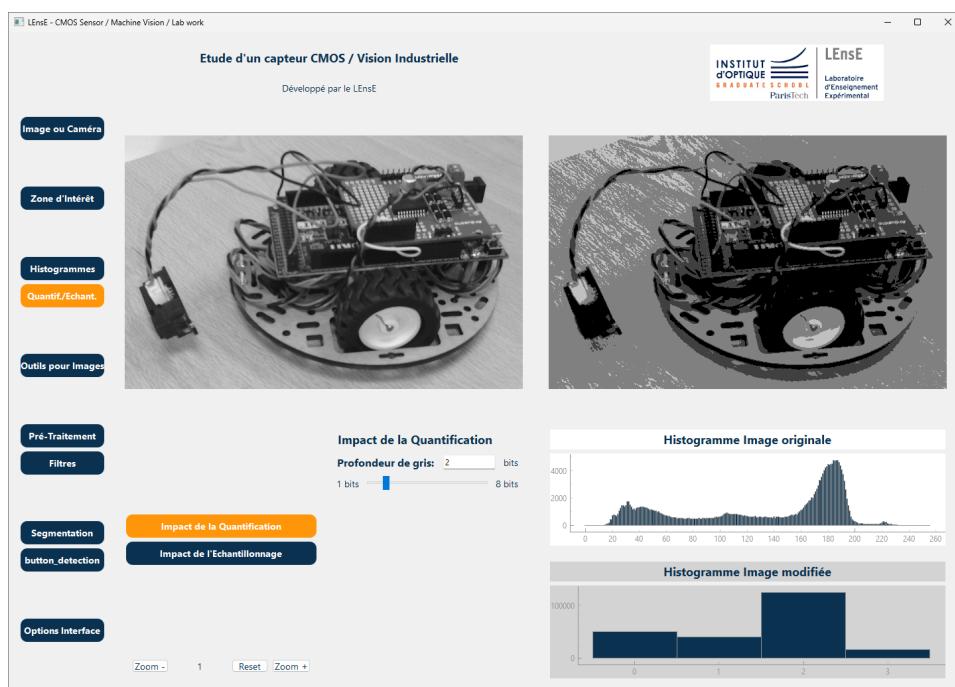
Ce document est complété par un diaporama présentant quelques notions de base de la vision industrielle / Disponible sur le site du LEnsE.

Interface de pilotage

Une interface de pilotage de la caméra (incluant des outils d'analyse et de pré-traitement d'image) a été développée par le LEnsE.

La dernière version officielle est sur le dépôt GitHub suivant :

<https://github.com/IOGS-LEnsE-ressources/machine-vision-gui> (version Basler)



A - Prise en main de l'interface [30 min]

→ M Allumer l'**éclairage annulaire** du banc (trois couleurs). Placer un **fond uniforme** sous l'éclairage (feuille blanche, paillasse...).

→ Q Quelle couleur d'éclairage obtient-on ?

→ M Lancer l'application depuis **S :/_GUI/START_VI.BAT**.

→ M Ouvrir l'onglet **IMAGE OU CAMÉRA**.

Si la caméra est bien connectée en USB à l'ordinateur, vous devriez voir s'afficher son flux.

→ M Ouvrir l'onglet **ZONE D'INTÉRÊT**.

Cet onglet servira par la suite à définir une zone d'acquisition plus restreinte.

→ M Ouvrir l'onglet **HISTOGRAMME** puis sélectionner le mode **RÉPARTITION SPATIALE**.

Dans cette section, vous allez pouvoir :

- visualiser l'histogramme de l'image acquise par la caméra, le sauvegarder
- sauvegarder l'image acquise
- modifier le temps d'exposition et le black level de la caméra

→ Q Que représente l'histogramme d'une image ? A quoi peut-il servir ?

→ Q De quelle nature est l'image obtenue par l'acquisition ?

→ M Placer le *black level* à 0. Modifier le **temps d'intégration** de la caméra.

→ Q Que se passe-t-il sur l'image ? Sur l'histogramme ?

→ Q Quelles sont les valeurs minimale et maximale prises par les pixels de la caméra ? Quelle est alors la **profondeur binaire** de la caméra utilisée ?

L'objectif monté sur la caméra possède 2 bagues qui permettent de changer : **l'ouverture numérique de l'objectif** et la **mise au point**.

→ M Imposer un temps d'intégration qui ne sature pas le capteur (pour un éclairage blanc). Modifier l'ouverture numérique d'un cran.

→ Q Que se passe-t-il sur l'image ? Sur l'histogramme ?

Mise au point et zone d'intérêt

→ M Placer un cube de couleur dans le champ de la caméra. Ajuster la seconde bague de l'objectif pour faire la mise au point sur l'objet.

→ M Dans l'onglet **ZONE D'INTÉRÊT**, ajuster la zone d'intérêt (ou *Area of Interest - AOI*) pour ne sélectionner qu'une partie de l'image autour de l'objet (environ 400 pixels par 400 pixels).

→ Q Commenter l'image et l'histogramme obtenus. Que se passe-t-il avec un cube d'une autre couleur ?

Pour la suite du TP, on s'assurera de prendre une zone d'intérêt à peu près centrée dans l'image et d'une taille d'environ 500 par 500 pixels.

Profil dans l'image

→ M Placer des cubes de couleur dans le champ de la caméra. Sélectionner une zone d'intérêt d'environ 500 pixels par 500 pixels autour des objets à visualiser. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir une image non saturée avec un éclairage blanc.

→ M Ouvrir l'onglet **OUTILS POUR IMAGES** puis sélectionner le mode **PROFIL DANS L'IMAGE**.

→ M Déplacer les positions des profils horizontal et vertical. Observer les profils obtenus pour différentes positions.

→ Q Quel est l'intérêt d'un tel outil ?

Echantillonnage et quantification

Conserver les objets dans le champ de la caméra.

→ M Ouvrir l'onglet **QUANTIF./ECHANT.** puis sélectionner le mode **IMPACT DE LA QUANTIFICATION**.

→ M Modifier la profondeur de gris et visualiser l'effet sur l'image et sur l'histogramme après traitement.

→ Q Que peut-on conclure sur l'effet de la quantification sur l'image ?

→ M De la même façon, avec le mode **IMPACT DE L'ÉCHANTILLONNAGE**, modifier le nombre de pixels de sous-échantillonnage.

On parle ici d'un phénomène de **binning**. La résolution de l'image est "dégradée" numériquement dans ce cas et les nouveaux pixels affichés sont la moyenne de N x N pixels de l'image initiale.

Dans le cas présent, ce phénomène peut simuler le changement de résolution de la caméra sur l'acquisition d'une image numérique.

→ Q Que peut-on conclure sur l'effet de la résolution de la caméra sur l'image ?

B - Outils de base numérique [30 min]

Dans cette section, nous allons nous intéresser à quelques fonctionnalités permettant de **manipuler des images** pour les rendre utilisables : amélioration du contraste, seuillage, suppression du bruit...

Contraste et Luminosité

→ M Placer un cube de couleur dans le champ de la caméra. Sélectionner une zone d'intérêt d'environ 500 pixels par 500 pixels autour de l'objet à visualiser. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir un histogramme dont le pixel maximum a une valeur de l'ordre des 2/3 de la valeur maximale de la caméra.

→ M Ouvrir l'onglet **PRÉ-TRAITEMENT** puis sélectionner le mode **CONTRASTE / LUMINOSITÉ**.

→ MModifier les valeurs de contraste et de luminosité de l'image.

→ Q Quelles sont les opérations mathématiques réalisées sur les pixels par ces deux fonctionnalités ? Vous pourrez vous appuyer sur les histogrammes des images brutes et modifiées pour analyser vos résultats.

→ M Avec le mode **AMÉLIORATION DU CONTRASTE**, tester l'effet des deux curseurs.

→ Q Proposer une interprétation de l'opération effectuée sur chacun des pixels.

Seuillage

- M Ouvrir l'onglet **PRÉ-TRAITEMENT** puis sélectionner le mode **SEUILLAGE**.
- M Sélectionner le seuillage *Normal* et modifier la valeur du seuil.
- Q Que pouvez-vous conclure sur l'intérêt du seuillage ? Vous pourrez essayer avec des objets de taille, de forme et de couleurs différentes.
- M Tester également le mode *Inversé* et *Double*.
- Q Que pouvez-vous conclure sur ces deux modes ?

Filtrage

- M Ouvrir l'onglet **FILTRES** puis sélectionner le mode **FILTRE DE LISSAGE**.
- M Sélectionner le filtre *Blur Moyen* et un noyau de taille 15.
- Q Que se passe-t-il sur l'image ? Vous pourrez également vous appuyer sur la différence entre l'image de base et l'image modifiée, en cliquant sur l'option *Image - Effet*, pour analyser les effets sur l'image.
- Q Quel est l'effet de la taille du noyau sur le filtrage ?
- Q Qu'en est-il avec le filtre de type *Médian* ?

Les aspects théoriques liés au filtrage de données (signaux et images) sont abordés dans les modules MATHS ET SIGNAL (semestre 5) et TRAITEMENT DU SIGNAL (semestre 6).

La mise en oeuvre de ces filtres sur des images sera abordée en TD de ce module et également dans des modules de traitement d'images dans vos prochaines années de formation.

C - Contrôle de l'uniformité de l'éclairage [20 min]

L'**éclairage** joue un rôle central dans tout système de vision industrielle, car il conditionne directement la qualité des images et, par conséquent, la fiabilité des algorithmes d'inspection ou de détection. Un choix d'éclairage adapté permet de révéler les caractéristiques pertinentes d'une scène — contrastes, reliefs, défauts de surface, contours — tout en minimisant les reflets indésirables, les ombres ou le bruit visuel.

Un choix raisonnable de l'éclairage constitue un élément déterminant pour garantir la robustesse, la répétabilité et la précision du système de vision industrielle.

Uniformité de l'éclairage EFFI-Ring

Nous allons nous intéresser ici à l'éclairage Effilux EFFI-Ring, version RGB et en particulier à l'uniformité de celui-ci en fonction de la distance de travail.

Quelques données sur cette source sont fournies en annexe de ce document.

→ **M** Allumer l'**éclairage annulaire** du banc (trois couleurs). Placer un **fond uniforme** sous l'éclairage (feuille blanche, paillasse...).

→ **M** Sélectionner l'ensemble du champ visible par la caméra. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir une image non saturée avec un éclairage blanc.

→ **M** Ouvrir l'onglet **Outils pour Images** puis sélectionner le mode **Profil dans l'image**. Visualiser les profils vertical et horizontal au centre de l'image (environ).

→ **M** Mesurer l'écart entre le maximum et le minimum d'éclairement.

→ **Q** Que pouvez-vous conclure sur l'éclairage à cette distance de travail ?

→ **M** Refaire ces mesures pour différentes hauteurs de travail.

→ **Q** Retrouve-t-on une courbe de réponse proche de celle du constructeur ?

Autres éclairages

Selon la nature de la pièce à analyser (métallique, transparente, texturée...), de son mouvement et du type de défauts ou d'objets à détecter, différentes stratégies d'illumination (lumière rase, diffuse, coaxiale, structurée, stroboscopique...) peuvent être mises en oeuvre.

Une démonstration est possible ! environ 10 min

D - Linéarité du capteur [30 min]

→ M Placer un cube de couleur dans le champ de la caméra. Allumer l'éclairage annulaire en blanc. Ajuster la zone d'intérêt pour visualiser une zone quasiment uniforme de l'objet. Placer le *black level* à 0.

→ M Ajuster le temps d'intégration pour obtenir un histogramme dont le pixel maximum a une valeur de l'ordre des 2/3 de la valeur maximale de la caméra.

→ Q Quel type de profil obtient-on ? Quelle forme d'histogramme ?

→ M Pour différentes valeurs de temps d'intégration, relever (graphiquement) sur l'histogramme le niveau de gris du pic le plus élevé.

→ Q Quelle relation obtient-on entre ce niveau de gris et le temps d'intégration ? Que peut-on en conclure sur le capteur ?

→ Q Est-ce vrai pour les 3 couleurs prises indépendamment ?

E - Champ de vision et résolution spatiale [40 min]

Le **champ de vision** (*field of view* en anglais) d'un système de vision (champ transversal à l'axe optique) correspond à l'ensemble des points de la scène imagée à travers le système optique (voir figure 1).

Il dépend de :

- la distance focale de l'objectif,
- de la taille du capteur de la caméra,
- de la distance de travail

Selon la dimension de la scène à visualiser, cette grandeur peut s'exprimer par des dimensions (scène à distance finie) ou par des angles (scène à distance infinie).

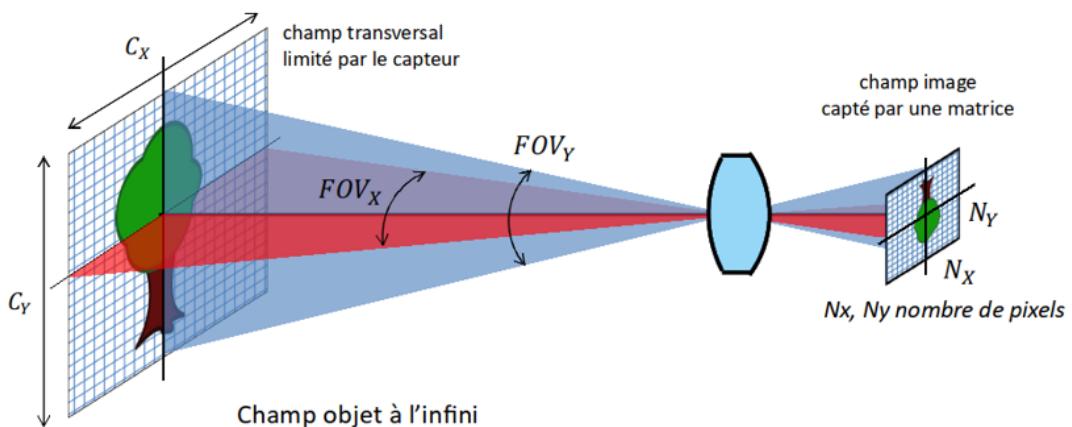


FIGURE 1 – Système optique et champ de vision d'une caméra numérique - illustration provenant du cours d'optique instrumentale de Sébastien de Rossi.

→ M Relever sur l'objectif sa focale.

→ M Placer une règle graduée sur un fond uniforme dans le champ de la caméra.

→ M Sélectionner l'ensemble du champ visible par la caméra. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir une image non saturée avec un éclairage blanc. Faire la mise au point sur les graduations de la règle.

→ M Mesurer le champ selon la hauteur et la largeur de la scène.

Tous les bancs n'ont pas les mêmes objectifs et donc pas les mêmes focales.

→ Q A distance de travail équivalente, quel objectif a le plus grand champ de vision ?

Quelques données sur la caméra utilisée sont fournies en annexe de ce document.

→ Q Quelle est la taille d'un pixel ? Quelle est la taille du capteur (hauteur et largeur) ?

→ Q Rappeler les formules de conjugaison et de grandissement en optique instrumentale.

→ Q Calculer le grandissement obtenu avec le système optique lorsque l'on mesure un objet positionné sur le plan de travail (distance de travail fixée).

→ Q Vérifier par le calcul que la focale mentionnée sur l'objectif est correcte.

→ Q A partir des dimensions mesurées précédemment (champ de vision) et de la taille du capteur, qu'elle est la taille minimale qu'il est possible de mesurer à l'aide de ce système de vision ?

Pour le vérifier, nous allons utiliser des mires de Foucault. Ces mires sont des répétitions spatiales d'un même motif (succession de bandes noires et blanches) espacé d'une distance connue.

→ M Placer une mire dans le champ de la caméra.

→ M Ajuster la zone d'intérêt. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir une image non saturée avec un éclairage blanc (maximum au 2/3 de l'histogramme). Faire la mise au point sur les graduations de la mire.

→ Q Quelle est la plus petite mire que vous arrivez à distinguer ?

→ M Tracer le profil (horizontal ou vertical) passant par le centre des bandes de la mire.

→ Q Que constatez-vous en fonction du pas de la mire ?

→ M Mesurer la hauteur des variations pour différents espacements des bandes.

En normalisant ces mesures par rapport à la plus grande variation, on peut mesurer le contraste obtenu pour différentes fréquences spatiales de votre système de vision. On peut assimiler à la **fonction de transfert de modulation** (ou FTM). Cette donnée sert à caractériser les systèmes optiques en reliant la luminance de l'espace objet à l'éclairement de l'espace image. Cela permet de modéliser l'influence du système optique sur la distribution de l'énergie lumineuse dans l'espace image.

→ M Réduire le temps d'intégration et reprendre les mesures précédentes.

→ Q Le contraste est-il dépendant du temps d'intégration de la caméra ?

→ Q Comment peut-on mesurer des objets à partir d'une image numérique de celui-ci ?

→ M Placer un cube de couleur dont vous aurez au préalable mesuré un des côtés. Tester la méthode proposée pour mesurer numériquement cet objet.

→ Q Quelle est la précision de la mesure ?

F - Première modélisation [50 min]

Dans cette section, nous allons nous intéresser à la visualisation d'objets colorés par l'intermédiaire d'une caméra monochrome et de sources ayant des longueurs d'onde connues et distinctes, afin de donner un premier modèle simplifié d'une chaîne d'acquisition d'image (voir figure 2).

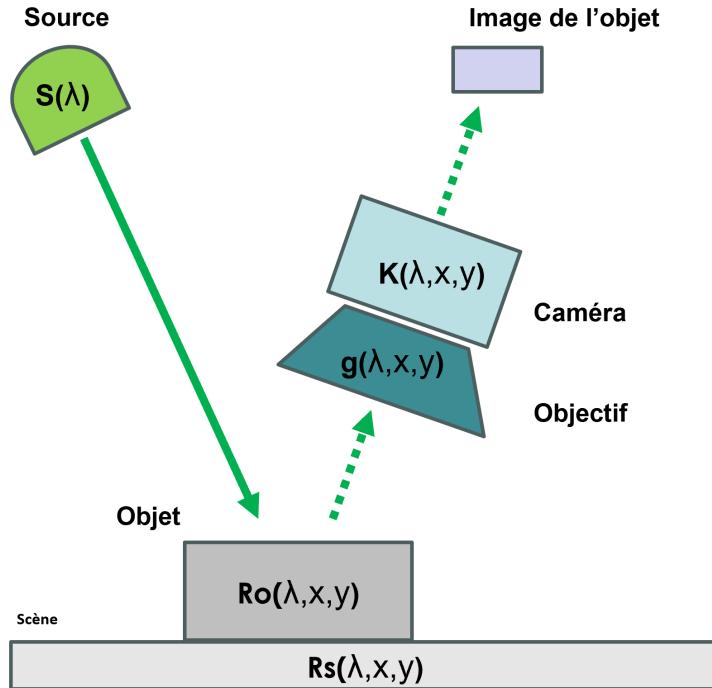


FIGURE 2 – Modélisation simplifiée d'une chaîne d'acquisition d'une image. $S(\lambda)$: source primaire modélisée par son spectre en longueur d'onde (λ). $K(\lambda, x, y)$: le gain de la caméra. $g(\lambda, x, y)$ le facteur de transmission de l'optique (en négligeant pour l'instant les aberrations). $R_0(\lambda, x, y)$: réflectance de l'objet à visualiser. $R_S(\lambda, x, y)$: réflectance des autres objets de la scène (en particulier le fond).

On donne en annexe les réflectances des cubes de couleur que vous avez à votre disposition.

- Q En plaçant chacun des cubes de couleurs sous l'éclairage Rouge, lequel sera le plus "lumineux" ?
- Q Classer, théoriquement, les 4 cubes de couleur par ordre de luminosité pour les 3 éclairages disponibles.
- Q Proposer alors une méthode de discrimination des cubes en fonction de leur couleur à l'aide du système de vision industrielle mis à votre disposition.

→ M Placer les cubes de couleur dans le champ de la caméra l'un après l'autre. Sélectionner une zone d'intérêt d'environ 500 pixels par 500 pixels autour des objets à visualiser.

→ M Pour chaque source (Rouge, Vert, Bleu) et pour chaque cube de couleur (pour un temps d'intégration donné et fixé pour l'ensemble des mesures), relever la valeur moyenne d'intensité lumineuse.

- Q Les résultats sont-ils cohérents avec la théorie ?
- M Mettre en oeuvre (si possible) votre méthode de détection des couleurs.

INTERFAÇAGE NUMÉRIQUE

Travaux Pratiques

Semestre 6

Ressources

Bloc Vision Industrielle

Liste des ressources

- Camera BASLER a2A1920-uc/umBAS
- Source EFFI-Ring - Spectre et données / Version RGB
- Cubes de couleur - Réflectance
- Rappels sur les caméra CMOS

Camera BASLER a2A1920-uc/umBAS

La documentation complète se trouve sur le site du fabricant - Basler

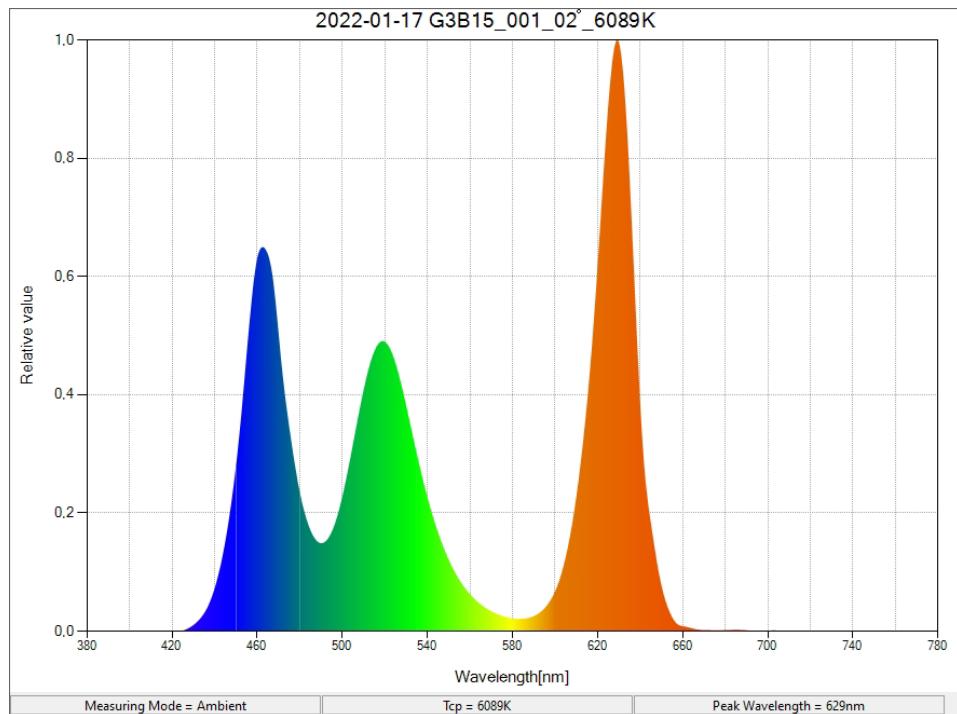
Marque Modèle	Basler a2A1920-160ucBAS
Résolution	1920 px x 1200 px
Taille pixel	3.45 x 3.45 μm^2
Profondeur	12 bits
Efficacité quantique	62.22 %
Gain (1/K)	2.652 e-/DN
Capacité de saturation	10492 e-
Capacité de saturation	16862 p

Source EFFI-Ring - Spectre et données / Version RGB

La documentation complète se trouve sur le site du fabricant - Effilux

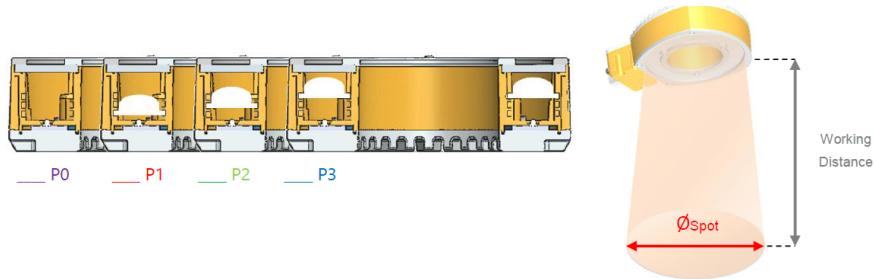
Spectre

Obtenu à l'aide d'un spectromètre



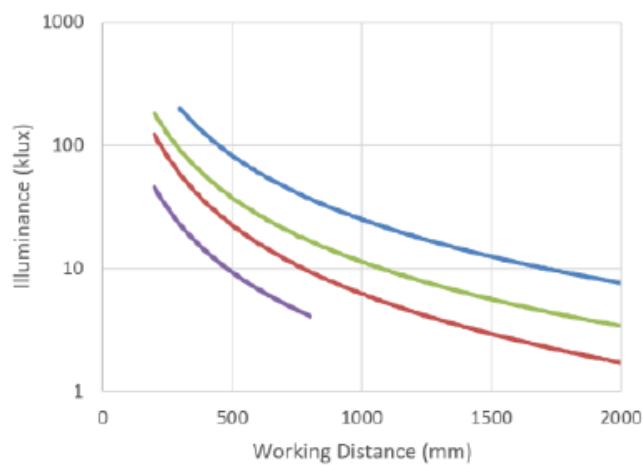
Taille du spot et éclairement en fonction de la distance de travail

Données provenant de la documentation technique.



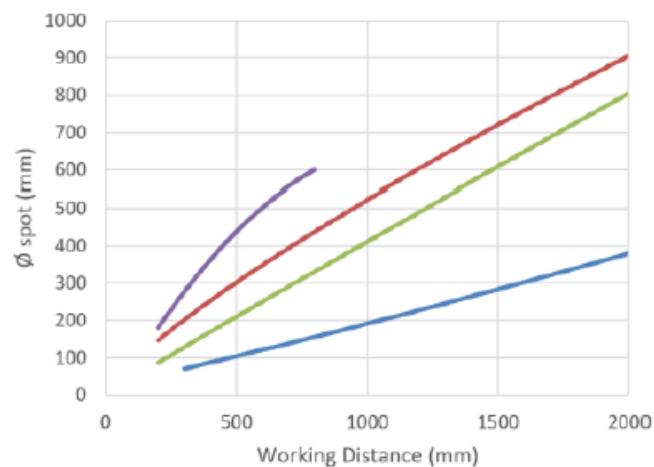
Illumination¹ vs. Working distance

Semi-Diffuse

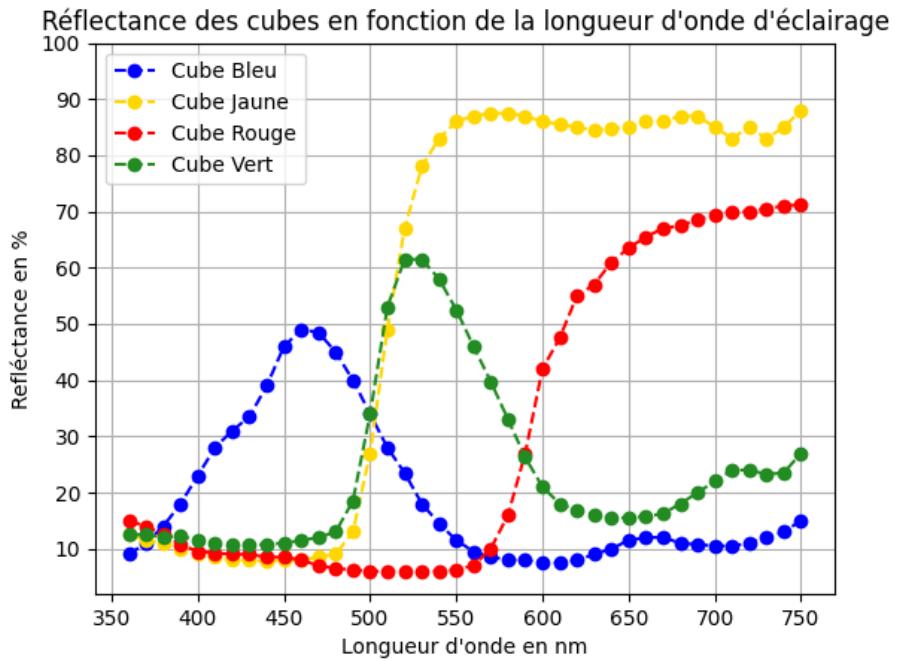


$\varnothing_{\text{spot}}^3$ vs. Working distance

Semi-Diffuse



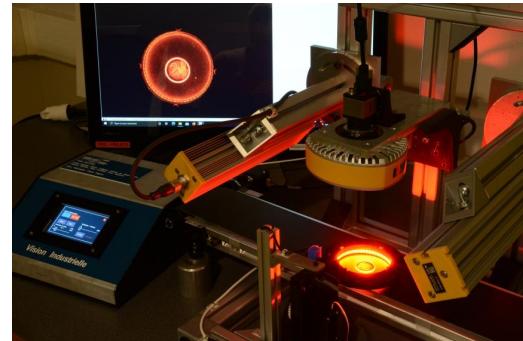
Cubes de couleur - Réflectance



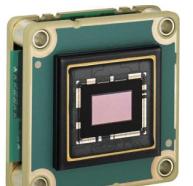
SC 19 – Machine Vision

Cameras and Interfaces

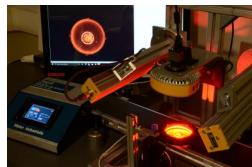
Julien VILLEMEJANE



IDS Sensor

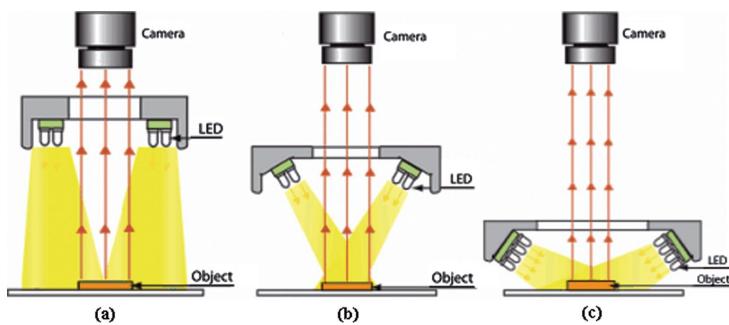


Basler Sensor / Mouser



SC19 – Cameras and Interfaces

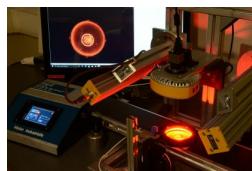
Camera in a machine vision chain



Camera

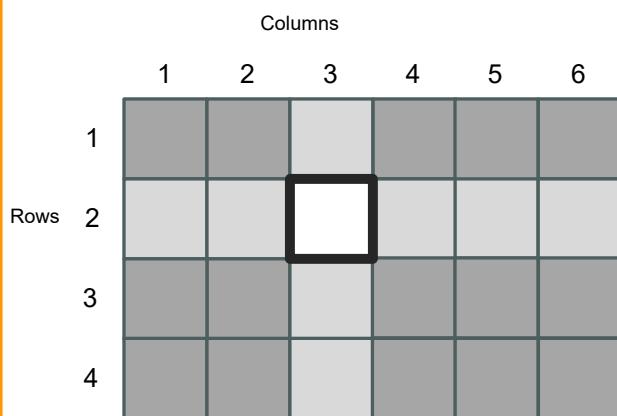
Device that transforms a **light flux** into a **measurable electrical signal**





SC19 – Cameras and Interfaces

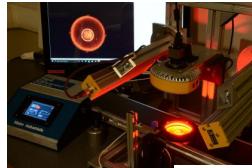
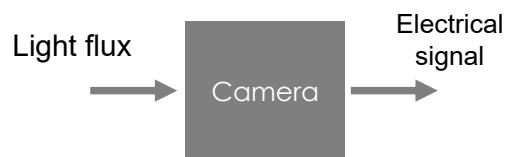
Camera / Array of small sensors



Camera

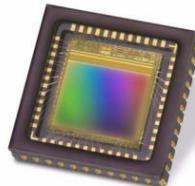
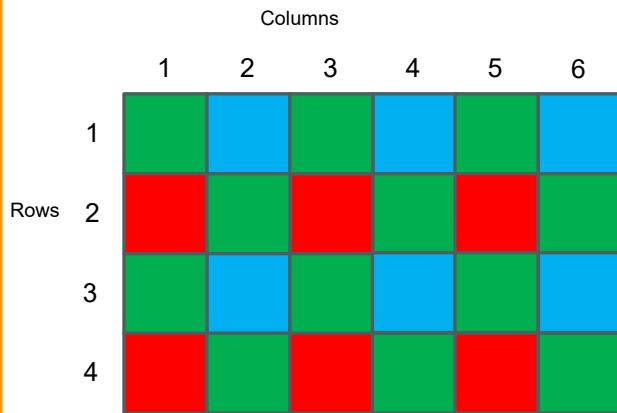
Device that transforms a light flux into a measurable electrical signal

<https://imaging.teledyne-e2v.com/products/2d-cmos-image-sensors/onyxmax/>

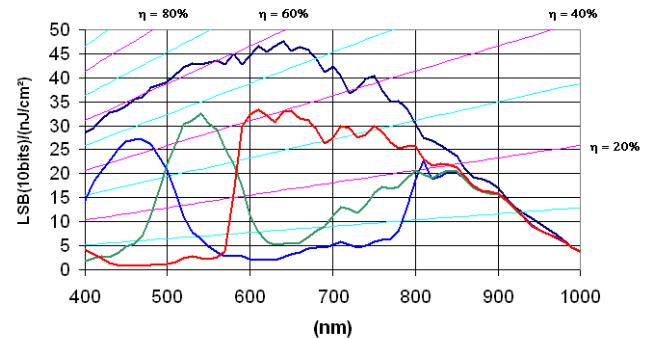


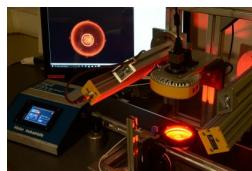
SC19 – Cameras and Interfaces

Camera / Bayer filter for color sensors



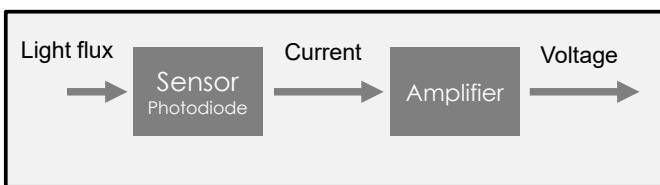
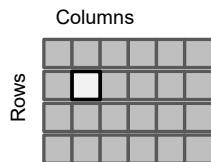
e2v sensor EV76C560ACT





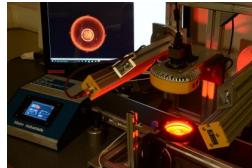
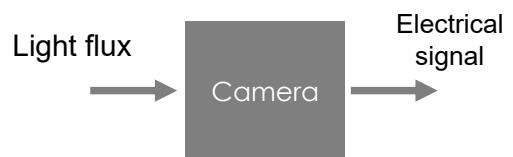
SC19 – Cameras and Interfaces

Camera / Inside a pixel



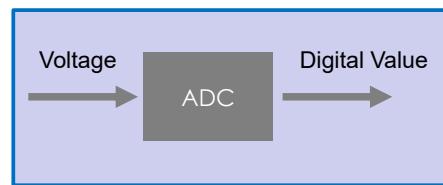
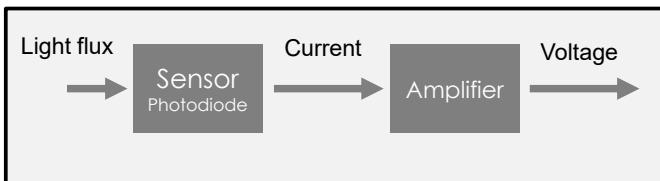
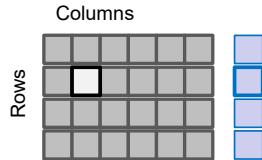
Camera

Device that transforms a **light flux** into a **measurable electrical signal**



SC19 – Cameras and Interfaces

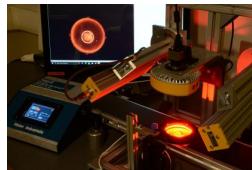
Camera / From analog to digital signal



Digital Camera

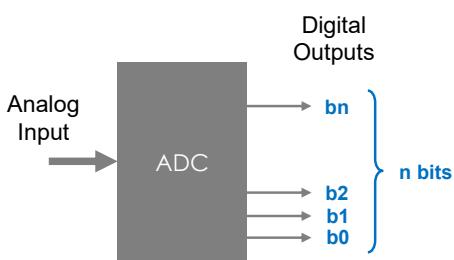
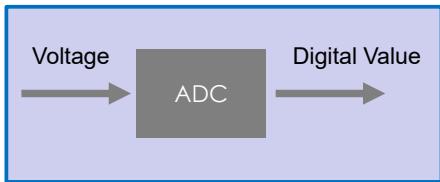
Device that transforms an array of **light flux sensors** into **digital data** called pixels





SC19 – Cameras and Interfaces

How an Analog to Digital Converter works ?

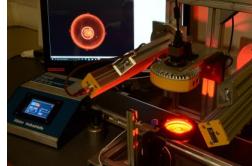
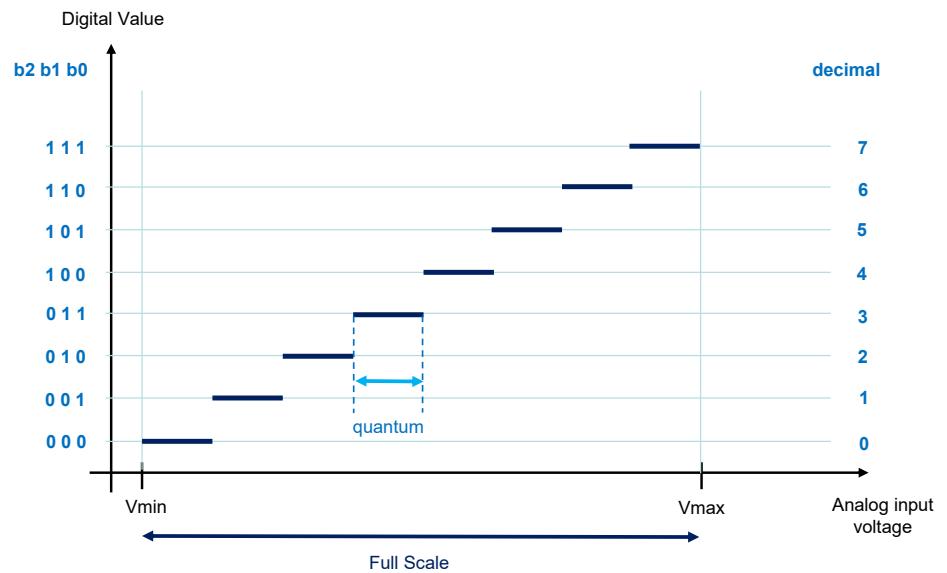


Each bit can have one of two values: **0** or **1**.

The **number of different values** that can be represented by **n bits** is 2^n .

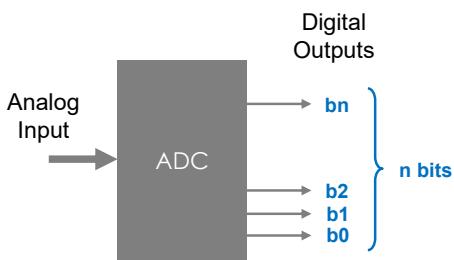
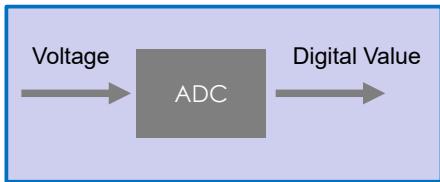
Example for $n = 3$ bits

Quantization



SC19 – Cameras and Interfaces

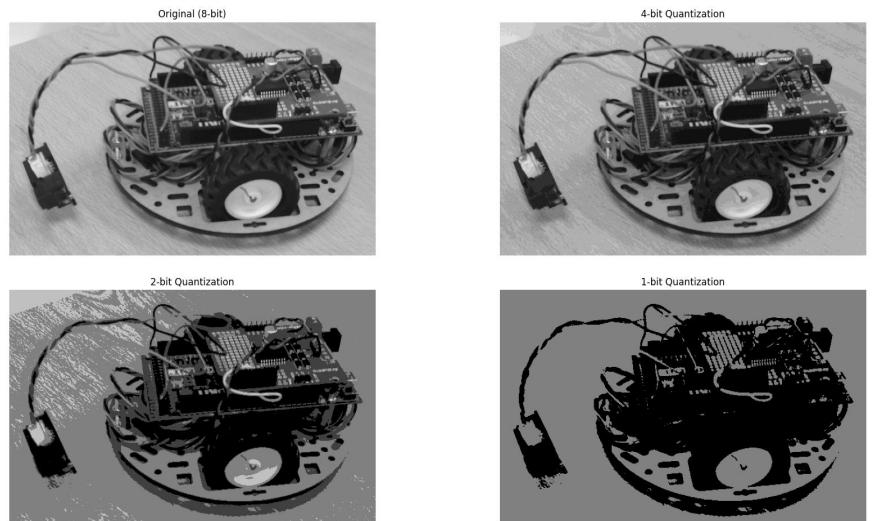
Sampling and quantization of an image

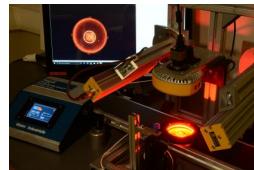


Each bit can have one of two values: **0** or **1**.

The **number of different values** that can be represented by **n bits** is 2^n .

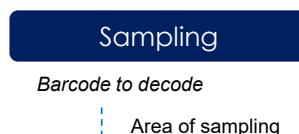
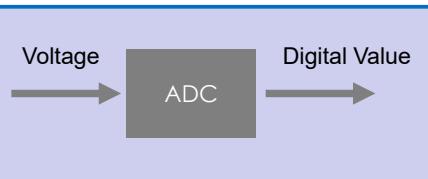
Quantization





SC19 – Cameras and Interfaces

Sampling and quantization of an image



<https://barcode-coder.com/fr/specification-ean-13-102.html>

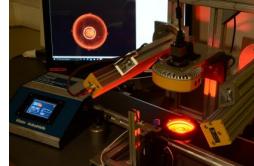
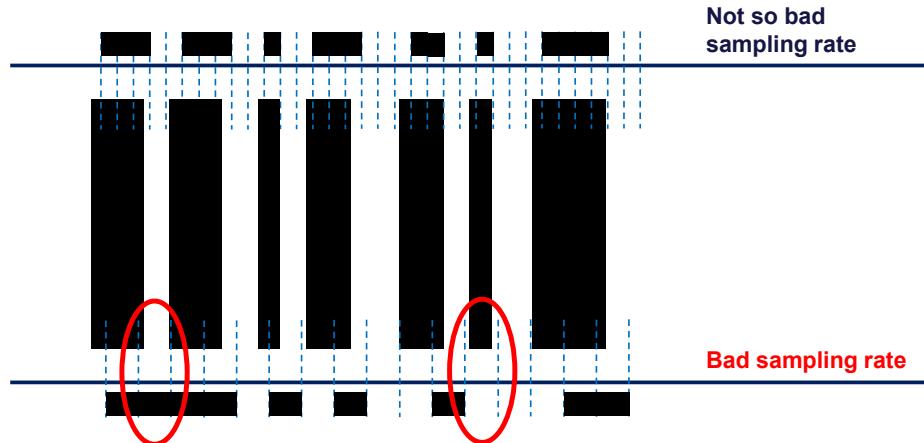


Sampling theorem

Nyquist–Shannon sampling theorem

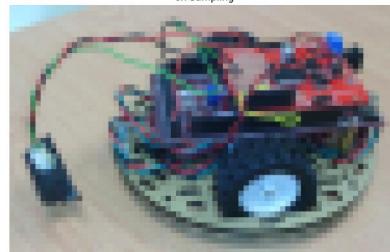
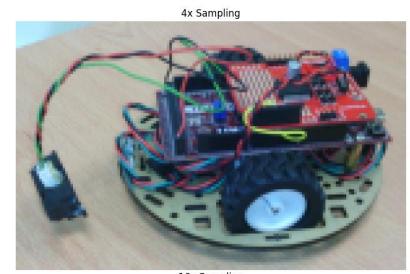
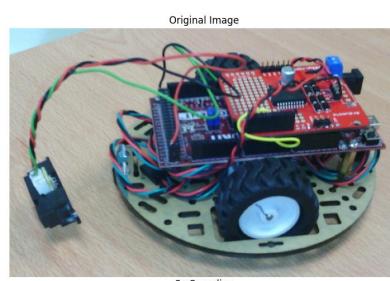
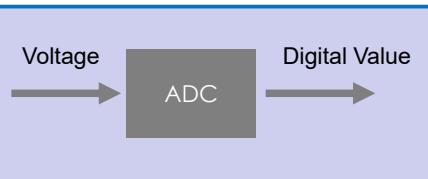
The sampling frequency must be equal to or **greater than twice** the frequency associated with the finest detail in the image (edges).

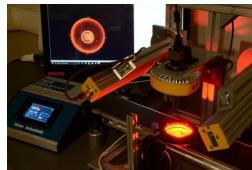
With a grid spacing of d , a periodic component with a period higher than $2.d$ can be reconstructed.



SC19 – Cameras and Interfaces

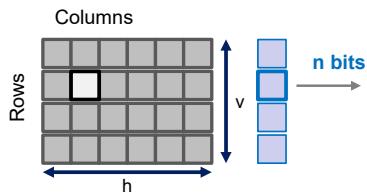
Sampling and quantization of an image





SC19 – Cameras and Interfaces

Quantity of data per image

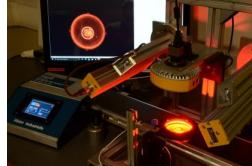


$$\text{Nb of pixels} = h \times v$$

Each pixel is converted into **n bits**.

Each image has a total amount of binary data :

$$\text{Nb of data (bits)} = \text{Nb of pixels} \times n$$



SC19 – Cameras and Interfaces

Frame Rate

Each image has a total amount of binary data :

$$\text{Nb of data (bits)} = \text{Nb of pixels} \times n$$

The amount of data per second :

$$\text{Nb of data per s (bits/s)} = \text{Nb of data (bits)} \times \text{FPS}$$

Example for a 4k camera in 12 bits @ 30 fps :

$$\text{Nb of data (bits)} = 3840 \times 2160 \times 12 = 99\,532\,800 \text{ bits}$$

$$\text{Nb of data per s (bits/s)} = 99\,532\,800 \times 30 = 2,9 \text{ billions of bits / s} = 2,78 \text{ Gbit/s}$$

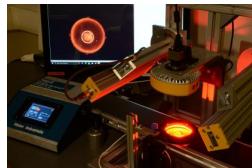
Frame rate

Number of individual frames captured per second by a device

Expressed in frames per second (fps)

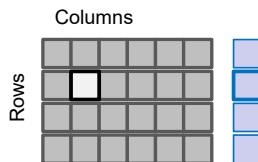
Higher framerates result in smoother motion in video footage

In 2024, the transfer rate of a home router (optical fiber) is theoretically 8 Gbit/s (Free telecom - France)



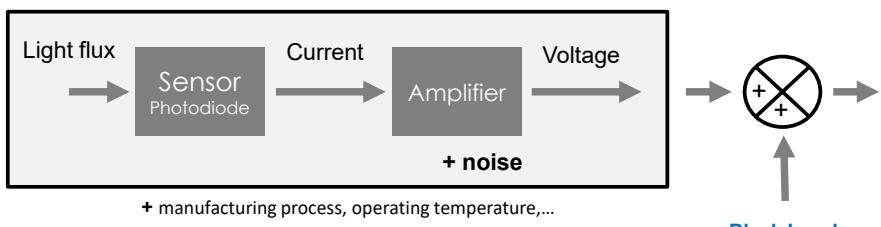
SC19 – Cameras and Interfaces

Black level : an offset to compensate electronic defaults



Dark Current

Response of the sensor to **complete darkness**

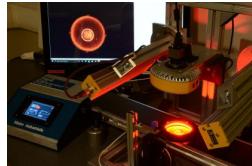


Black Level

Change the **overall brightness** of an image.

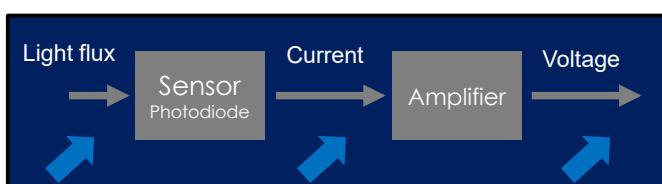
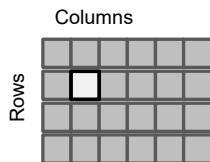
Adjusting the camera's black level will result in **an offset to the pixel's gray values** output by the camera.

Due to **various physical and electronic factors**, the sensor's output is never zero, even in the complete absence of light



SC19 – Cameras and Interfaces

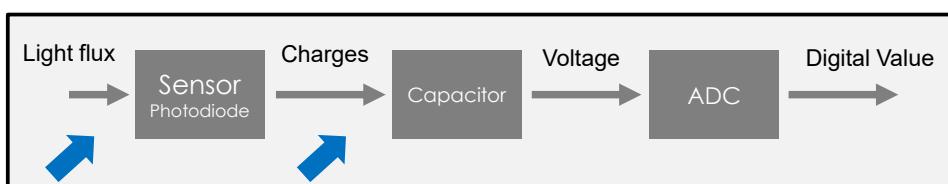
Exposure Time

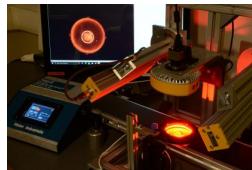


Exposure Time

Duration for which the **camera's sensor is exposed to light**, when capturing an image.

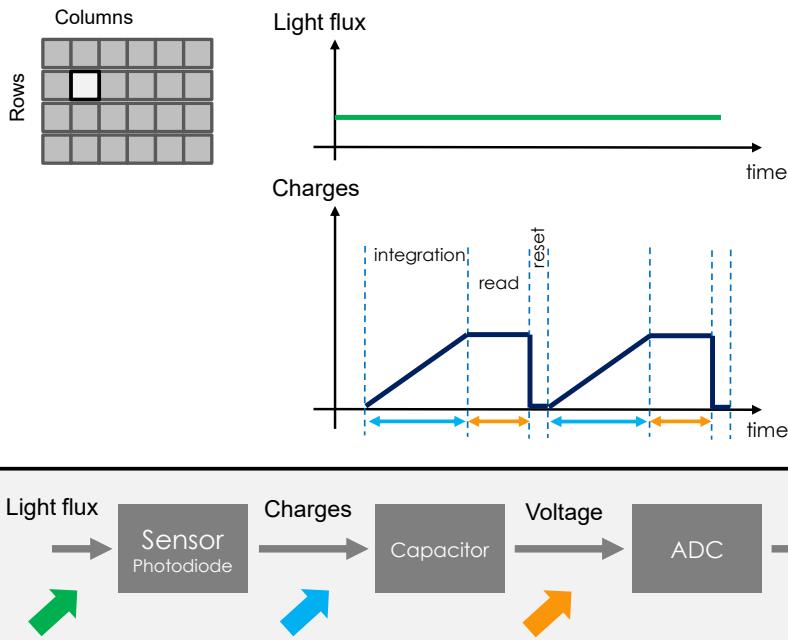
This parameter determines the amount of light collected.





SC19 – Cameras and Interfaces

Exposure Time

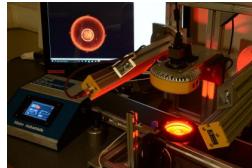


Exposure Time

Duration for which the **camera's sensor is exposed to light**, when capturing an image.

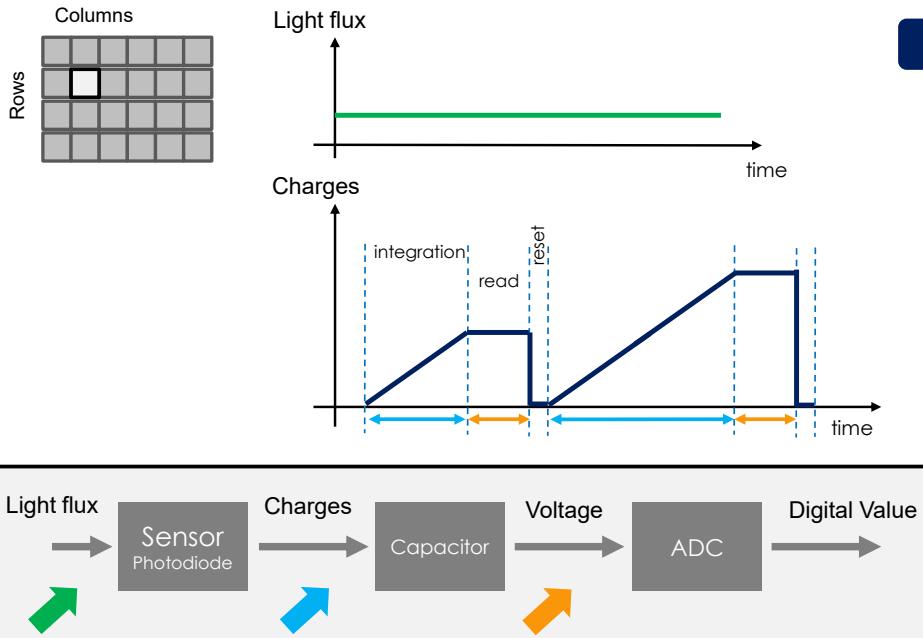
This parameter determines the amount of light collected.

i.e. the amount of collected charges coming from the sensor stored in a capacitor



SC19 – Cameras and Interfaces

Exposure Time

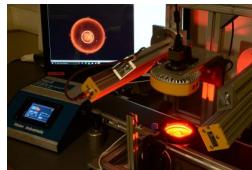


Exposure Time

Duration for which the **camera's sensor is exposed to light**, when capturing an image.

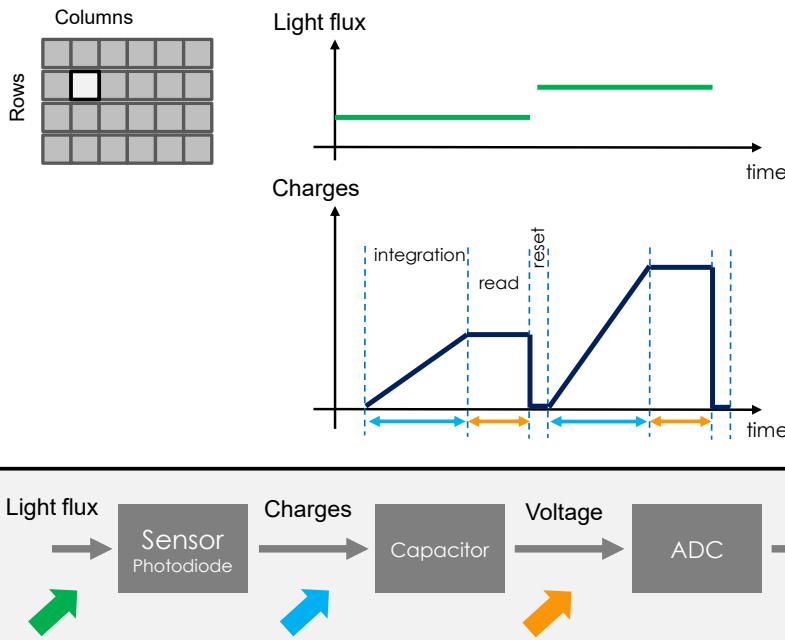
This parameter determines the amount of light collected.

i.e. the amount of collected charges coming from the sensor stored in a capacitor



SC19 – Cameras and Interfaces

Exposure Time

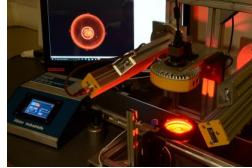


Exposure Time

Duration for which the **camera's sensor is exposed to light**, when capturing an image.

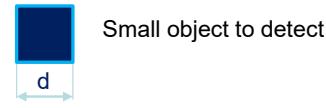
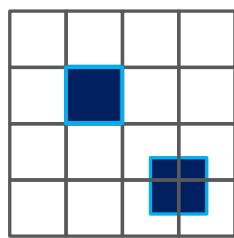
This parameter determines the amount of light collected.

i.e. the amount of collected charges coming from the sensor stored in a capacitor



SC19 – Cameras and Interfaces

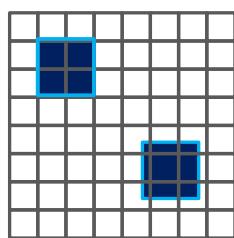
Spatial Resolution



$$P = d$$

Spatial resolution / P

Distance observed by a single pixel in a given direction



Security factor S

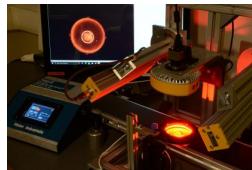
$$P = \frac{d}{S}$$

This security factor is due to the Nyquist-Shanon theorem.

And $S \geq 2$

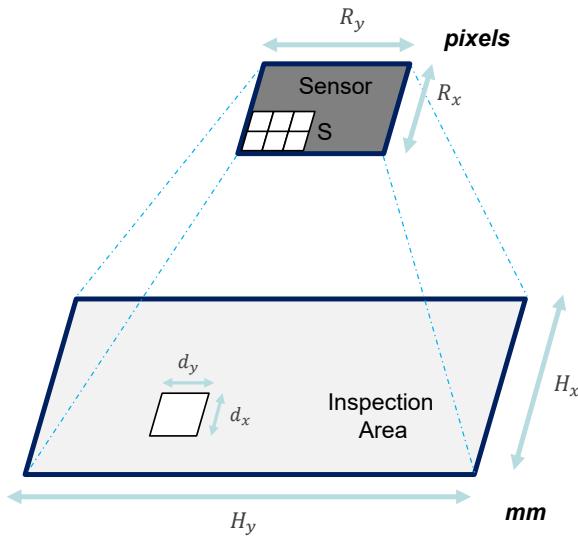


To verify if the spatial resolution is good enough, **calibration target** can be used. (Foucault)



SC19 – Cameras and Interfaces

Resolution of the sensor



Spatial resolution / P

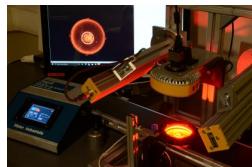
Distance observed by a single pixel in a given direction

$$P = \frac{d}{S}$$

Sensor resolution (pixels)

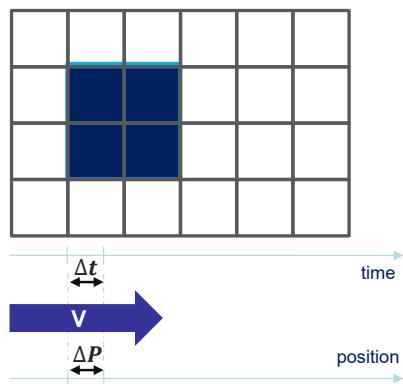
$$R = \frac{H}{P} = \frac{S \times H}{d}$$

H (mm) →	R (px)
d (mm) →	S (px)
P (mm) →	1 (px)



SC19 – Cameras and Interfaces

Motion, sharp image and maximum exposure time

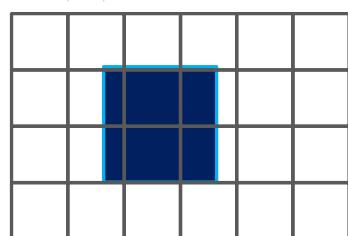


V : motion speed (mm/s)

Spatial resolution / P

Distance observed by a single pixel in a given direction

$$P = \frac{d}{S}$$



Motion blur perception threshold
to obtain a sharp image
is between

1/2 and 1/5 of a pixel

Displacement

$$P \times \Delta P \text{ (mm)} \rightarrow \Delta t \text{ (s)}$$

Time

$$\Delta t = \frac{P \times \Delta P}{V}$$