

	LA VISION INDUSTRIELLE Durée : 2 heures	
		COURS

Sommaire

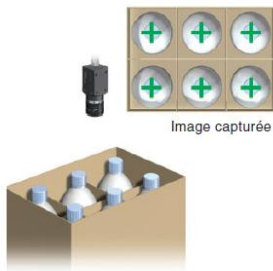
1. Quelles sont les applications de la vision industrielle	2
2. Constitution d'un process de vision	3
3. Les caractéristiques de la lumière	4
3.1. Définition de la Couleur	4
3.2. Les couleurs primaires:	5
4. Les principales caractéristiques d'une caméra industrielle	6
4.1. Quelle différence entre un capteur CCD et CMOS ?	6
4.2. L'objectif ou lentille	7
4.3. Distance focale et champ de vision	7
4.4. Le traitement de l'image	8
5. Les différents types d'éclairage	9
5.1. Les technologies d'éclairages	9
5.2. Pourquoi les LED ont du succès dans le traitement d'image ?	10
5.3. Quelle couleur d'éclairage LED choisir	11
5.4. Trouvez la couleur de l'éclairage sur les dessins ci-dessous ?	12
5.5. Conclusion : L'Éclairage est la clé du succès	12

1. Quelles sont les applications de la vision industrielle

Les **systèmes de vision industrielle (VI)** sont principalement conçus pour acquérir et analyser des cibles en **deux dimensions (2D)**. Ces dispositifs automatisent efficacement les tâches d'inspection et de contrôle qualité traditionnellement effectuées par l'œil humain, garantissant ainsi **rapidité, précision et répétabilité** sur les lignes de production.

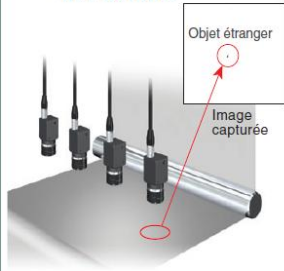
De manière générale, les applications de systèmes de vision industrielle dans différents secteurs de l'industrie se déclinent selon les quatre groupes suivants :

1 Contrôle du nombre d'objets ou recherche d'objets manquants



Comptage du nombre de bouteilles dans un carton

2 Recherche de la présence d'objets étrangers et détection des défauts



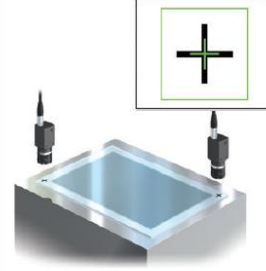
Détection des piqûres et des objets étrangers sur une plaque métallique

3 Mesure dimensionnelle



Mesure de la coplanarité des broches

4 Positionnement



Positionnement de substrats de verre pour écrans plats

La plupart des inspections industrielles entrent au moins dans l'une des quatre catégories d'applications de systèmes de vision industrielle. Consultez les images ci-dessous pour en savoir plus sur les applications spécifiques à ces catégories.

Recherche de présence/d'absence d'objets et contrôle dimensionnel

Détection de présence/d'absence de graisse à roulement



La couleur de la graisse à roulement est extraite et la zone mesurée pour en détecter la présence/l'absence.

Luminosité

Contrôle d'éclairage des LEDs sur un feu rouge arrière



Mesure de la luminosité dans la zone d'inspection.

Contrôle de couleur

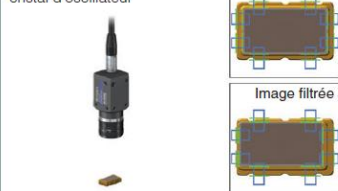
Identification des couleurs de câbles plats



Mesure d'éléments tels que la tonalité chromatique, la saturation et la luminosité des couleurs dans la zone d'inspection.

Mesure des contours

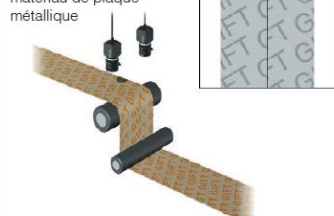
Détection des couvercles de cristal d'oscillateur



Détection simultanée de plusieurs points à la recherche de tout déplacement de couvercle.

Mesure de largeur

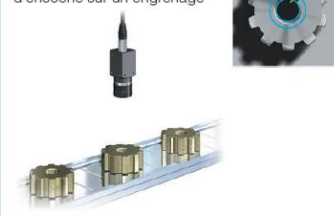
Mesure de largeur du matériau de plaque métallique



La mesure des côtés d'une plaque métallique s'effectue à l'aide de plusieurs caméras, permettant ainsi de combiner les résultats.

Positionnement

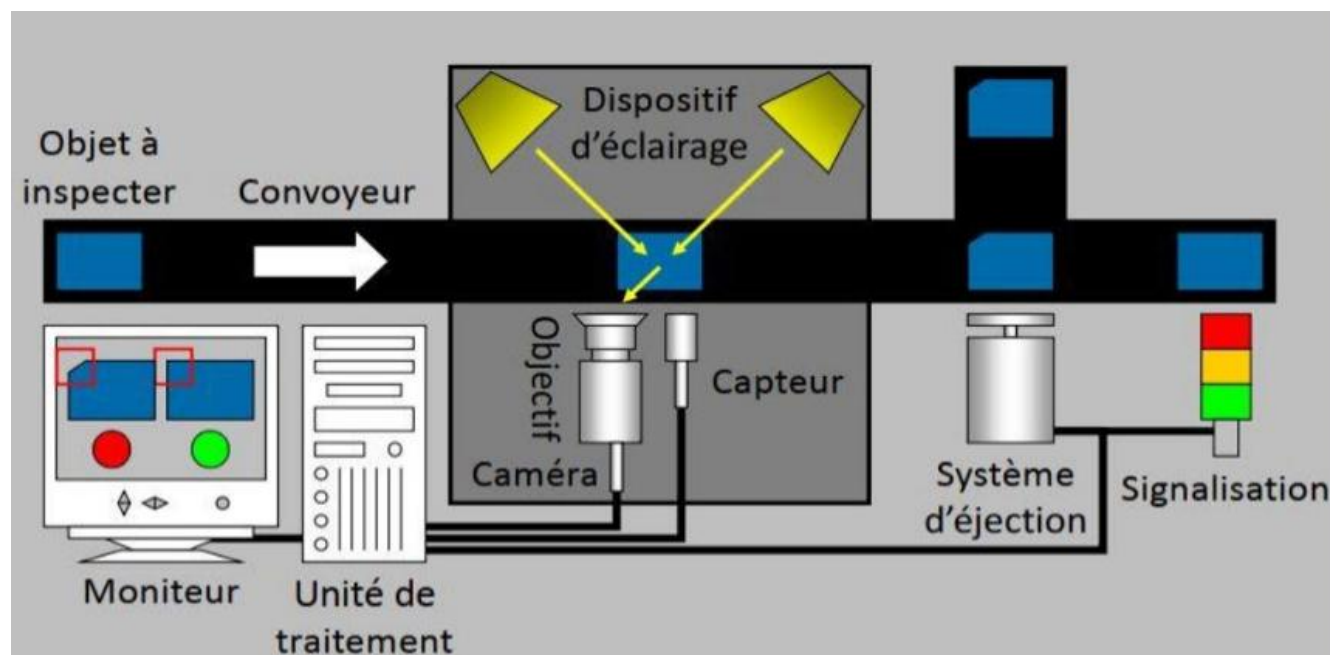
Mesure de la position d'encoche sur un engrenage



Le système reconnaît plus de deux contours pour mesurer l'angle.



2. Constitution d'un process de vision



Dans un process Vision, on trouve systématiquement :

- ✓ Un capteur de vision ou une caméra équipée d'une focale (objectif)
- ✓ Un système de traitement de l'image qui peut être soit intégré dans la caméra ou décentralisé dans un contrôleur
- ✓ Un système d'éclairage (Leds)
- ✓ Un Automate ou un PC qui reçoit les données de la vision
- ✓ Parfois un détecteur qui permet de déclencher une photo (Trigger)

3. Les caractéristiques de la lumière

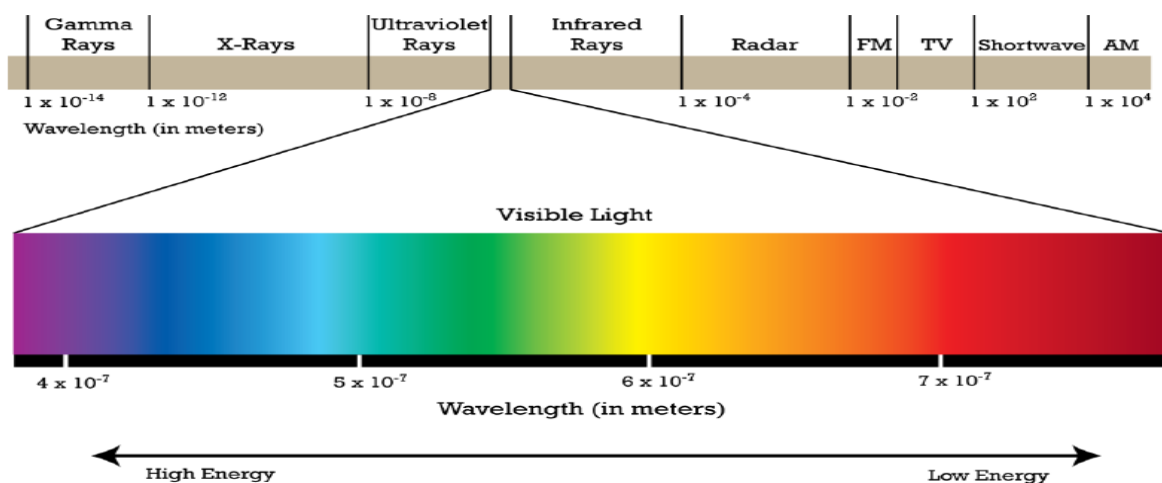
Une lumière est une onde électromagnétique (onde transversale composée d'une onde de champ électrique et d'une onde de champ magnétique). Sa propagation est perturbée, aussi bien par la présence d'obstacles matériels (entraînant des réflexions, des diffractions, des interférences, des réfractions) que par celle de champs électriques ou magnétiques.

La vitesse de la lumière est de : **300 000 km/s**. En 1 seconde, la lumière parcourt le rayon de la Terre plus de 7 fois. Elle effectue le trajet Terre-Soleil en 8 minutes.

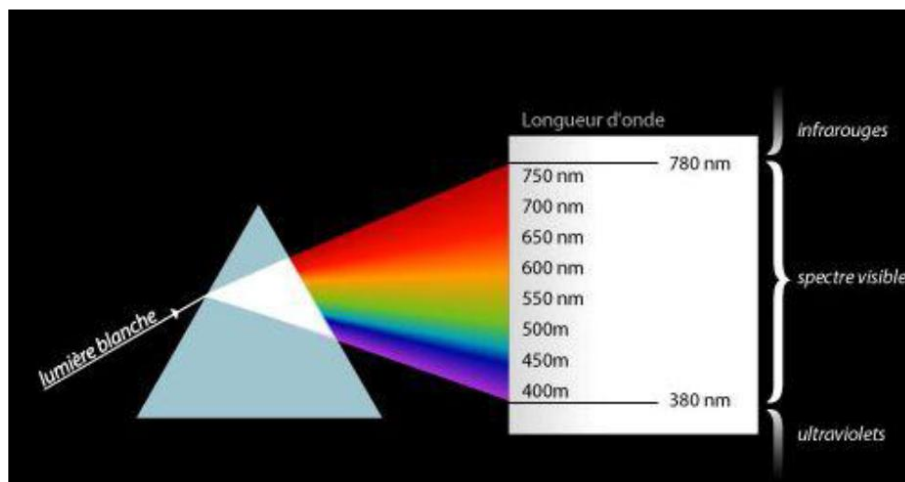
En interaction avec la matière, la lumière peut être :

- Absorbée : corps noir
- Réfléchie : miroir
- Déviée : verre

La lumière est, pour rappel, l'ensemble des ondes électromagnétiques visibles, c'est-à-dire susceptibles d'être perçues directement par un oeil humain.



- Dans le spectre, les longueurs d'Onde leur correspondant sont comprises entre 400 et 780 nm.



3.1. Définition de la Couleur

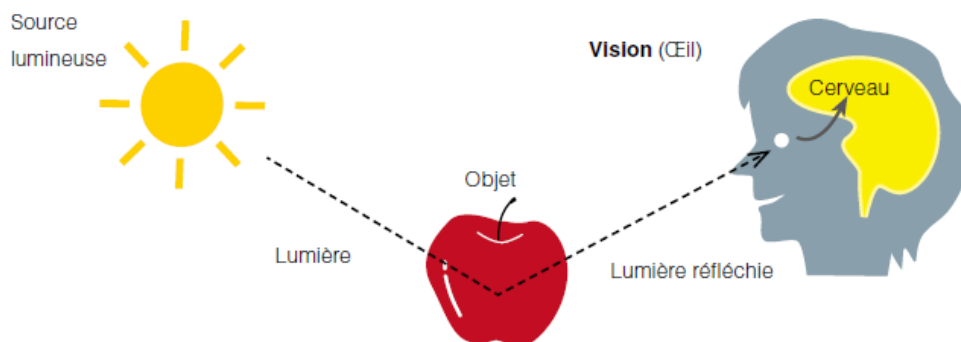
La **couleur** n'est pas une propriété intrinsèque d'un objet, mais le **résultat d'une perception** complexe. Pour qu'une couleur existe, deux éléments sont essentiels :

1. **De la Lumière** : L'objet doit être illuminé par une source lumineuse.
2. **Un Système de Perception** : Un œil et un cerveau (ou un capteur de caméra) capable d'interpréter le stimulus lumineux.

La Couleur : une Question d'Ondes et de Cerveau

Plus précisément, la couleur est la **sensation** produite lorsque la lumière, qui est une forme d'**ondes électromagnétiques**, frappe l'œil.

- **Le Spectre Visible** : Seule une petite partie de ces ondes électromagnétiques est perceptible par l'œil humain (le **spectre visible**), s'étendant des **infrarouges** (grandes longueurs d'onde) aux **ultraviolets** (courtes longueurs d'onde).
- **Perception** : Un objet absorbe certaines longueurs d'onde de la lumière qu'il reçoit et en **réfléchit** d'autres. La couleur que nous percevons est celle des longueurs d'onde qui sont **réfléchies** et qui atteignent l'œil, où elles sont converties en signaux électriques et interprétées comme une couleur par le cerveau. En vision industrielle, cela signifie que le choix de l'**éclairage** est primordial, car c'est lui qui détermine les longueurs d'onde disponibles pour être réfléchies et capturées.



3.2. Les couleurs primaires:

Chaque couleur se définit à partir de trois couleurs primaires. Ces couleurs sont dites primaires car elles ne peuvent pas être produites en mélangeant d'autres couleurs.

Les trois couleurs primaires permettent de former toutes les autres couleurs.

Différences entre RVB et CMJ

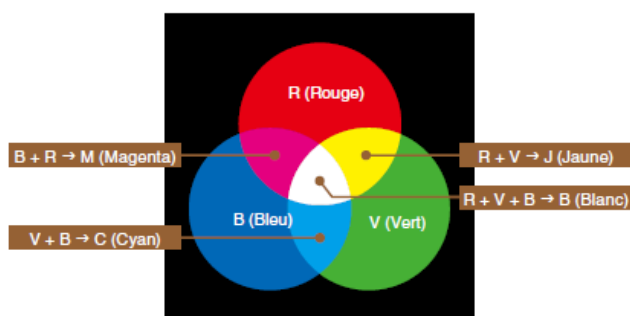
Les trois couleurs primaires composant la lumière sont le rouge, le vert et le bleu. En prenant la première lettre de chaque couleur, on obtient « RVB », qui désigne le système des couleurs structurales de la lumière.

Mélangées, ces trois couleurs produisent du blanc.

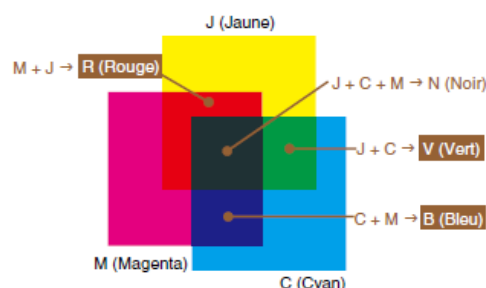
Il existe un autre système, celui des couleurs pigmentaires, dont les trois couleurs primaires sont le cyan, le magenta et le jaune. La première lettre des mots cyan, magenta et jaune forment l'acronyme « CMJ ».

Mélangées, ces trois couleurs pigmentaires peuvent produire tous les tons ou nuances du blanc au noir inclus. La couleur produite dépend de la luminosité des pigments mélangés.

Les trois couleurs primaires de la lumière



Les trois couleurs primaires pigmentaires



4. Les principales caractéristiques d'une caméra industrielle

Une caméra numérique présente quasiment la même structure qu'une caméra courante (analogique), à la différence qu'elle est dotée d'un capteur d'images appelé CCD. Jouant le rôle du film sur une caméra classique, ce capteur numérique capture les images sous la forme d'informations numériques.

1. CCD signifie « Charge Coupled Device » (dispositif à transfert de charge), élément semiconducteur convertissant les images en signaux numériques. Mesurant environ 1 cm en hauteur et en largeur, il est constitué de petits pixels alignés sous la forme d'une grille.



Lors de la prise de vue, la lumière réfléchie par l'objet passe par l'**objectif (lentille)** et vient frapper le **capteur CCD** (Charge-Coupled Device).

Le capteur est composé d'une grille de millions d'éléments sensibles à la lumière, appelés **pixels**. Lorsqu'un pixel reçoit de la lumière (photons), il génère une **charge électrique** dont l'intensité est **directement proportionnelle à l'intensité lumineuse** reçue.

Cette charge est ensuite convertie en **signal électrique analogique**, puis numérisée pour obtenir une **valeur d'intensité lumineuse** (niveau de gris) pour chaque pixel.

Chaque pixel peut être assimilé à une **photodiode miniature**. Par conséquent, un capteur de 2 millions de pixels est l'équivalent d'un réseau de 2 millions de capteurs d'intensité lumineuse individuels. L'image numérique finale est ainsi une **matrice** de ces valeurs d'intensité.

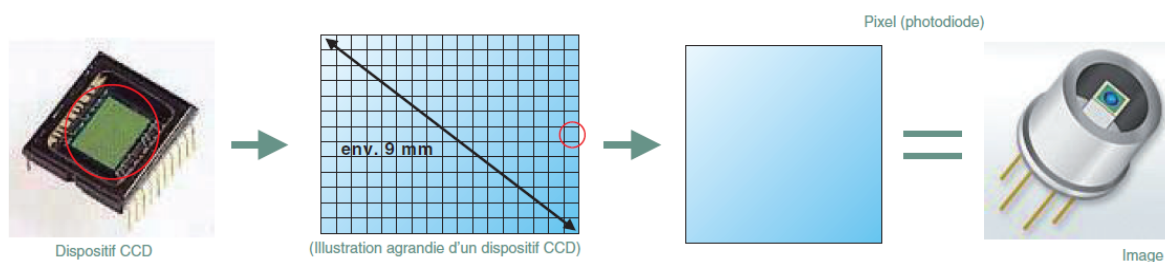
Limites des Capteurs Photoélectriques Simples

Un **capteur photoélectrique** (ou cellule) est capable de réaliser une tâche simple : détecter la **présence/absence** d'une cible dans une zone fixe et prédéfinie.

Cependant, ce capteur unique devient insuffisant pour les applications plus complexes en vision industrielle, telles que :

- La détection de pièces dont la **position varie**.
- Le contrôle et la **mesure** de formes complexes ou variables.
- La réalisation de **mesures dimensionnelles** et le **calcul de l'emplacement** précis (métrologie).

Le dispositif CCD qui correspond à la perception de centaines de milliers, voire de millions de capteurs, permet d'étendre sensiblement les possibilités d'applications relevant notamment des quatre principales catégories d'applications évoquées au début du chapitre.



4.1. Quelle différence entre un capteur CCD et CMOS ?

CCD et CMOS sont tous les deux appelés capteurs d'image et sont tous les deux des éléments semi-conducteurs qui convertissent les images optiques en signaux électriques. Ils utilisent tous les deux une photodiode pour détecter la

lumière, mais différent en ce qui concerne la méthode de lecture ou de production d'un signal. Les différences sont indiquées ci-dessous.

	CCD	CMOS
Technique de fabrication	Relativement compliquée	Relativement facile * Il est possible de modifier un équipement polyvalent de production de semi-conducteurs pour cette production.
Coût de fabrication	Coût élevé	Faible coût
Consommation électrique	Élevée	Faible
Bruit	Relativement faible	Relativement élevé
Sensibilité à la lumière	Élevée	Pas autant qu'un CCD

4.2. L'objectif ou lentille

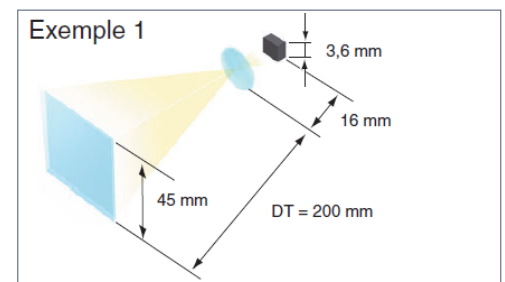
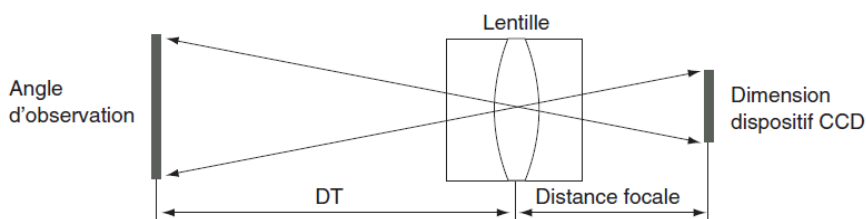
Une lentille de caméra est constituée de plusieurs lentilles, d'une bague de diaphragme à iris (luminosité) et d'une bague de mise au point. Il convient de faire régler le diaphragme à iris et la focale par un opérateur en vérifiant sur l'écran de contrôle de la caméra que l'image est **nette et claire** ». (Certaines lentilles sont dotées de systèmes de réglage automatique).



4.3. Distance focale et champ de vision

La distance focale entre dans les caractéristiques techniques d'une lentille. Les lentilles traditionnellement utilisées sur les lignes automatisées présentent des distances focales de 6mm, 8mm, 12mm, 16mm, 25mm, 50mm.

Le champ de vision nécessaire pour une cible donnée et la distance focale d'une lentille permettent de définir la DT (distance de travail).



Distance de travail / Angle d'observation = ...Distance focale..... / ...CCD.....

Plus la distance focale est courte, plus la profondeur de champ est **grande**

Plus la distance séparant la lentille de l'objet est grande, plus la profondeur de champ est **grande**.

La méthode la plus courante pour choisir la focale implique d'utiliser une formule basée sur ces trois paramètres :

$$f = (h \times WD) / FOVh$$

▢ Définition des Paramètres

Pour utiliser la formule, vous devez connaître et déterminer les valeurs suivantes :

- **f** : Distance Focale (en mm). C'est le paramètre que vous cherchez à calculer.
- **h** : Dimension Horizontale du Capteur (en mm). Cette valeur se trouve dans la documentation de votre caméra. Elle est calculée par le produit du nombre de pixels horizontaux par la taille physique d'un pixel (en mm).
- **WD** : Distance de Travail (Working Distance) (en mm). C'est la distance entre l'avant de l'objectif et l'objet à inspecter. Elle est souvent fixe en vision industrielle.
- **FOVh** : Champ de Vision Horizontal (Field of View) (en mm). C'est la largeur réelle de la scène que vous souhaitez capturer sur l'objet. Ce paramètre est défini par les exigences de votre application.

➡ Étapes de Calcul

1. Déterminer les Besoins de l'Application (FOV et WD)

- **FOVh (Champ de Vision)** : Identifiez la zone minimale ou maximale de l'objet que vous devez voir. Par exemple, si vous inspectez une pièce de 50 mm de large, un FOV de 50 mm ou légèrement supérieur est

nécessaire.

- WD (Distance de Travail) : Mesurez ou définissez la distance physique disponible entre la caméra et l'objet.

2. Obtenir la Taille du Capteur (h)

- Consultez la fiche technique de votre caméra pour la taille physique du capteur. Par exemple, un capteur pourrait avoir une dimension horizontale (h) de 6.4 mm.

3. Calculer la Focale Idéale

Appliquez la formule :

$$f = (\text{Taille du Capteur (h)} * \text{Distance de Travail (WD)}) / \text{Champ de Vision (FOVh)}$$

Exemple concret :

Vous voulez voir une pièce de 50 mm de large (FOVh).

- La caméra doit être placée à 200 mm de l'objet (WD).
- Votre caméra a une taille de capteur horizontal (h) de 6.4 mm.

$$f = (6.4 \text{ mm} * 200 \text{ mm} / 50 \text{ mm}) = 25.6 \text{ mm. La focale idéale est donc de 25.6 mm.}$$

4. Choisir l'Objectif Standard

Étant donné que les objectifs sont généralement disponibles en focales standard (ex: **8 mm, 12 mm, 16 mm, 25 mm, 35 mm**, etc.), vous devrez sélectionner la focale standard la plus proche de votre valeur calculée (ici, probablement 25 mm ou 28 mm).

- Attention : Si vous choisissez une focale standard légèrement différente, cela modifiera légèrement votre FOV réel ou nécessitera un ajustement de la Distance de Travail (WD) pour maintenir le FOV souhaité.

- Exercice sur le système robot Fanuc : Déterminer la distance de la caméra pour obtenir un champ de 200mm/150mm avec la caméra SONY XC56 Résolution: 659 x 494 Taille CCD : 5,766mm * 4,33mm et focale 8mm.

.....
.....
.....

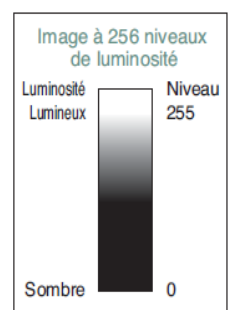
- Puis déterminez le plus petit défaut détectable par la caméra (on préconise de prendre 3 pixels pour détecter le plus petit défaut)

.....
.....
.....
.....

Le traitement de l'image

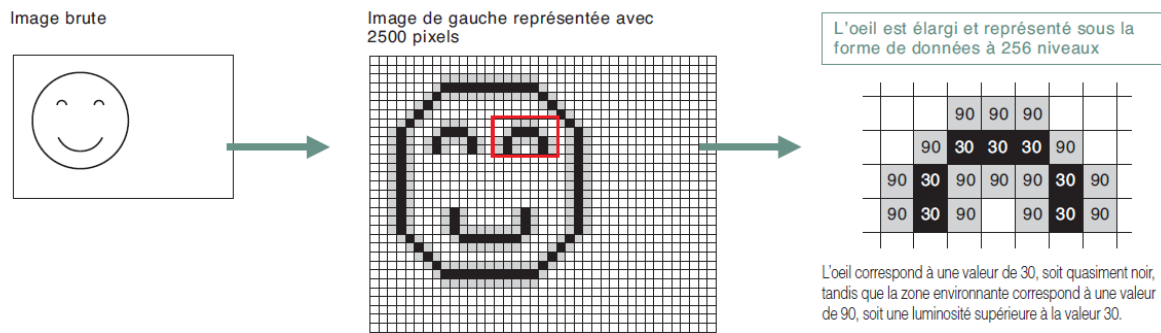
<Donnée pixel individuelle> (Pour caméra noir et blanc standard)

Sur de nombreux systèmes de vision industrielle, chaque pixel transfère les données à 256 niveaux (8 bits) en fonction de l'intensité lumineuse. En traitement monochrome (noir et blanc), le noir équivaut à « 0 » tandis que le blanc équivaut à « 255 », ce qui permet à l'intensité lumineuse reçue par chaque pixel de se convertir en données numériques. Ainsi, tous les pixels d'un dispositif CCD correspondent à une valeur comprise entre 0 (noir) et 255 (blanc). Par exemple, la conversion du gris contenant du blanc et du noir à proportion égale correspond précisément à «127».



<Une image correspond à un ensemble de données à 256 niveaux>

Les images capturées à l'aide d'un dispositif CCD forment un ensemble de données pixel, celles-ci étant reproduites sous la forme de données de contraste à 256 niveaux.



Au regard de l'exemple précédent, les données de l'image sont représentées sous forme de valeurs comprises entre 0 et 255 niveaux par pixel. Le traitement d'image correspond à la détection d'éléments sur une image par calcul des données numériques de chaque pixel selon les modalités évoquées à la suite.

5. Les différents types d'éclairage

Il est essentiel d'avoir un éclairage spécifique et bien adapté de façon à créer un contraste suffisant et stable, pour mettre en valeur les éléments à contrôler.

5.1. Les technologies d'éclairages

➤ Éclairage à DEL (Diode Electro Luminescente)

C'est l'éclairage privilégié aujourd'hui : c'est un éclairage homogène d'une durée de vie très longue (30 000 heures). Il existe en couleurs, mais le champ couvert est limité à 50 cm environ.

➤ Éclairage à tube fluorescent haute fréquence

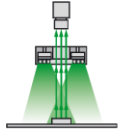
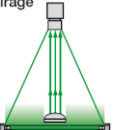
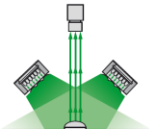
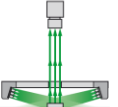
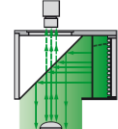
D'une lumière blanche il a une durée de vie longue (5 000 heures), et le volume éclairé ou « champ » est important ; il dépend évidemment de la puissance lumineuse mise en œuvre.

➤ Éclairage halogène

De lumière également blanche, sa durée de vie est faible (500 heures) et nécessite une puissance très importante, il peut couvrir un champ important.

Ces éclairages peuvent être appliqués de différentes manières. Cinq systèmes sont principalement utilisés pour faire ressortir la caractéristique à contrôler :

- Annulaire,
- Rétro éclairage,
- Linéaire direct,
- Rasant,
- Coaxial.

Systèmes	Caractéristiques	Applications type
Annulaire 	- Ensemble de DEL disposées en anneau - Système d'éclairage très puissant - Permet d'éclairer l'objet dans son axe, par-dessus	Conseillé pour un contrôle de précision, de type marquage
Rétro éclairage 	- Éclairage placé derrière l'objet et face à la caméra - Permet de mettre en évidence la silhouette de l'objet (ombre chinoise)	- Conseillé pour mesurer les cotes d'un objet - ou analyser des éléments opaques
Linéaire direct 	Utilisé pour mettre en évidence une petite surface de l'objet à contrôler et créer une ombre portée	Conseillé pour la recherche de défauts précis, le contrôle de taraudage, etc.
Rasant 	- Permet de faire la détection de bord - Contrôler un marquage - Détecter les défauts sur des surfaces vitrées ou métalliques	Conseillé pour contrôler les caractères imprimés, l'état d'une surface, détecter les rayures, etc.
Coaxial 	Permet de mettre en évidence des surfaces lisses perpendiculaires à l'axe optique en orientant la lumière vers un miroir semi-réfléchissant	Conseillé pour contrôler, analyser et mesurer des surfaces métalliques planes ou autres surfaces réfléchissantes

Caractéristiques comparées des différents types d'éclairage

	Luminosité	Durée de vie	Couleurs	Consommation électrique
LED	Un peu plus faible	Longue	Nombreuses	Très économes
Lampes fluorescentes	Un peu plus faible	Un peu plus courte	Peu nombreuses	Légèrement économes
Halogène	Élevée	Un peu plus courte	Peu nombreuses	Pas du tout économes
Xénon	Élevée	Longue	Peu nombreuses	Légèrement économes
Halogénures métalliques	Élevée	Longue	Peu nombreuses	Très économes

5.2. Pourquoi les LED ont du succès dans le traitement d'image ?

Comparées aux lampes halogènes, fluorescentes et autres, les LED offrent une meilleure capacité de commutation, durent plus longtemps et ont des formes plus adaptées.

Leurs principaux atouts sont les suivants :

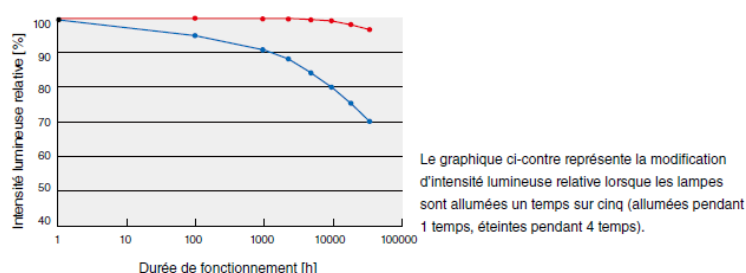
➤ Vitesse de réponse élevée

Les LED, qui emploient des semi-conducteurs élémentaires, font preuve d'une excellente capacité de commutation. Le temps de réponse des éléments individuels est typiquement de l'ordre de la nanoseconde.

➤ Longue durée de vie

Dotées de plusieurs dizaines de milliers d'heures, les LED durent bien plus longtemps que les ampoules fluorescentes. Et contrairement à ces dernières, leur durée de vie n'est pas écourtée par des allumages répétés. Cette longue durée de vie permet de réduire les coûts et le nombre d'interventions pour changer les lampes.

Éclairage continu (en bleu) et éclairage intermittent (en rouge) - Exemple représentatif

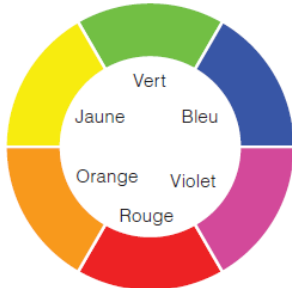


5.3. Quelle couleur d'éclairage LED choisir

La dernière étape consiste à déterminer la **couleur** de l'éclairage en fonction de la cible et de l'arrière-plan.
Avec une caméra couleur, on utilise normalement un éclairage blanc.
Avec une caméra monochrome, il est indispensable de connaître ce qui suit.

Détection à l'aide des couleurs complémentaires

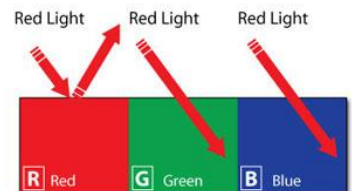
Référence Cercle chromatique



Une couleur complémentaire est une couleur située directement à l'opposé d'une autre sur le cercle chromatique .

Caractéristiques principales

- **Contraste Maximal** : Lorsqu'elles sont juxtaposées, les couleurs complémentaires offrent le contraste visuel le plus fort possible, ce qui les rend dynamiques et percutantes.



Exemple de choix de la couleur d'éclairage en vision industrielle pour un produit vert.

En général, on applique le principe des couleurs complémentaires pour maximiser ou minimiser le contraste :

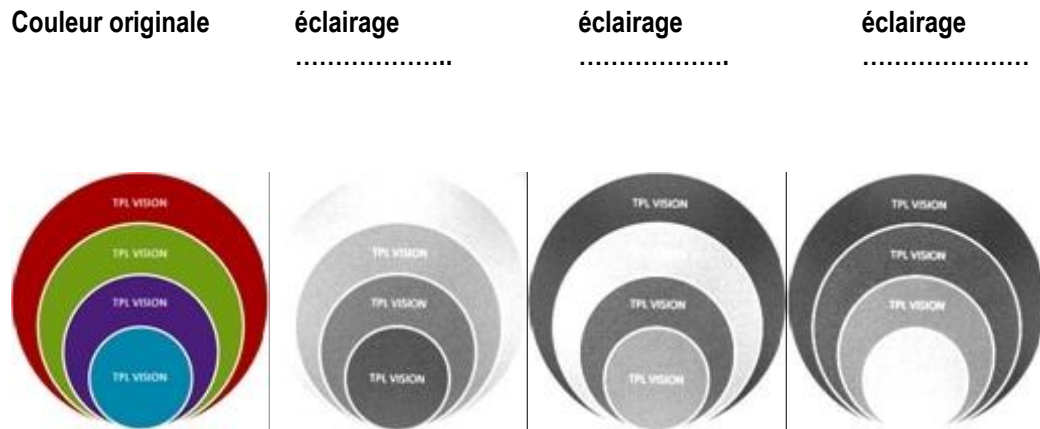
1. Pour obtenir un contraste ÉLEVÉ (pour voir les défauts, marques, etc.) :

- Utilisez une couleur d'éclairage **complémentaire** au vert, qui est le **ROUGE** (ou dans certains cas l'**AMBRE/ORANGE**).
- Un éclairage rouge va être fortement **absorbé** par l'objet vert, faisant apparaître l'objet en **noir** ou très foncé sur une image monochrome. Cela maximise le contraste avec le fond et aide à faire ressortir les caractéristiques.

2. Pour obtenir un contraste FAIBLE (pour inspecter l'uniformité, minimiser la visibilité des caractéristiques) :

- Utilisez la **même couleur** que l'objet, donc la lumière **VERTE**.
- Un éclairage vert sera fortement **réfléchi** par l'objet vert, le faisant apparaître très **clair** ou blanc sur une image monochrome, minimisant ainsi le contraste. C'est utile pour inspecter l'uniformité ou pour faire des mesures sans être perturbé par les détails de surface.

5.4. Trouvez la couleur de l'éclairage sur les dessins ci-dessous ?



5.5. Conclusion : L'Éclairage est la clé du succès

L'éclairage n'est pas un simple accessoire, il est crucial. Il doit mettre en évidence les caractéristiques de la pièce à contrôler et masquer les variations non pertinentes (ombres, reflets, couleur de fond, etc.). Il faut être vigilant à la couleur de fond du champ de vision.