

# TP Vision industrielle

PIMS 2021-2022 :

Oscar Boucher, Martin Collignon, Victoire de Saléon-Terras,  
Samuel Gerente, Hugo Lassiette, Flora Silberzan

February 2022

## 1 Introduction

La vision industrielle est un domaine d'application important de la photonique. Elle permet l'automatisation des tâches de contrôle. Cette méthode comparée au contrôle par l'humain présente de nombreux avantages en termes de performance, de fiabilité, de qualité, de traçabilité et de sécurité. Elle possède des applications dans différents domaines comme l'industrie, la médecine ou les transports. Ce TP se concentrera sur l'application en industrie et l'influence de l'éclairage dans la détection des caractéristiques des objets.

Sur une chaîne de production, il est important de contrôler la qualité des produits pour pouvoir exclure ceux qui sont imparfaits ou arrêter vite la production en cas de dysfonctionnement de la chaîne. Pour cela, on utilise une ou plusieurs caméras devant lesquelles défilent de manière ininterrompue les objets à contrôler. Selon la caractéristique qu'on souhaite vérifier, on peut utiliser différents types de capteurs (Visible, UV, IR, ...) et différents types d'éclairage (cf. suite). Les principales difficultés du contrôle par vision industrielle sont que la caméra est fixe et que les objets ne s'arrêtent pas durant le temps de l'acquisition pour ne pas ralentir la production. L'objectif de ce TP est d'étudier l'influence des paramètres du capteur et de l'éclairage sur le contrôle des objets.

## 2 Rappels théoriques

### 2.1 Rappels de photométrie

— Flux spectral  $F_e(\lambda)$  (W/nm) et Flux de puissance  $F_e$  (W)

$$F_e = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} F_e(\lambda) d\lambda$$

— Réponse  $i$  (A) d'un détecteur :

$$i = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} F_e(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

avec  $R(\lambda)$  la réponse spectrale du détecteur en  $A.W^{-1}.nm^{-1}$ .

- Les valeurs tristimulus XYZ :

$$X = \int_{380nm}^{780nm} F_e(\lambda) \bar{x}(\lambda) . d\lambda$$

$$Y = \int_{380nm}^{780nm} F_e(\lambda) \bar{y}(\lambda) . d\lambda$$

$$Z = \int_{380nm}^{780nm} F_e(\lambda) \bar{z}(\lambda) . d\lambda$$

et les valeurs de chromaticité  $(x, y)$  :

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

- **A choisir** : reflectance factor / spectral reflectance

- Contraste :

$$C_m = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

- Coordonnées  $L^*a^*b^*$  et distance chromatique CIELab 76 :

$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_{ill}}\right) - 16$$

$$a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_{ill}}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_{ill}}\right) \right]$$

$$b^* = 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_{ill}}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_{ill}}\right) \right]$$

avec  $f(q) = q^{\frac{1}{3}}$  si  $q > 0.008856$ ,  $f(q) = 7.787q + \frac{16}{116}$  sinon

$$\Delta E_{76}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

## 2.2 Techniques d'éclairage en vision industrielle

### 2.2.1 Types de réflexion

La lumière est réfléchi sur l'objet puis arrive sur la caméra. On distingue deux types de réflexion :

- Réflexion spéculaire : un rayon lumineux incident donne un rayon lumineux réfléchi unique et qui suit la loi de Descartes sur la réflexion (angle d'incidence = angle de réflexion). C'est le cas sur les surfaces réfléchissantes, brillantes (miroir, métal poli, eau à incidence rasante, certain plastiques...)
- Réflexion diffuse : un rayon incident se réfléchi dans un grand nombre de directions. C'est le cas sur les surface granuleuses, mate (papier, bois, plastique...)

### 2.2.2 Types d'éclairage

- **Rétroéclairage (backlighting)** : L'éclairage est derrière l'objet. Si l'objet est opaque, cet éclairage crée un fort contraste : silhouette noire sur un fond clair. Utilisé pour la détection de trou (présence ou absence), pour la détection de l'orientation, du placement et pour faire des mesures.
- **Éclairage en champ clair (bright field)** :

1. **Éclairage diffus (full bright field)** : Cet éclairage s'utilise principalement pour éclairer des surfaces réfléchissantes. Différentes possibilités de mise en place :
    - a) **Le dôme (sphère intégrante)** : efficace pour les surface réfléchissantes courbées, les reliefs sont peu visibles, possibilité de trou noir au centre de l'image (hole in the sky)
    - b) **Éclairage coaxial (via une lame semi-réfléchissante)** : pour les objet plan, permet de différencier les surfaces angulées différemment. Permet de détecter les zones moins réfléchissantes (qui sont possiblement des défauts). Pas de hole in the sky.
    - c) **Diffuseur plan** : utile pour les grands objets (car l'éclairage peut facilement est assez grand), possibilité d'être utilisé à grande distance (contrairement aux autres)
  2. **Éclairage directionnel (partiel bright field)** : C'est l'éclairage le plus courant, l'angle d'incidence varie de 0 à 45°, faisable avec des barres LEDs ou un anneau de LEDs. Forte possibilité de réflexion spéculaire (=saturation sur l'image) pour les objets réfléchissant et possibilité d'ombre. Facile d'éclairer de grande surface. En général le fond est clair et les points caractéristiques sont sombre.
- **Éclairage en champ sombre (dark field)** : L'angle d'incidence de l'éclairage est compris entre 45 et 90°, faisable avec des barres LEDs ou des anneaux de LEDs en éclairage rasant. Utile pour voir les reliefs (en clair sur un fond sombre, voir partie 3). Aussi utilisé pour voir à travers un film plastique.

### 3 Matériel expérimental

Pour ce TP, les équipement suivants sont fournis :

- Un convoyeur Dobot incluant un moteur pas à pas
- Une caméra couleur IDS UI308xCP-C 2456 x 2054 (1pixel = 3,45  $\mu m$ )
- Un boîtier "Vision Industrielle" pour contrôler le montage, pilotable via ordinateur ou directement avec l'écran tactile présent dessus (carte Disco-F746NG)
- 2 barres de LED EFFI-Flex-10-000
- Une source annulaire RGB EFFI-Ring
- Une source annulaire rasante rouge EFFI-LLA
- Un support permettant de régler la hauteur de la caméra, de l'anneau RGB et des barres de LED ainsi que leur inclinaison.
- Un bras mécanique permettant de positionner l'anneau rasant

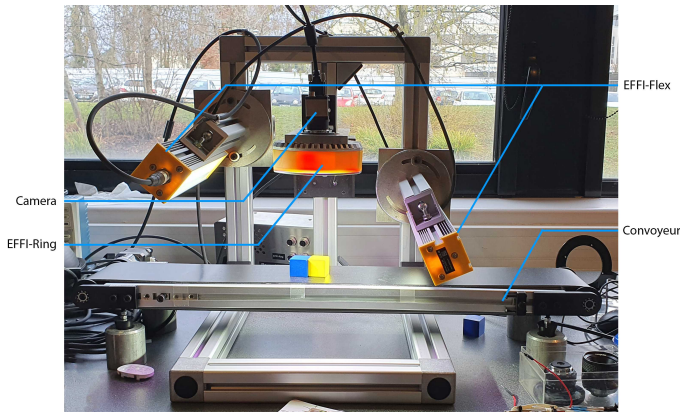


FIGURE 1 – Banc de vision industrielle



FIGURE 2 – Boîtier de contrôle avec écran tactile

### 3.1 Interface intégrée

La carte Disco-F746NG doit être reliée à un ordinateur via un port USB pour pouvoir fonctionner.

Il faudra faire attention à ne pas appuyer trop longtemps sur les boutons car ils pourraient effectuer plusieurs fois une action (appui de l'ordre de 0,2 s).

#### 3.1.1 Contrôle des sources lumineuses

La partie permettant de contrôler l'éclairage comprend tous les boutons liés à chaque source lumineuse (dans la partie gauche de l'écran) et les boutons "ALL ON" et "ALL OFF" en haut à droite.

Les boutons à gauche fonctionnent comme des interrupteurs. Ils permettent de contrôler chaque source lumineuse indépendamment. Dans le cas de la source RGB, il y a un bouton pour chaque couleur. Pour les autres, il n'y a qu'un bouton qui sert d'interrupteur. Quand une source est allumée, le bouton lié est blanc ou coloré.

Les boutons "ALL-ON" et "ALL-OFF" servent à allumer ou éteindre toutes les sources.

#### 3.1.2 Conveyeur

A partir de l'interface, on peut contrôler la vitesse et le sens de rotation du convoyeur.

- Le bouton "ON/OFF" permet d'allumer et d'éteindre le convoyeur.
- Le bouton "Direction" permet de changer le sens de rotation". Il n'est utilisable que lorsque le tapis fonctionne et est grisé sinon.
- Le curseur glissant permet de régler la vitesse du tapis (*Attention, il faut le faire glisser doucement de façon à garder le doigt appuyé tout le temps sur le curseur, sinon il ne suis pas*). Il peut varier entre 0 et 100% sur la barre. La valeur de ce pourcentage varie linéairement par rapport à la période des opérations du moteur du convoyeur (donc pas par rapport à la vitesse). La vitesse estimée du tapis roulant est affichée à droite de "Conveyeur/Vitesse".

### 3.2 Interface Ordinateur

Samuel

## 4 Paramètres caméra

ISO, ouverture, focus ...

avec différents éclairages/objets si ça change qqchose

**Manip :** Lancez l'application PIMS Machine Vision et positionnez sur le convoyeur en face de la caméra plusieurs objets (1 pièce de monnaie, 1 cube de couleur, plusieurs formes...). Constatez que chacun de ces objets nécessite un éclairage et un paramétrage de caméra différent pour que son image soit correctement traitée.

## 5 Pré-Traitement de l'image

Une fois l'image acquise par la caméra avec un paramétrage et des conditions d'éclairage correctement choisies, plusieurs traitements de l'image peuvent être appliqués pour caractériser l'objet. En général une étape de pré-traitement de l'image s'impose : même si les conditions d'éclairage et le paramétrage de la caméra ont bien été choisies, cette étape peut corriger les défauts de l'acquisition (atténuation du bruit, ...)

### 5.1 opérations sur l'histogramme

L'histogramme est une représentation statistique de l'image. Il représente la densité de probabilité de voir un pixel de niveau de gris  $n$ . Le **recadrage dynamique** de l'histogramme a pour but d'augmenter la dynamique de l'histogramme afin d'améliorer le contraste de l'image. L'**égalisation** d'histogramme consiste à rendre l'histogramme le plus « plat » possible à l'aide d'une fonction de transfert spécifique qui est généralement l'histogramme cumulé. L'objectif est de renforcer le contraste mais de façon plus locale. La **spécification** d'histogramme consiste à faire ressembler l'histogramme à une fonction précise (généralement l'histogramme d'une image de référence). L'objectif est que l'image reste invariante aux conditions d'éclairage et d'observation.

**Manip :** Affichez l'histogramme pour une pièce de monnaie avant tout pré-traitement. Quels pixels sur l'histogramme correspondent à l'arrière plan ? Quels pixels correspondent à la pièce de monnaie ?

### 5.2 le filtrage linéaire

Les opérations de filtrage linéaire sont basées sur la convolution. C'est le produit de convolution discret à 2 dimensions entre une image  $I$  et une fonction représentée par un noyau (ou masque) de convolution  $N$ . Le résultat est une image  $J$  définie par :

$$J(p, q) = \sum_i \sum_j N(p - i, q - j) I(i, j)$$

Il existe différents types de noyau : Les **gradient horizontaux ou verticaux** qui sont des estimations de la dérivée première (le gradient dans une direction donnée). Les **filtres de Sobel, Prewitt ou Roberts** qui correspondent à des lissages des approximations de dérivées premières. Les **filtres Laplacien** qui sont des estimations de dérivées secondes.

### 5.3 le filtrage morphologique

#### 5.3.1 l'érosion et la dilatation : les opérations élémentaires en morphologie mathématique

Ces opérations sont la

### 5.3.2 ouverture et fermeture

ouverture et fermeture

## 6 Détection et identification de formes

Les programmes de détection et d'identification de formes utilisent la bibliothèque OpenCV sur Python.

### 6.1 Principe de détection

Un contour est une courbe fermée qui rejoint tous les points ayant la même intensité de couleur. Ils représentent la forme des objets sur les images. La fonction `cv2.findContours` de la bibliothèque OpenCV qui ne fonctionne que sur des images binarisées, donne les coordonnées des pixels à la frontière entre une zone où la valeur des pixels est nulle et où la valeur des pixels est maximale.

### 6.2 Caractérisation de la forme d'une image

Dans un premier temps l'interface demande à l'utilisateur de constituer une base de données en identifiant quelques formes. Ensuite, par comparaison avec les formes de la base de données, l'interface identifie les formes qui ont été prises en photo. Pour cela, les programmes calculent les moments de Hu de la forme à partir des points de son contour. Ces moments sont invariants par translation, changement d'échelle et rotation de la forme. La ressemblance entre les formes de la base de données et la forme à tester est donnée par la proximité entre les moments de Hu. (cf doc qui entre plus en détail sur la conception de ces programmes)

### 6.3 Identification de formes

**Question :** Quel type d'éclairage est le plus adapté pour cette application de la vision industrielle ? Expliquez à l'aide de la partie "2.2 Techniques d'éclairage en vision industrielle"

**Manip :** Placez des objets avec des formes différents sur le convoyeur, réglez l'éclairage et la caméra et reportez les paramètres dans le tableau ci-dessous. Mettez en marche le convoyeur, et lancez la détection de formes en direct. Les choix de réglages effectués précédemment permettent ils de détecter correctement les formes ? Déréglez certains paramètres et observez et caractérisez les erreurs faites par le programme.

Système d'éclairage	-----
RGB/Grayscale	-----
fréquence d'acquisition	--- fps
temps d'exposition	--- ms

### 6.4 Analyse des reliefs sur une pièce de monnaie

**Question :** Quel type d'éclairage est le plus adapté pour cette application de la vision industrielle ? Expliquez à l'aide de la partie "2.2 Techniques d'éclairage en vision industrielle".

**Manip :** Placer sur le convoyeur des objets présentant des reliefs en surfaces/ des gravures (ex : pièce de monnaie). Faites l'acquisition de de plusieurs images avec différents types d'éclairages et déterminez

l'éclairage le plus adapté (on pourra afficher un histogramme). Reportez les paramètres optimaux pour l'analyse des reliefs dans le tableau ci dessous

Système d'éclairage	-----
RGB/Grayscale	-----
fréquence d'acquisition	--- fps
temps d'exposition	--- ms

## 7 Détection de couleurs

Un autre paramètre à mesurer dans l'industrie est la couleur des objets. Dans cette partie, on utilisera les cubes peints de différentes couleurs. L'objectif est de déterminer la couleur des objets le plus précisément possible. On comparera deux méthodes correspondant aux deux parties suivantes.

### 7.1 Caméra en mode RGB

**Manip :** Passez la caméra en mode RGB, choisissez un éclairage blanc. Reportez les paramètres pour un réglage optimal dans le tableau ci-dessous. Obtenez les coordonnées RGB des objets, on pourra lancer la détection de couleurs en vidéo.

Système d'éclairage	-----
RGB/Grayscale	-----
fréquence d'acquisition	--- fps
temps d'exposition	--- ms

**Question :** Quels sont les avantages et les inconvénients de cette méthode en industrie ?

### 7.2 Camera en mode Grayscale

**Question :** Proposez un protocole permettant de retrouver les coordonnées RGB des objets à l'aide d'une caméra en mode Grayscale (vous trouverez en Annexe les spectres des différents éclairages)

**Manip :** Passez la caméra en mode Grayscale, choisissez un éclairage de couleur et faites l'acquisition de la scène. Obtenez les coordonnées RGB des objets, en répétant l'expérience pour différentes couleurs d'éclairage.

**Question :** Quels sont les avantages et les inconvénients de cette méthode en industrie ?

(Éclairage annulaire R/G/B = 465/525/625) (bar = 435,8/546,1/700)

### 7.3 Comparaison

**Question :** Calculez les distances CIELab 76 entre les mesures de chaque méthode. Commentez.

8 Annexes

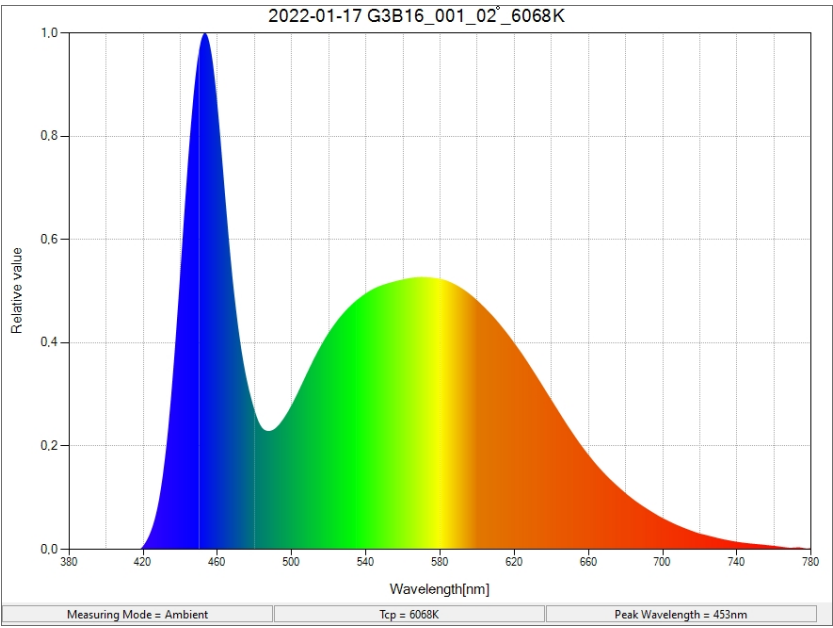


FIGURE 3 – Spectre EFFI-FLex-10-000

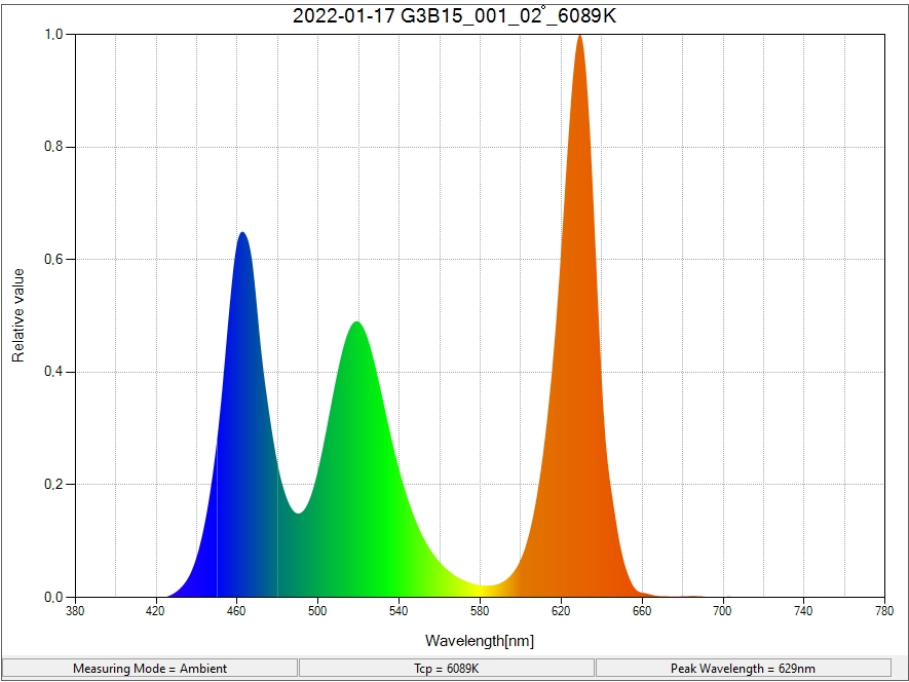


FIGURE 4 – Spectre EFFI-Ring blanc