

# Fiche pédagogique

## SYSTEME DE MESURE SANS CONTACT

### Niveau :

1<sup>ère</sup> année de BTS systèmes photoniques.

### Objectifs :

*En possession des documents et des informations techniques complémentaires nécessaires, l'élève doit être capable de mettre en œuvre un système de mesure sans contact.*

- C1.1 : Analyser un cahier des charges
- C1.2 : Définir l'architecture fonctionnelle d'un système
- C1.3 : Proposer des solutions techniques
- C1.5 : Simuler et valider les solutions techniques
- C2.1 : Assembler les composants
- C2.3 : Régler le système
- C3.1 : Mettre en œuvre un système optique
- C3.2 : Valider un système
- C5.3 : Synthétiser des données techniques.

### Forme :

TP de 6 heures, par binôme ou trinôme.

### Pré-requis :

- Lecture de dossiers ressources.
- Connaissance en mathématiques, optique, mécanique et informatique.

### Méthode :

On donne :	On demande :	On évalue :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un sujet de T.P.,</li> <li>- Un dossier technique.</li> <li>- Les logiciels associés au TP</li> <li>- Tout le matériel nécessaire à la mise en œuvre du système.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De faire l'analyse fonctionnelle du système.</li> <li>- De mettre en œuvre le système.</li> <li>- D'analyser les performances du système.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La compréhension de principe de triangulation.</li> <li>- La mise en œuvre du système.</li> <li>- L'analyse des résultats obtenus lors de la mise œuvre du système.</li> <li>- L'attitude, l'autonomie.</li> <li>- Le résultat obtenu</li> <li>- Le respect des règles de sécurité</li> <li>- La présentation du compte rendu.</li> </ul>

# SYSTÈME DE MESURE SANS CONTACT

## 1. Éléments à votre disposition

### 1.1. Matériel

Voir cadre 1.

#### Liste du matériel

Échantillons à contrôler  
 Capteur KEYENCE LKG 152 et son contrôleur  
 Motorisation X : platine PI et son contrôleur  
 Carte d'acquisition NI  
 Alimentations des deux contrôleurs

### 1.2. Documentation

Voir cadre 3.

cadre 1.

#### Liste de la documentation

Dossier technique  
 Glossaire

### 1.3. Logiciels

Voir cadre 2.

cadre 2.

#### Liste des logiciels

Labview  
 Excel  
 LKG Navigator

cadre 3.

## 2. Présentation du contexte

Le système que vous allez mettre en œuvre est un système qui permet de relever, sans contact, les différences d'altitudes de pièces trop fragiles pour être mesurées mécaniquement (pour éviter les rayures par exemple)

Ce système intègre un capteur KEYENCE LKG 152 et une table de translation motorisée.

### Principe Physique utilisé par le capteur – La triangulation

Le capteur émet un faisceau laser perpendiculaire à la surface à mesurer. Un système optique dont l'axe est oblique par rapport à la direction d'émission fait l'image de la lumière diffusée sur un capteur sensible à la position (par exemple une cellule PSD ou un capteur CCD linéaire).

### Application pratique :

Le capteur délivre une tension proportionnelle à l'altitude du spot laser.

On utilise ce capteur dans un système de mesure constitué d'une translation pilotée par un ordinateur et une carte d'acquisition qui relève les mesures.

On obtient ainsi des relevés de profils de pièces mécaniques.

Voir dossier technique

### Problématique :

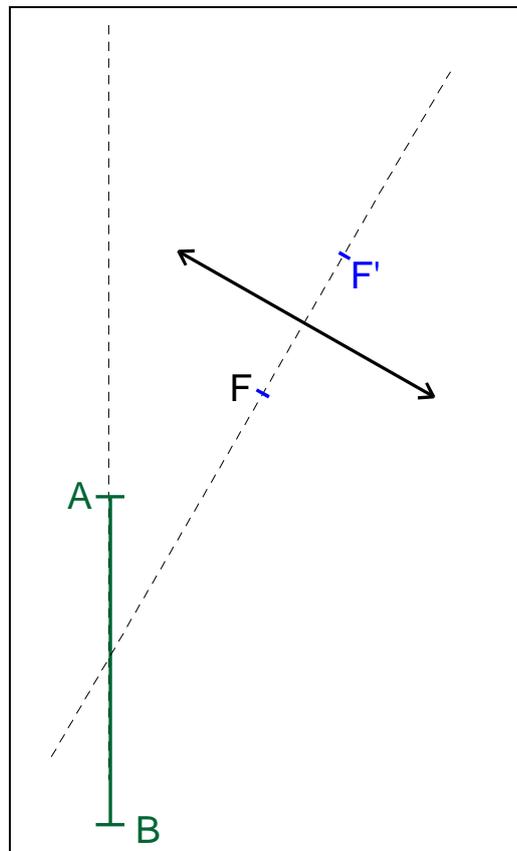
La société Polydistechnologie fabrique des plaques à graver en PVC de différentes couleurs. Pour contrôler l'épaisseur lors de la fabrication, cette société souhaite acquérir un capteur Keyence.

Peut-on, avec ce système, contrôler l'épaisseur de l'ensemble des plaques à graver, sachant que, celles-ci ont une épaisseur de  $2.42 \pm 0.01$  mm, et les couleurs possibles sont : rouge, jaune, blanc et noir. ? (Réponse à donner en fin de TP)

### 3. Analyse du système :

#### 3.1. TRIANGULATION OPTIQUE

- a) Préciser à l'aide de la page 2 du dossier technique la nature de la source, de la cible, de l'imageur et du capteur utilisés dans le montage par triangulation du capteur LK-G 152.
- b) Compléter le schéma simplifié d'optique géométrique pour une cible dont l'altitude  $h$  varie de A à B (Cadre 4). Représenter deux rayons issus de A, de B et un rayon issu d'un point P entre A et B. Préciser la position de chaque image A', B', P' et représenter en couleur la trace du capteur.
- c) Le système optique présente-t-il le même grandissement transversal GT pour tous les éléments du segment AB ? Expliquer votre réponse.



Cadre 4 : schéma à compléter

#### 3.2. SENSIBILITE – LINEARISATION

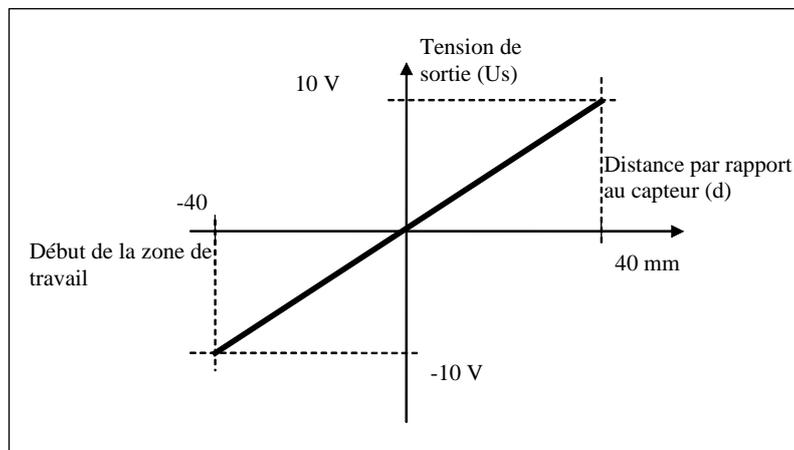
Ouvrir le fichier Excel « KeyenceKLG152.xls ».

$x$  est la position du spot image sur le capteur et  $h$  celle du point cible.

- a) Observer  $x$  en fonction de  $h$ . On appelle  $dx$  le déplacement minimum perceptible sur le capteur et  $dh$  la variation d'altitude correspondante de la cible.  $dx/dh$  est-elle constante ? Expliquer votre réponse.
- b) Rappeler ce qu'est la sensibilité d'un système de mesure (un glossaire dans le dossier technique est à votre disposition).
- c) A chaque position  $x$  du spot image de la source, le système génère une tension  $U$  (Volts).  $U$  est l'image de  $h$ . Exprimer la relation permettant de convertir la tension lue sur le capteur en distance  $h$  mesurée.
- d) La sensibilité  $dU/dh$  est-elle constante ?

#### 3.3. Liaison capteur – Carte d'acquisition

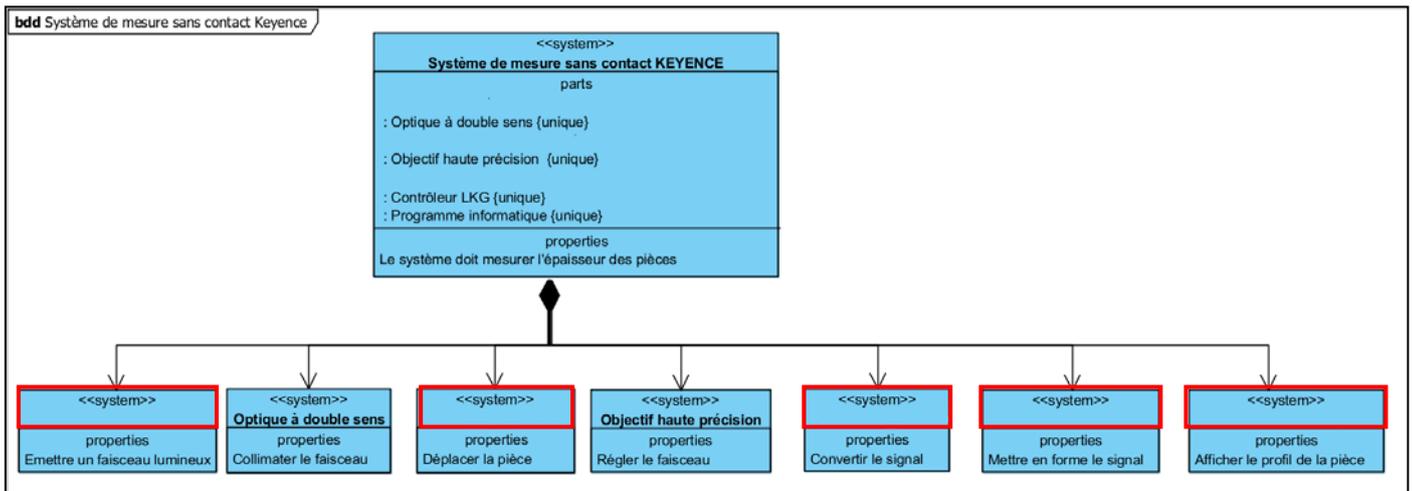
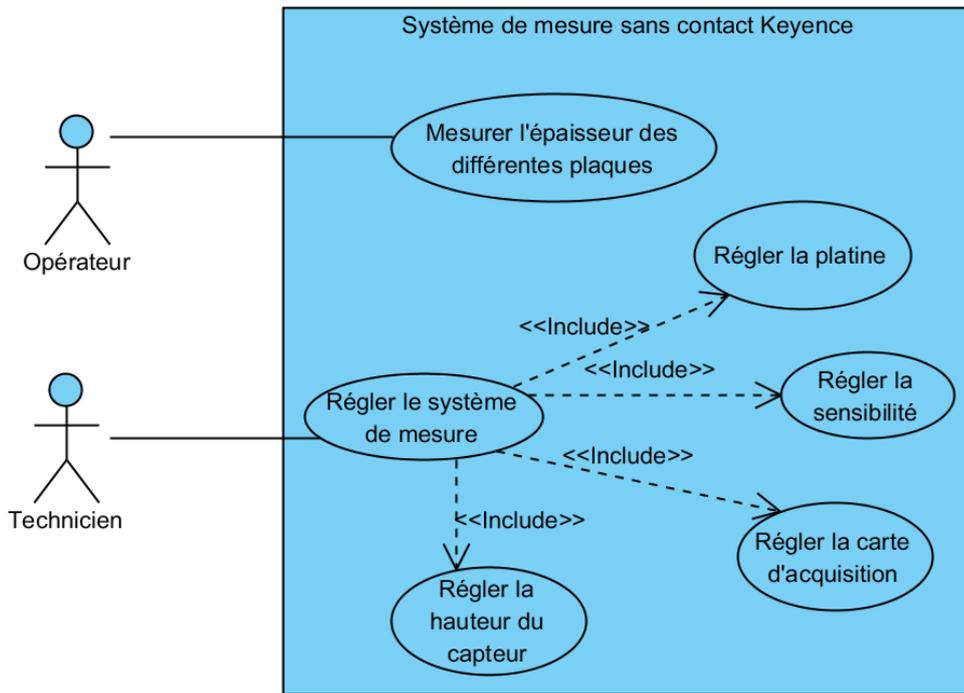
- a) On utilise la sortie tension  $-10..+10$  Volts du capteur, à quel type d'entrée d'une carte d'acquisition faut-il le relier ?
- b) La résolution annoncée par le constructeur est  $5 \mu\text{m}$  (10 fois la répétabilité). Quelle est la variation de tension lorsque la distance mesurée varie d'une quantité égale à la résolution ?



Cadre 5 : tension de sortie en fonction de l'altitude

### 3.4. Analyse fonctionnelle SYSML:

#### Cas d'utilisation :



A l'aide du dossier technique, compléter le diagramme de blocs.

### 3.5. LIMITES GÉOMÉTRIQUES:

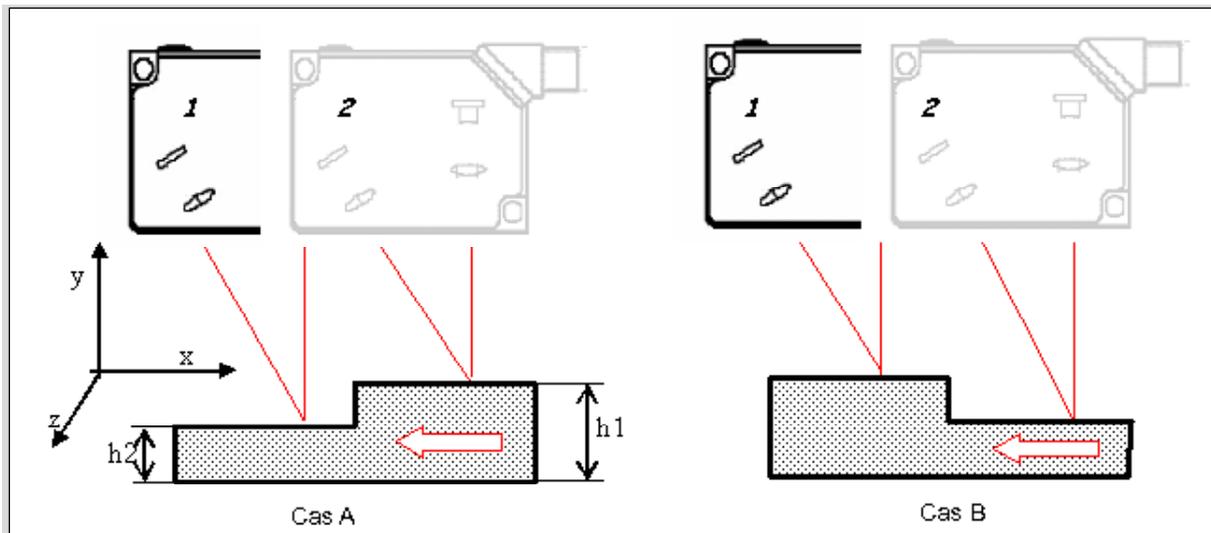
#### 3.5.1. Limites de la zone de mesure :

Sur les figures A et B du Cadre 6, la pièce est orientée différemment.

Le capteur en position (1) mesure la cote h2 et en position (2) la cote h1 : dans le cas de figure A et c'est l'inverse dans le cas B. La flèche indique le sens de déplacement de la pièce.

Dans le cas où le plan des faisceaux est parallèle au plan xy, en fonction des caractéristiques dimensionnelles relevées sur le dossier technique (angle des faisceaux) :

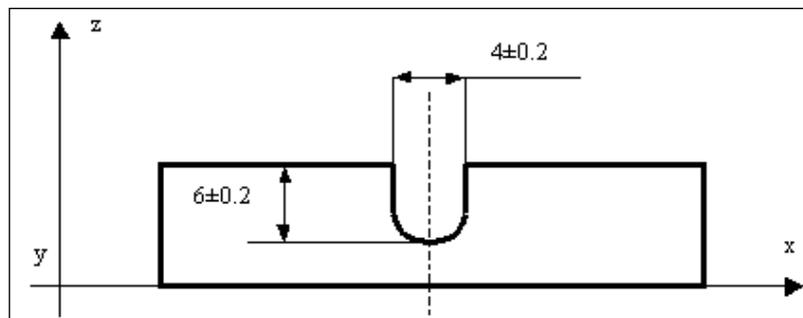
- Donnez en rouge dans le Cadre 6 les limites de la zone d'exploration d'une pièce dont le profil est donné ci-dessus.
- Quels sont les points ou les zones dont l'altitude ne peut être mesurée correctement ? les mettre en place sur les figures.
- Dans le cas où le plan des faisceaux est parallèle au plan yz. Y a-t-il une différence entre les cas A et B ?



Cadre 6 : cas A et B

### 3.5.2. Choix de l'orientation du capteur :

Considérons la pièce dont le dessin est donné Cadre 7.  
Rappel : les trajets des faisceaux émis et captés forment un plan.

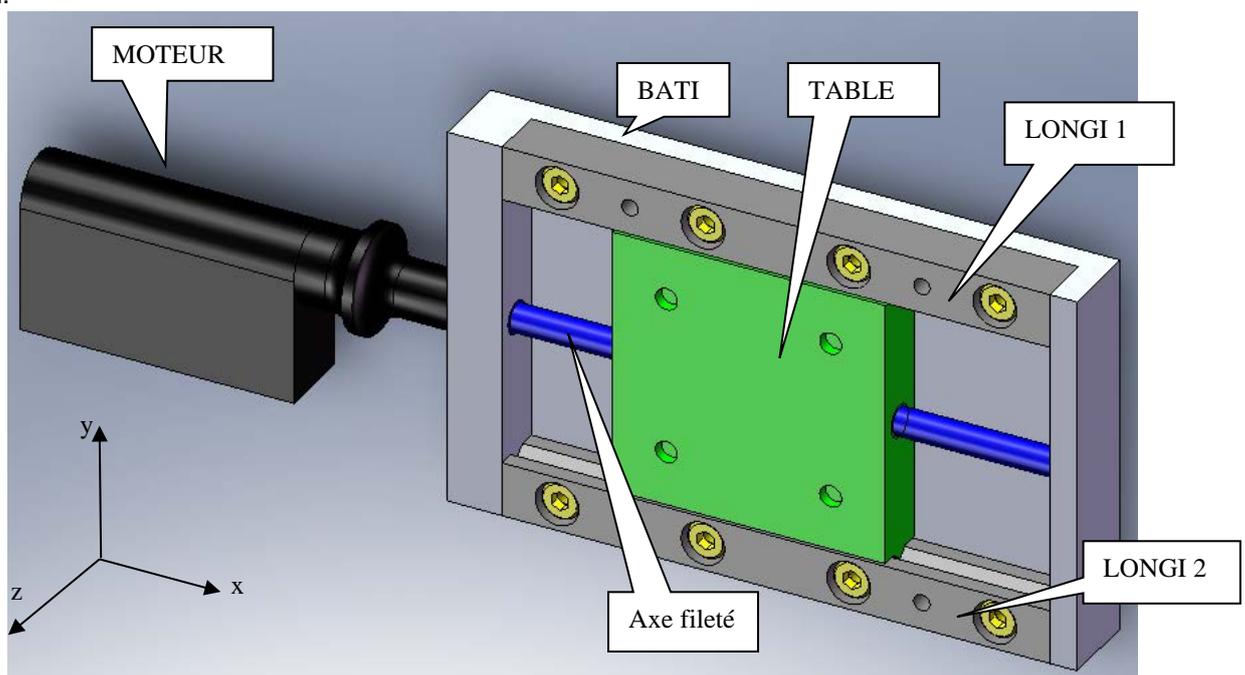


Cadre 7 : pièce rainurée.

Comment doit-on orienter le capteur pour qu'il puisse relever la forme de la rainure pratiquée sur la pièce ?

### 3.6. SCHEMATISATION DE LA TABLE DE TRANSLATION MOTORISEE « PI »

Le schéma cinématique de la table de translation motorisée « PI » vous est donné incomplet sur le document de travail.

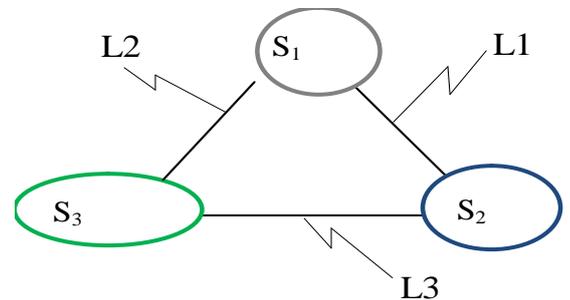


Complétez si nécessaire, les sous-ensembles cinématique :

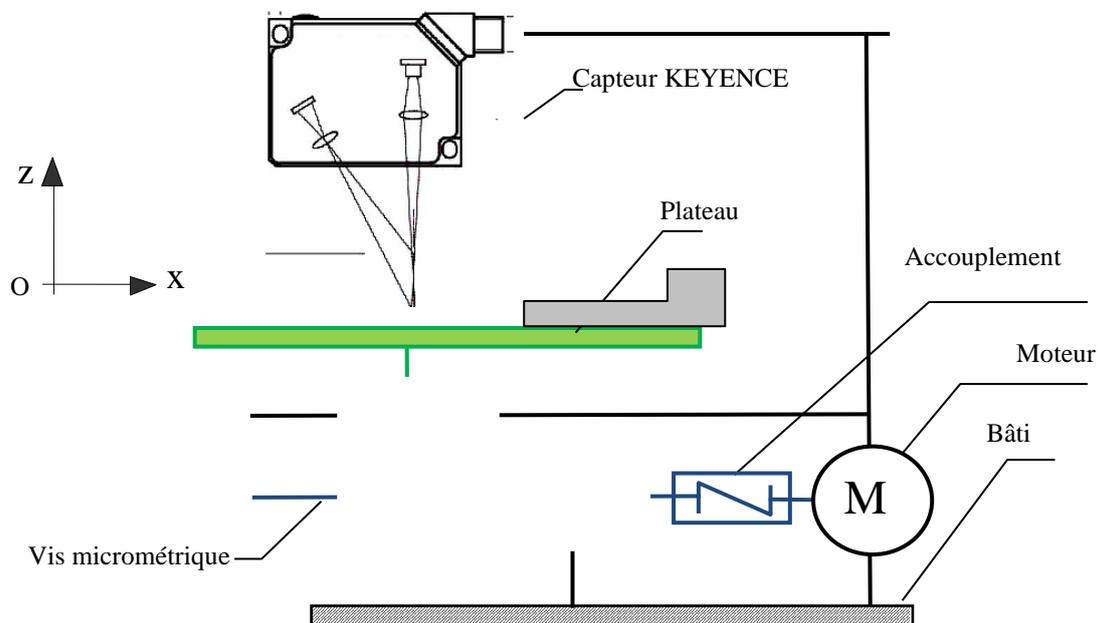
- S<sub>1</sub>={ Bâti, vis,
- S<sub>2</sub>={Axe fileté,
- S<sub>3</sub>={Table,

Définir les liaisons L1, L2 et L3 définies sur le graphe de liaison.

Classes	Nom de la liaison
S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub>	L1 =
S <sub>1</sub> et S <sub>3</sub>	L2 =
S <sub>2</sub> et S <sub>3</sub>	L3 =



Compléter le schéma cinématique de la table de translation motorisée.



## 4. Mise en œuvre du système :

### 4.1. MONTAGE ET REGLAGE DU CAPTEUR

Effectuer le montage du capteur sur le poste de mesure. Le début de la zone de mesure coïncidera avec le plan d'appui de la pièce.

- a) Alimenter le capteur, effectuer les liaisons électriques entre le poste de mesure et l'ordinateur
- b) Placer le capteur de telle sorte que la diode soit verte lorsque le faisceau pointe sur le platine (ce sera l'origine qui correspondra à 0V du capteur)
- c) Lancer le programme LKG Navigator. Effectuer la configuration comme indiqué dans le dossier technique pages 4-5. On prendra comme étendue (20mm,-20mm) pour (10V,-10V) pour les deux sorties out1 et out2.
- d) Cliquez sur l'onglet View Measurement Value, puis sur Measurement Value Acquisition Start puis mettre les deux afficheurs à 0 en appuyant sur Zero (1) puis Zero (2).

**FAIRE APPEL AU PROFESSEUR POUR VALIDER**

## 4.2. ETALONNAGE

Exécutez le programme Keyence dont le raccourci est sur le bureau.

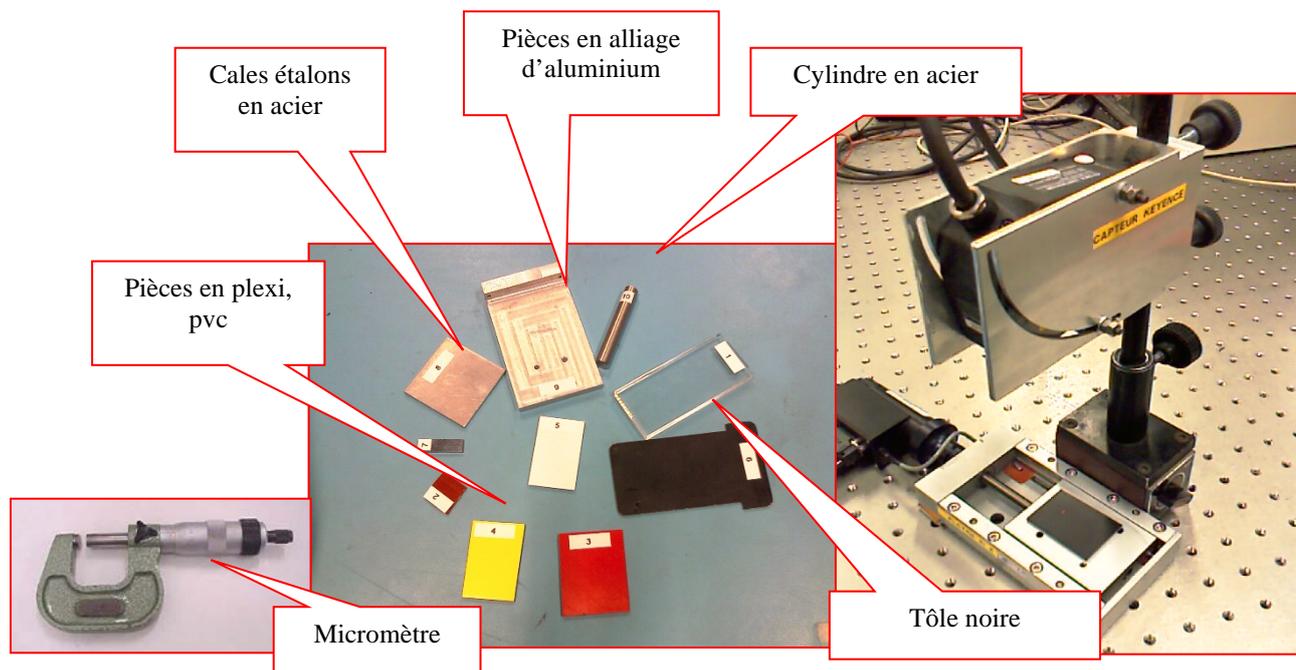
Vous allez étalonner le système en réalisant 2 mesures, l'une sur la platine sans pièce et l'autre sur une cale étalon dont l'épaisseur est connue (3mm).

- Choisir Paramètres\ Carte d'acquisition puis USB6009.
- Définir pour Vout1 la voie Ai0 et pour Vout2 la voie Ai1.
- Faire un test en appuyant sur le bouton test (les valeurs Vout1 et Vout2 ne doivent pas être >10V ou <-10V) puis Valider les paramètres.
- Choisir Paramètres\ Etalonnage puis suivre la procédure.

**FAIRE APPEL AU PROFESSEUR POUR VALIDER**

## 4.3. DETERMINATION DES LIMITES DES MESURES

Vous allez faire une série de mesures sur des pièces d'épaisseurs et de matériaux différents. Pour chacune d'elles, vous briderez la pièce sur la table de translation comme le montre le document ci-dessous.



### 4.3.1. Mesure d'épaisseur de pièces de matériaux différents

- Mesurer les pièces 0 (PVC translucide), 1 (PVC translucide orange), 2 (PVC rouge), 3 (PVC jaune), 4 (PVC blanc), 5 (Tôle noire), 6 (cale 3mm) et 7 (aluminium) disponibles avec un micromètre. Noter les valeurs mesurées.
- Sélectionner Mesures\ Ponctuelle mettre la pièce 0 sous le faisceau
- Appuyer sur le bouton « MESURE » et noter le n° de la pièce et la valeur de la mesure (Dbrute en mm) dans le tableau ci-dessous.
- Faire de même pour les pièces disponibles.
- Appuyer sur « FIN DES MESURES » et enregistrer votre fichier de mesuressous « Ponctuelle.keyence » puis sortir.

Pièce	Mesure micromètre	N° de la pièce	Mesure KEYENCE
PVC translucide			
PVC translucide orange			
PVC rouge			
PVC jaune			
PVC Blanc			
Tôle noire			
Cale 3mm			
Pièce Aluminium			

**FAIRE APPEL AU PROFESSEUR POUR VALIDER**

### 4.3.2. Forme de l'onde reçue en fonction des matériaux.

Lancer l'option visualiser la lumière reçue (DT page 5).

- Relever qualitativement la forme du signal reçu pour chacune des pièces mesurées.
- Conserver ces relevés pour l'exploitation des mesures.

### 4.3.3. Formes limites mesurables :

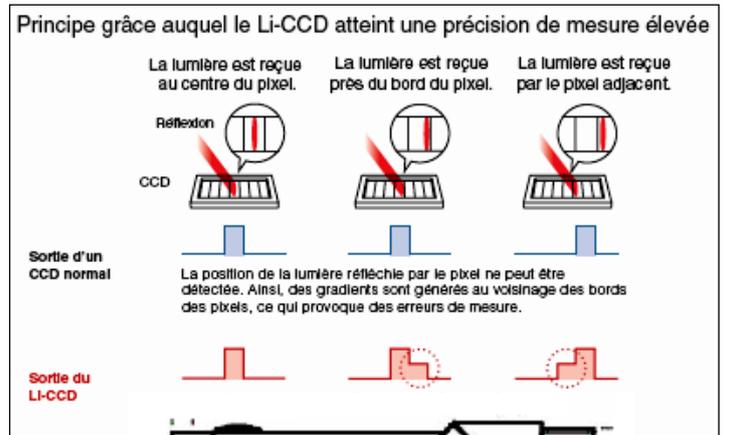
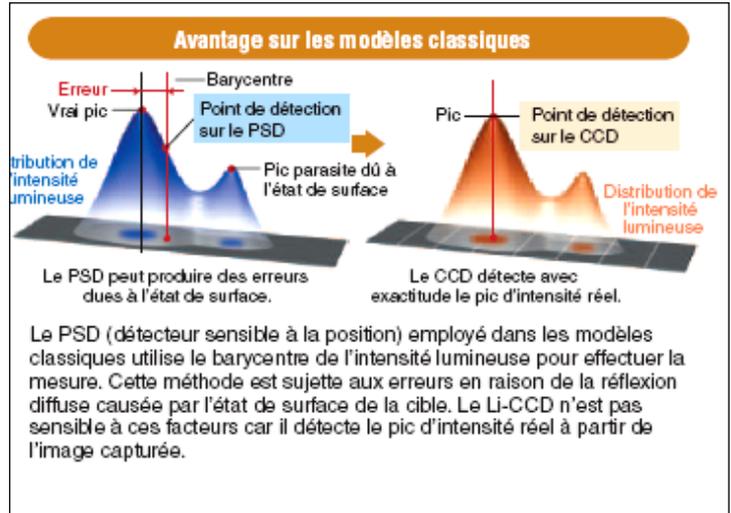
Vous disposez d'une pièce épaulée correspondant à la question 3.5.1.

- Réaliser les mesures de la pièce dans les cas A de la question 3.5.1. Pour cela :
  - Dans Paramètres \ Patine de translation, positionner la pièce pour que le spot soit à l'origine des mesures puis appuyer sur le bouton « Définir l'origine ».
  - Dans Paramètres \ Acquisition sur la longueur d'une pièce, donner le pas (0.2 mm) et le nombre de point de mesures (30) soit une acquisition sur 6 mm.
  - Dans Mesures \ Sur la longueur d'une pièce faite « Démarrer les mesures », Enregistrer vos mesures sous « Epaulée A » puis Quitter
  - Dans Résultats \ Graphe Dbrute=f(x) et Dfiltré=f(x), tracer le graphe de la pièce 1 et Imprimer le graphe.

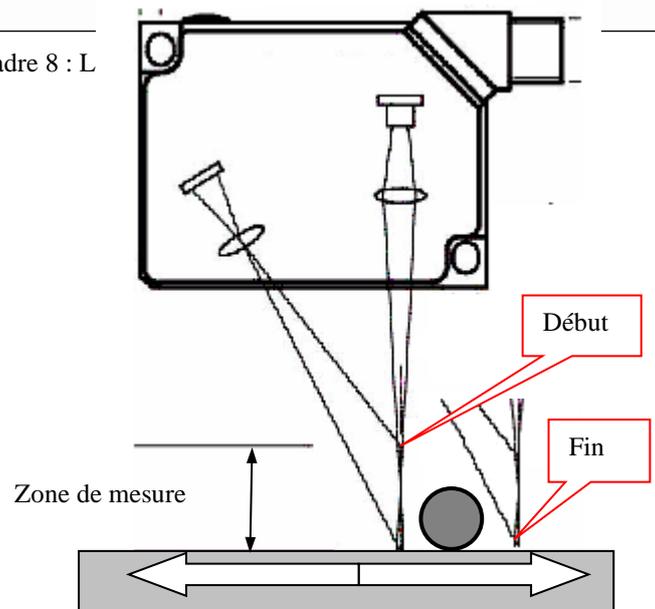
- Réaliser les mesures de la pièce dans les cas B de la question 3.5.1. Pour cela :
  - Dans Paramètres \ Patine de translation, positionner la pièce pour que le spot soit à l'origine des mesures puis appuyer sur le bouton « Définir l'origine ».
  - Dans Paramètres \ Acquisition sur la longueur d'une pièce, donner le pas (-0.2 mm car on se déplace dans l'autre sens) et le nombre de point de mesures (30) soit une acquisition sur 6 mm.
  - Dans Mesures \ Sur la longueur d'une pièce faite « Démarrer les mesures », Enregistrer vos mesures sous « Epaulée B » puis Quitter
  - Dans Résultats \ Graphe Dbrute=f(x) et Dfiltré=f(x), tracer le graphe de la pièce 2 et Imprimer le graphe.

On utilise maintenant un cylindre de diamètre 10 mm. Placer ce cylindre sur la table, son axe étant perpendiculaire à la direction de translation

- Relever le profil sur une étendue de mesure supérieure au diamètre dans les deux cas :
  - plan des faisceaux parallèle à la direction du déplacement
  - perpendiculaire à la direction du déplacement
- Enregistrer les résultats.



Cadre 8 : L



**FAIRE APPEL AU PROFESSEUR POUR VALIDER**

## 5. Analyse des performances du système :

### 5.1. Qualité d'une mesure

#### 5.1.1. Linéarité du capteur et de sa réponse.

A partir de la documentation technique et du Cadre 8 répondre aux questions :

- a) La résolution d'un CCD classique est souvent limitée par la taille de ses pixels, contrairement au PSD, le capteur n'est pas linéaire. Le LIN-CCD est linéarisé, quel est le principe de la linéarisation ?
- b) Quel avantage supplémentaire ce capteur a-t-il par rapport au PSD ?

En s'aidant des réponses en partie 3 et du dossier technique :

- c) Utilisé en triangulation la réponse du capteur doit être linéarisé par le processeur. La sensibilité est alors constante sur toute la plage de mesure. Quelle est la sensibilité ?

#### 5.1.2. Exactitude (précision) d'une mesure.

On a relevé le profil d'une cale étalon (surface plane) dont les défauts macro et micro géométriques sont négligeables devant la résolution du capteur.

Remarque : le mot « précision » n'est plus reconnu mais toujours utilisé. Un système de mesure est exact (ou précis) s'il est juste et fidèle (Cadre 9).

##### 5.1.2.1. Fidélité des résultats de mesure

Pour être fidèle la mesure doit être répétable.

- a) Rechercher la définition de la répétabilité (voir « Glossaire »).
- b) On donne le fichier « table.xls » qui contient l'enregistrement de 200 mesures au même point.
- c) Représenter le nuage de points.
- d) Tracer la droite de tendance et déterminer son équation. Qu'elle devrait être la valeur théorique de sa pente ? Comparer cette valeur à la valeur obtenue par régression linéaire (DMC).
- e) Calculer l'écart type  $\sigma$ . Pour cela sélectionner la fonction « ECARTYPE » dans « statistiques » de l'insertion de fonction, et appliquer cette fonction à l'ensemble des ordonnées de la courbe. C'est l'écart-type qui mesure la répétabilité des résultats.
- f) Comparer cette valeur à celle fournie par le constructeur (documentation technique).

##### 5.1.2.2. Justesse d'une mesure.

Voir la définition **Cadre 9**

- a) Calculer la moyenne et l'incertitude de la mesure précédente. On utilisera pour cela la fonction MOYENNE pour obtenir l'estimateur de la mesure et INTERVALLE.CONFIANCE(0.05,  $\sigma$ , 200) ou la formule  $\frac{2\sigma}{\sqrt{N}}$  pour obtenir l'intervalle d'incertitude. Ecrire alors le résultat de la mesure et le comparer à la valeur attendue.

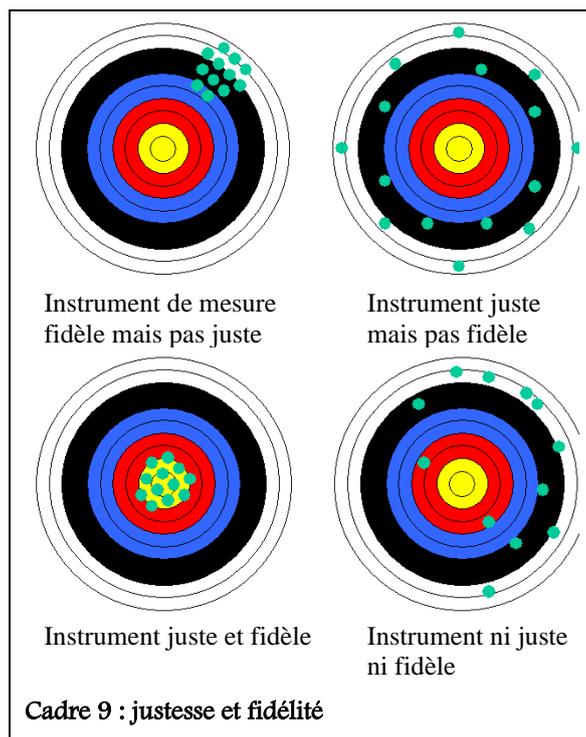
#### 5.1.3. Résolution de la mesure

La résolution de l'affichage est de 0,01  $\mu\text{m}$ , mais la résolution de la mesure est estimée (par le constructeur) à 10 fois la répétabilité soit 5  $\mu\text{m}$ .

Un déplacement de 5  $\mu\text{m}$  provoque une variation de la réponse analogique de 1,25 mV.

Quelle définition donnez-vous de la résolution de la mesure ?

- a) Calculer le quantum de la carte d'acquisition utilisée sachant qu'il s'agit d'un convertisseur analogique/numérique 16 bits ?
- b) Quel est le plus petit déplacement détectable avec cette carte d'acquisition ? La carte est-elle adaptée à la résolution ?



### 5.2. INFLUENCE DU MATERIAU SUR LES MESURES

a) Pour chaque pièce, comparer la mesure au micromètre avec la mesure relevée à l'aide du capteur. Dire pour chaque matériau si la mesure est acceptable ou non. Pourquoi ?

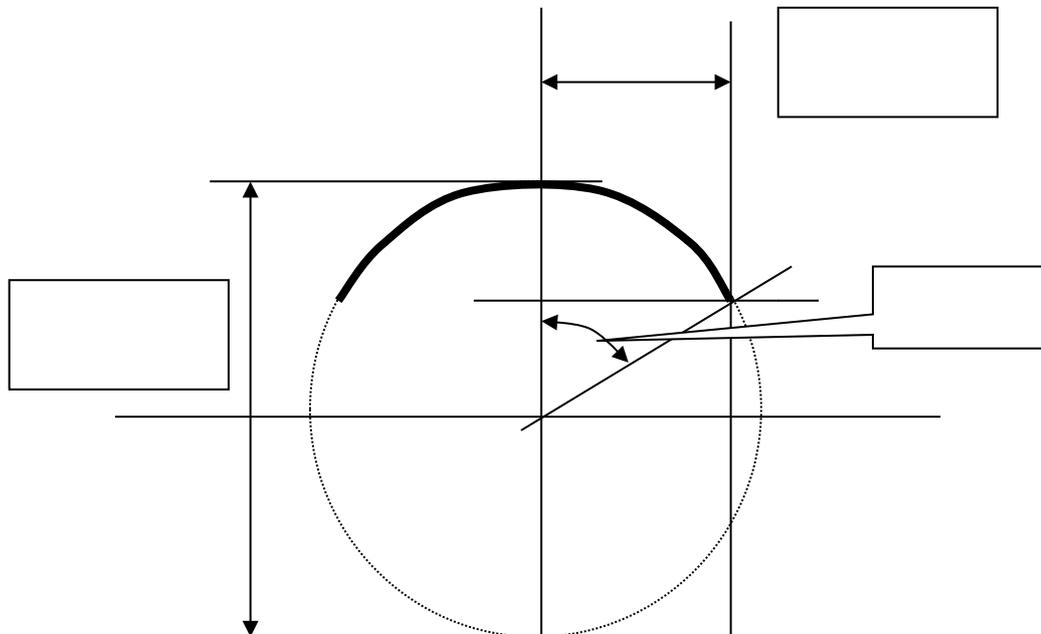
Pièce	N° de la pièce	Valide oui/non	Pourquoi
PVC translucide			
PVC translucide orange			
PVC rouge			
PVC jaune			
PVC Blanc			
Tôle noire			
Cale 3mm			
Pièce Aluminium			

b) A partir de la forme du signal relever en 4.3.2, justifier le fait qu'une mesure soit exacte ou non.

### 5.3. FORMES LIMITES MESURABLES

Dans le cas de la mesure du cylindre de diamètre compris entre 10 mm :

- a) Comparer les valeurs relevées par le capteur au diamètre mesuré sur la pièce.
- b) La mesure de diamètre est-elle correcte ?
- c) En déduire l'angle limite de mesure dans le plan perpendiculaire au faisceau en complétant le schéma ci-dessous.



### 5.4. Problématique

La société Polydistechnologie fabrique des plaques à graver en PVC de différentes couleurs. Pour contrôler l'épaisseur lors de la fabrication, cette société souhaite acquérir un capteur Keyence.

Peut-on, avec ce système, contrôler l'épaisseur de l'ensemble des plaques à graver, sachant que, celles-ci ont une épaisseur de  $2.42 \pm 0.01$  mm, et les couleurs possibles sont : rouge, jaune, blanc et noir. ? (Argumenter votre réponse)