

1 Contrôle d'un produit cylindrique

Un imprimeur souhaite inspecter l'état de surface du papier qu'il fabrique afin d'y détecter d'éventuels défauts (traces, trous, déchirures...) et contrôler la qualité et la conformité de l'impression.

Lors de sa fabrication, le papier défile en continu pour être finalement conditionné en bobine. Plusieurs cylindres permettent au papier de défiler et de rester tendu pendant les différentes étapes de sa fabrication.

L'objectif de cette application est de détecter les motifs colorés imprimés sur le papier afin de contrôler leur présence, leur aspect et leur dimension ainsi que les défauts qui peuvent apparaître.

L'image de la figure 1 montre une partie du papier qui défile.

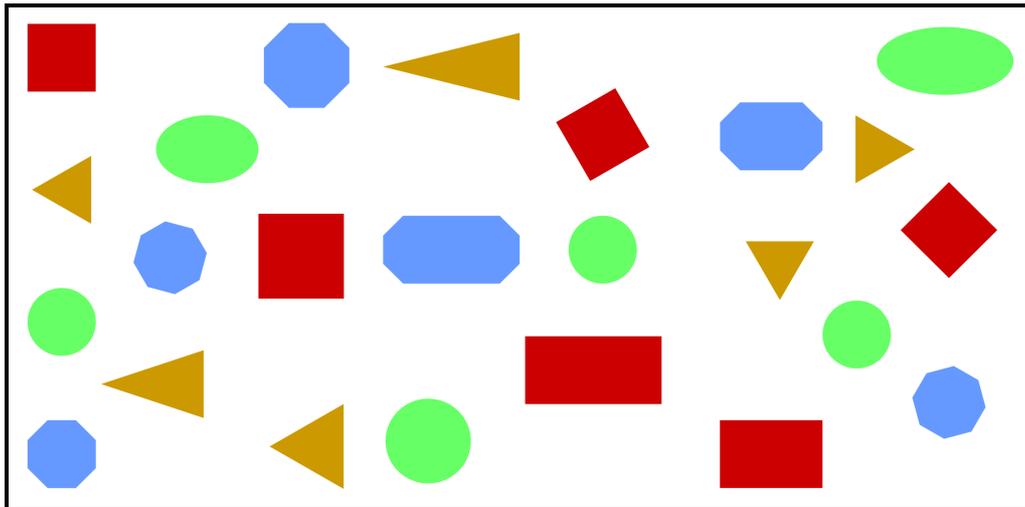


Figure 1 – Image d'une feuille de papier à inspecter.

Quatre type de motifs colorés apparaissent sur cette feuille :

- des rectangles de couleur rouge (dont 1 carré de côté égal à 4 cm),
- des ellipses de couleur verte (dont 1 cercle de diamètre égal à 4 cm),
- des hexagones de couleur bleue,
- des triangles de couleur jaune.

Le papier à inspecter possède une largeur $L = 42$ cm et son contrôle est effectué en fin de ligne de production avant son conditionnement lorsque le papier est mis en rotation autour d'un des cylindres de diamètre $\Phi = 226,5$ mm et de hauteur $H = 500$ mm.

Afin de contrôler en continu le papier qui défile, on propose d'utiliser un système de vision linéaire. La caméra linéaire observe ainsi la largeur du papier maintenu tendu autour de ce cylindre.

La caméra utilisée est une caméra numérique de marque Tattile, fabricant italien. C'est une caméra quadrilinéaire (capteur Kodak KLI-4104 possédant 1 ligne monochrome et 3 lignes pour la couleur) de modèle « Tapix LXD 8000@14000 », à monture F et au standard Camera Link. La figure 2 montre cette caméra.

Les principales caractéristiques des deux types de capteur utilisés dans cette caméra sont données dans le tableau 1.



Figure 2 – Caméra Tapix LXD 8000@14000.

Capteur	Monochrome	Couleur
Résolution R_T	8160	4080 ($\times 3$)
Fréquence ligne maximale F_{max}	14 kHz	7 kHz
Taille $c \times c$ des pixels	$5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$	$10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$

Tableau 1 – Principales caractéristiques des deux types de capteur de la caméra utilisée.

Le système de vision linéaire est bâti autour d'une architecture PC intégrant une carte d'acquisition d'images (voir figure 3).



Figure 3 – Carte d'acquisition au format Camera Link.

La carte d'acquisition utilisée est la carte « Grablink Avenue » de marque Euresys. Cette carte, au format PCI, permet d'échanger les données avec une caméra au standard Camera Link en configuration de base. Elle dispose d'une mémoire de 32 Mo.

La fréquence pixel maximale de la carte est de 85 MHz sur 24 bits (3×8) en configuration de base. Elle dispose de 4 entrées / sorties logiques, 2 entrées / sorties différentielles et d'une sortie opto-isolée permettant de recevoir et synchroniser des signaux de codeurs et/ou de triggers.

1) Après avoir calculé la taille C du capteur monochrome, déterminer la distance de travail D à laquelle il faut placer la caméra pour observer toute la largeur L du papier sur l'image-ligne acquise sachant qu'un objectif de focale $f = 35 \text{ mm}$ est monté sur cette caméra.

2) Pour chacun des deux types de capteur (monochrome et couleur) déterminer R_{max} , le nombre

maximum d'images-lignes qui peuvent être stockées dans la carte d'acquisition si on suppose que chaque composante est codée sur 8 bits et en déduire la taille de l'image correspondante.

Acquisition monochrome sans codeur

Dans un premier temps, nous utilisons le capteur monochrome de la caméra en mode « free run ». Dans ce mode, F , la fréquence ligne de la caméra, est égale à l'inverse du temps d'exposition T_e . La caméra envoie ainsi à la carte d'acquisition des images-lignes successives à la fréquence F de manière continue. Le temps d'exposition qui est saisi dans la caméra est un multiple de $1/30 \mu s$.

3) Sachant que la longueur de la ligne de visée de la caméra est égale à la largeur L du papier, donner l'expression de la précision transversale P_T théorique en fonction de la résolution R_T de la caméra et la dimension L du produit à inspecter. Calculer P_T en mm/pixel.

4) Donner l'expression de la vitesse linéaire de défilement V de telle sorte que la précision longitudinale soit égale à la précision transversale ($P_L = P_T$). Exprimer ainsi V en fonction de la fréquence d'acquisition F de la caméra, la résolution R_T de la caméra et la dimension L du produit à inspecter. Calculer V en m/min dans les cas suivants :

- $F = F_{max}$,
- $F = 10 \text{ kHz}$,
- $F = 5 \text{ kHz}$,
- $F = 2 \text{ kHz}$,
- $F = 1 \text{ kHz}$.

5) Pour chacune des fréquences précédentes, calculer le temps d'exposition correspondant ainsi que la valeur à saisir dans la caméra pour obtenir cette fréquence et conclure sur l'intérêt et les conséquences de diminuer la fréquence d'acquisition F .

6) Donner l'expression de la résolution longitudinale R_L (nombre de lignes par tour) en fonction de la fréquence d'acquisition F de la caméra et la vitesse de défilement V du produit à inspecter. En déduire l'expression de R_L de telle sorte que la précision longitudinale soit égale à la précision transversale ($P_L = P_T$). Exprimer ainsi R_L en fonction du diamètre Φ du rouleau, de la résolution R_T de la caméra et la dimension L du produit à inspecter. Calculer R_L et comparer cette valeur avec R_{max} .

Acquisition monochrome avec codeur

Un codeur incrémental de résolution $N = 5000$ points est couplé à l'arbre moteur entraînant le cylindre. Ce codeur envoie ainsi à la carte d'acquisition 5000 impulsions par tour.

L'acquisition des images-lignes est maintenant synchronisée avec chaque front du signal issu du codeur incrémental et relié à la carte d'acquisition.

7) Donner l'expression de la précision longitudinale P_L théorique en fonction du diamètre Φ du rouleau et de la résolution N du codeur incrémental quand celui-ci est utilisé pour déclencher l'acquisition des images-lignes. Calculer P_L en mm/pixel.

8) En déduire l'expression de la résolution N' du codeur incrémental de telle sorte que la précision longitudinale soit égale à la précision transversale ($P_L = P_T$). Exprimer ainsi N' en fonction du diamètre

Φ du rouleau, de la résolution R_T de la caméra et la dimension L du produit à inspecter. Calculer N' et conclure sur la possibilité d'avoir $P_L = P_T$.

9) Donner l'expression de la vitesse linéaire de défilement maximale V_{max} du produit à inspecter en fonction de la fréquence d'acquisition F de la caméra, du diamètre Φ du rouleau et de la résolution N du codeur incrémental afin d'acquérir toutes les images-lignes demandées par le codeur. Calculer V_{max} en m/min dans les cas suivants et conclure :

- $F = F_{max}$,
- $F = 10$ kHz,
- $F = 5$ kHz,
- $F = 2$ kHz,
- $F = 1$ kHz.

Acquisition couleur

On se propose enfin d'utiliser le capteur couleur de la caméra afin d'identifier les couleurs des motifs imprimés sur la feuille. Ce capteur couleur est un capteur tri-linéaire. Il utilise donc trois capteurs linéaires positionnés côte à côte et espacés d'une distance d de $90 \mu\text{m}$. Chacun de ces capteurs est respectivement équipé d'un filtre rouge, vert et bleu pour reconstituer la couleur d'un pixel. L'inconvénient de cette technologie est que chacun de ces capteurs observe un ligne de visée différente lors de l'acquisition d'une image-ligne couleur.

10) Faut-il modifier la distance de travail D si on utilise ce capteur ? Expliquer pourquoi en justifiant votre réponse par calcul.

11) Calculer la précision transversale P'_T théorique en mm/pixel obtenue avec ce capteur sachant que la longueur de la ligne de visée de la caméra est égale à la largeur L du papier.

12) Peut-on obtenir une précision longitudinale P'_L égale à la précision transversale P'_T avec ce capteur si l'on souhaite acquérir toutes les images-lignes demandées par le codeur incrémental ? Expliquer pourquoi en justifiant votre réponse par calcul.

2 Contrôle d'un produit plat en défilement continu

Le verre plat pour l'automobile et le bâtiment est produit en continu sur une ligne appelée *float*. Cette technique consiste à faire flotter, à la sortie du four, le ruban de verre en fusion sur un bain d'étain liquide. Ainsi fabriqué, le verre n'a plus besoin de polissage ou de doucissage. Il peut être directement découpé.

A la sortie du bain, le ruban de verre est refroidi lentement et sous contrôle de 650°C à environ 150°C dans un tunnel de refroidissement long de 100 mètres appelé *étendrie*.

Lors de la fabrication du verre, sur la ligne float, les défauts de matière sont détectés par un système d'inspection en-ligne et marqués au moyen de taches d'encre ou de peinture. Ensuite, le ruban de verre est découpé en plateaux qui sont finalement stockés.

Ces plateaux de grandes dimensions sont ensuite découpés en *primitifs* de forme rectangulaire ou trapézoïdale aux dimensions requises pour la fabrication du produit final. Si une tâche de marquage est visible sur le primitif, il faut éliminer celui-ci car il est défectueux.

Pour cela, la société **Lord ingénierie** propose un système de vision inspectant les plateaux de verres plats avant leur découpe afin de détecter et d'éliminer ceux qui présente des défauts et qui ont donc été marqués pendant leur fabrication.

Ce système de vision utilise une caméra CCD linéaire CNL5150V numérique **Lord ingénierie** qui possède les caractéristiques suivantes :

- nombre de pixels : $N = 5150$ pixels,
- dimension du côté d'un pixel : $c = 7\ \mu\text{m}$,
- fréquence ligne maximum : $F = 3,7\ \text{kHz}$,
- sensibilité spectrale relative (voir figure 4) :

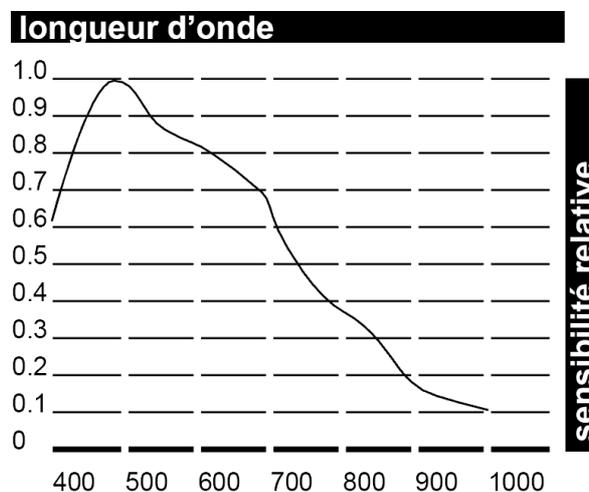


Figure 4 – Sensibilité spectrale relative de la caméra CNL5150V.

Les caractéristiques du produit à inspecter sont les suivantes :

- largeur maximale du verre : $L = 2,2\ \text{m}$,
- taille minimale du marquage : $M = 5 \times 5\ \text{mm}$,
- vitesse maximale de convoyage : $V = 80\ \text{m/mn}$.

1) En supposant que le champs de visée de la caméra contient la largeur maximale du verre à contrôler, quelles sont, en millimètres par pixel, la précision transversale P_T et la précision longitudinale P_L de ce

système de vision ? Combien de pixels minimum représente alors un défaut ?

2) A quelle distance D faut-il placer la caméra si nous choisissons un objectif de focale $f = 40$ mm ? Que se passe-t-il si la caméra est placée à 2 m et que faut-il faire pour remédier au problème alors rencontré ? **La réponse doit être justifiée par calcul.**

3) Quel système d'éclairage utiliseriez-vous pour mettre au mieux en évidence les marquages sur le verre sachant qu'il est possible d'installer le système entre deux convoyeurs successifs ? Indiquer en particulier la géométrie d'éclairage utilisée, la forme et la taille des sources lumineuses ainsi que leur nombre. Sur un schéma, représenter la position et l'orientation des sources lumineuses et de la caméra par rapport au produit inspecté.

Nous supposons dans un premier temps que la source d'éclairage est une source halogène. L'image de la figure 5 représente une ligne avec un marquage localisant la présence d'un défaut. Les images acquises

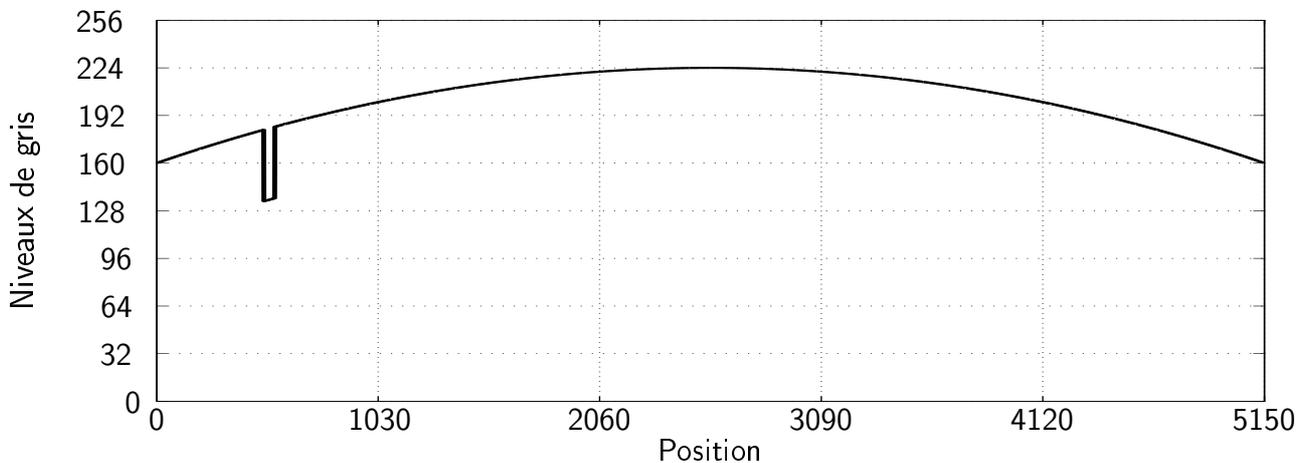


Figure 5 – Image ligne avec marquage.

sont codées sur 256 niveaux de gris. La binarisation est a priori l'opération la plus simple pour détecter ce marquage.

4) Expliquer le phénomène observé sur l'image ligne de la figure 5 et ses origines.

5) En choisissant correctement votre seuil pour détecter le marquage, représentez le résultat de la binarisation sur l'image ligne de la figure 5. Connaissant la taille minimale d'un marquage, comment peut-on alerter l'opérateur en conséquence ?

L'image de la figure 6 représente l'acquisition d'une ligne sans marquage et l'image de la figure 7 représente une ligne avec un autre marquage.

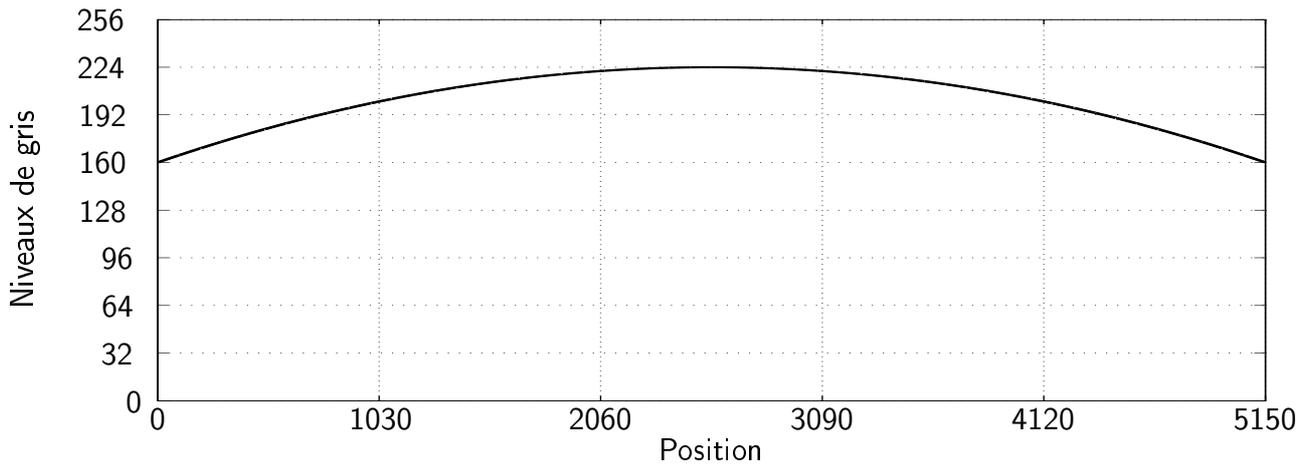


Figure 6 – Image ligne sans marquage.

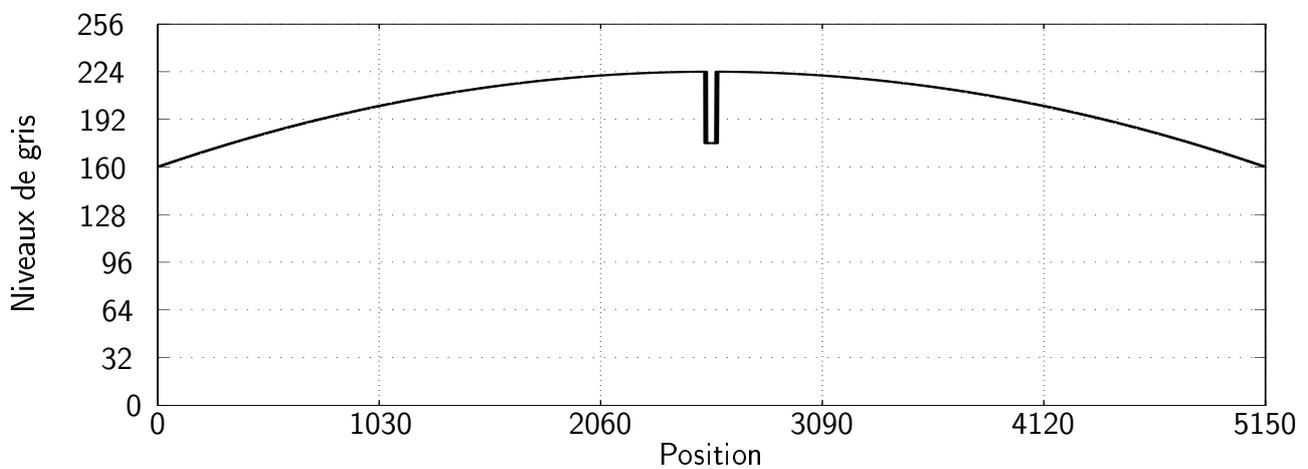


Figure 7 – Image ligne avec marquage.

6) Représentez le résultat de la binarisation sur l'image ligne de la figure 7 avec le seuil précédent. Quelles sont les limites de la binarisation précédente dans le cas où la ligne acquise est celle de la figure 7 ? Proposez et expliquez le **plus précisément possible DEUX** solutions pour pallier ce problème.

Nous supposons maintenant que la source d'éclairage est une source fluorescente.

7) Quels phénomènes allons-nous alors observer sur les images acquises ? Expliquez le **plus précisément possible** par quelle méthode les marquages peuvent néanmoins être détectés et l'opérateur alerté ?