Vision industrielle
Les outils logiciels de vision

Introduction

- Systèmes programmables
  - Programmation dans un langage informatique en utilisant des bibliothèques de fonctions.
  - Nécessite la maîtrise d'un langage de développement mais permet de réaliser n'importe quelles fonctions.
- Systèmes configurables (ou paramétrables)
  - Configuration et paramétrage d'outils spécifiques à un traitement via un logiciel dédié.
  - Ne nécessite pas de connaissances très approfondies en informatique mais se limitent aux seuls outils proposés.

Mise en œuvre

1. Configuration de l'acquisition
   - Paramétrer le matériel (choix caméra, temps d'intégration, temps de cycle, …)
   - Configurer les entrées / sorties (trigger, encodeur, stroboscope, …)
   - Régler l'image visuellement en ajustant les éléments matériels du système
   - Choisir une image de référence
   - Définir une zone (ou région) d'intérêt (ROI)
   - Définir des LUT (opérations ponctuelles)

Mise en œuvre

2. Prétraitement et calibration
   - Les prétraitements permettent de préparer l'image à son analyse.
   - La calibration permet de déterminer une correspondance entre les mesures effectuées sur l'image et l'objet réel.
3. Détection
   - Les outils de recalage permettent de définir un repère relatif à l'objet contenu dans l'image afin de placer ensuite les outils de vision par rapport à ce repère.

Mise en œuvre

4. Contrôle et inspection
   - Contrôle de conformité d'assemblage, contrôle d'aspect, contrôle dimensionnel, comptage et tri, pilotage de machines ou de robots, identification.
5. Exploitation des résultats
   - Activer les sorties du système de vision selon différents modes : écriture d'une valeur, envoie d'une impulsionnelle ou inversion de l'état de la sortie.
   - Envoyer des données via un port série ou sur un réseau suivant différents protocoles de communication. Ces données sont archivées dans une base de données et affichées sur une interface homme-machine dédiée.

L'image numérique

- Rappel
  - C'est une matrice de $X \times Y$ pixels (picture element) correspondant à l'échantillonnage et la quantification d'un signal acquis avec une caméra.
  - Chaque pixel est associé à un niveau de gris (ou de couleur) n codé sur N bits (généralement 8 bits).
  - Chaque pixel est localisé par ses coordonnées x et y dans un repère image (en haut à gauche par convention).

L’image numérique

- Exemple

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	4	5	5	5	5	4	1
2	1	5	6	6	6	6	5	1
3	1	5	6	2	2	6	5	1
4	1	5	6	2	2	6	5	1
5	1	5	6	6	6	6	5	1
6	1	4	5	5	5	5	4	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1

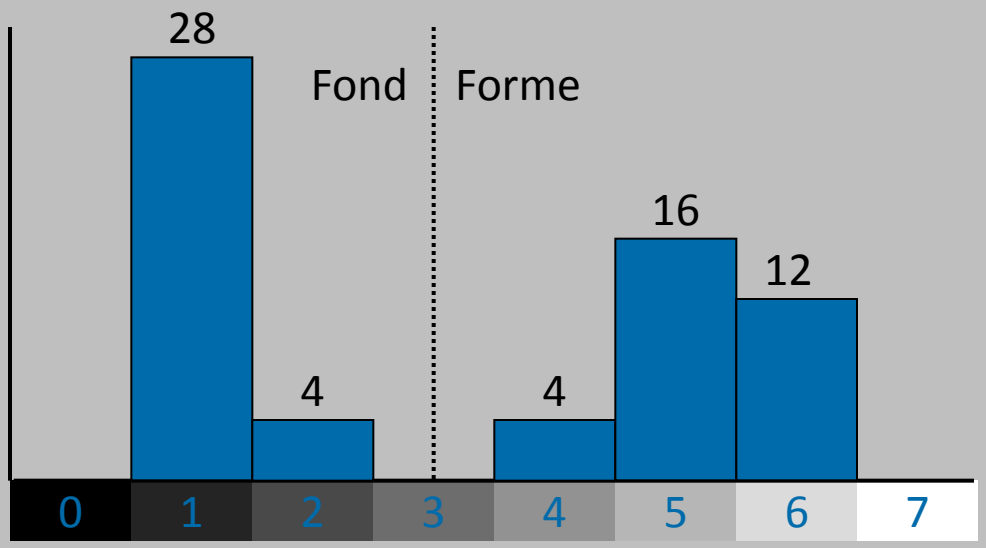
Image à niveaux de gris
de taille 8×8
codée sur 3 bits

L'histogramme

- Définition
  - C'est une représentation statistique de l'image. Il représente la densité de probabilité de voir apparaître dans l'image un pixel de niveau de gris *n*.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	4	5	5	5	5	4	1
1	5	6	6	6	6	5	1
1	5	6	2	2	6	5	1
1	5	6	2	2	6	5	1
1	5	6	6	6	6	5	1
1	4	5	5	5	5	4	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Image 3 bits



Les outils de vision

- Les outils de prétraitement
  - Les opérations ponctuelles
  - Les opérations de voisinage
- Les outils de détection de contours
- Les outils de détection de régions
- Les outils de reconnaissance des formes
  - La recherche de motifs
  - La classification
- Les outils d'identification et de vérification
- Autres outils de vision (calibration, recalage…)

Les outils de prétraitement

- Objectifs
  - **Restaurer** et **améliorer** l'image (atténuer le bruit, corriger la mise au point, corriger la distorsion, corriger les défauts d'éclairage…)
  - Mettre en évidence les zones d'intérêt afin de préparer à l'analyse (extraire des régions ou des contours, déterminer les propriétés fréquentielles de l'image…)
  - Les opérateurs peuvent être **ponctuels** comme les transformations d'histogramme ou tenir compte du **voisinage**.

Opérations ponctuelles

- Les opérations ponctuelles transforment les niveaux des pixels de l'image.
- Elles correspondent à une LUT ou à une transformation sur l'histogramme :
  - le recadrage dynamique,
  - l'égalisation et la spécification d'histogramme,
  - la correction gamma,
  - l'addition et la soustraction,
  - la multiplication (ou la division),
  - la binarisation et le seuillage,
  - l'inversion vidéo…

Opérations ponctuelles

- Exemple
  - Binarisation
    - Cette opération a pour but de séparer en deux classes les pixels de l'image à l'aide d'un seuil. Lorsque plusieurs seuils sont utilisés, plusieurs classes de pixels sont créées et on parle de seuillage.

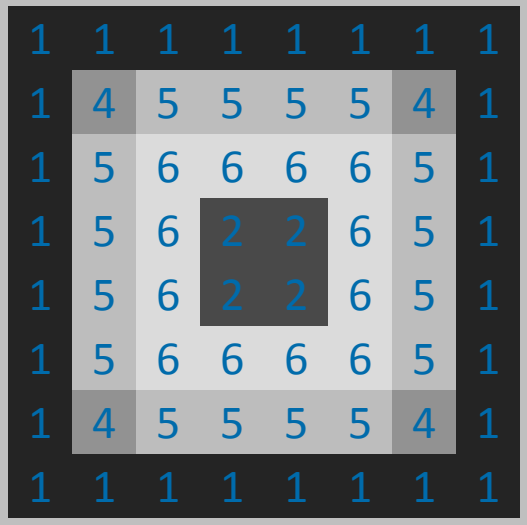


Image monochrome

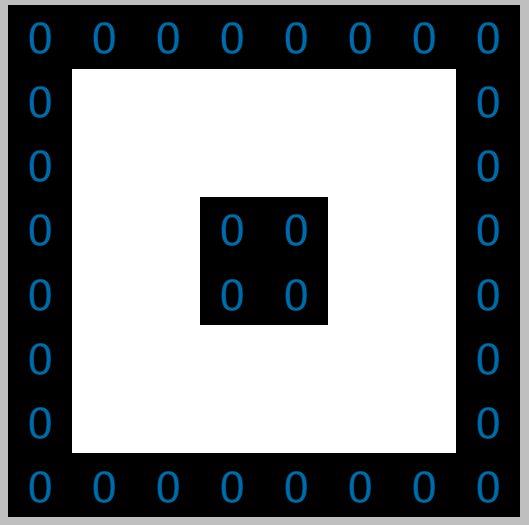


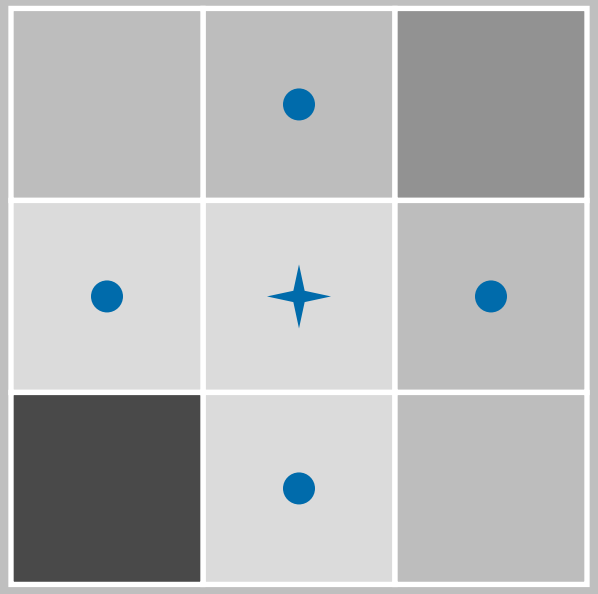
Image binaire

Opérations de voisinage

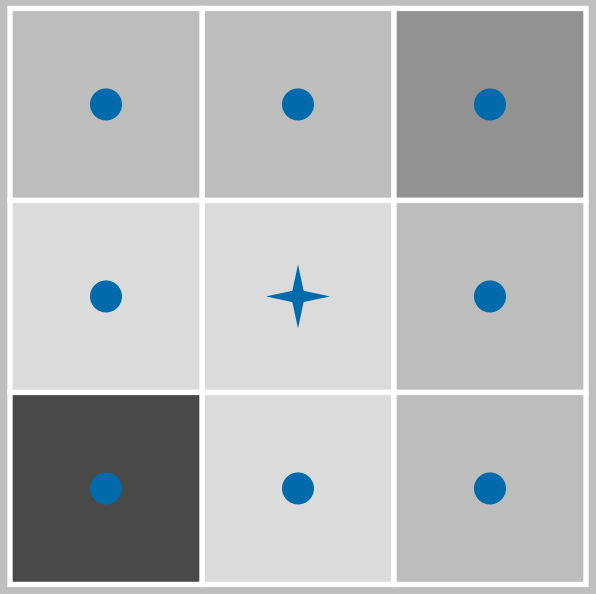
- Les opérations de voisinage prennent en compte les niveaux des pixels voisins du pixel traité afin d'en modifier son niveau.
- Elles correspondent à des opérations de filtrage :
  - Les opérations de **filtrage linéaire** sont basées sur la convolution.
  - Le **filtrage médian** utilise un filtre d'ordre non linéaire.
  - Le **filtrage morphologique** modifie les formes dans l'image à l'aide d'éléments structurants.

Opérations de voisinage

- Voisinage



Voisinage 4-connexité



Voisinage 8-connexité

Opération de voisinage

- Exemple
  - Filtre médian
    - Filtre non linéaire permettant d'éliminer la présence de valeurs aberrantes comme les perturbations impulsionnelles

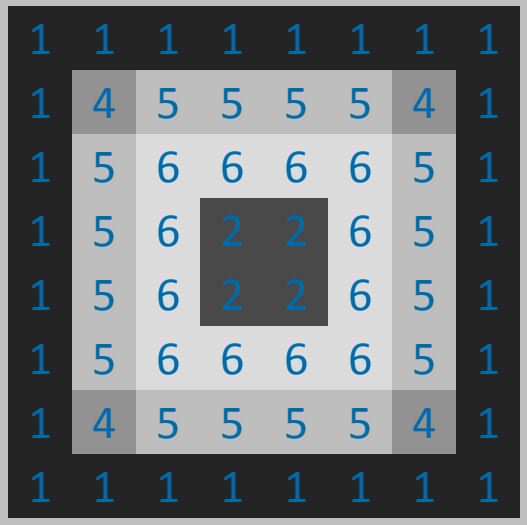


Image monochrome

- Stockage des niveaux de gris dans un voisinage donné
- Choix de la valeur centrale
- Affectation de cette valeur au pixel central
- Effet de bord

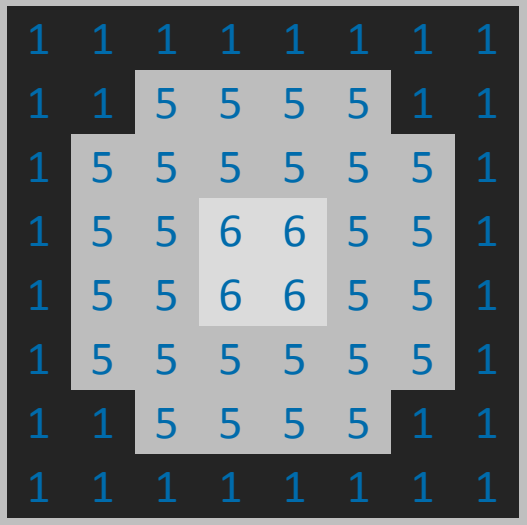
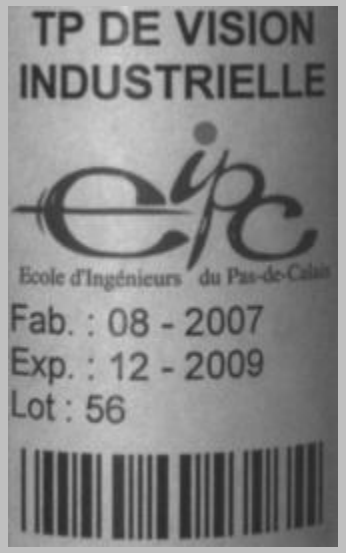
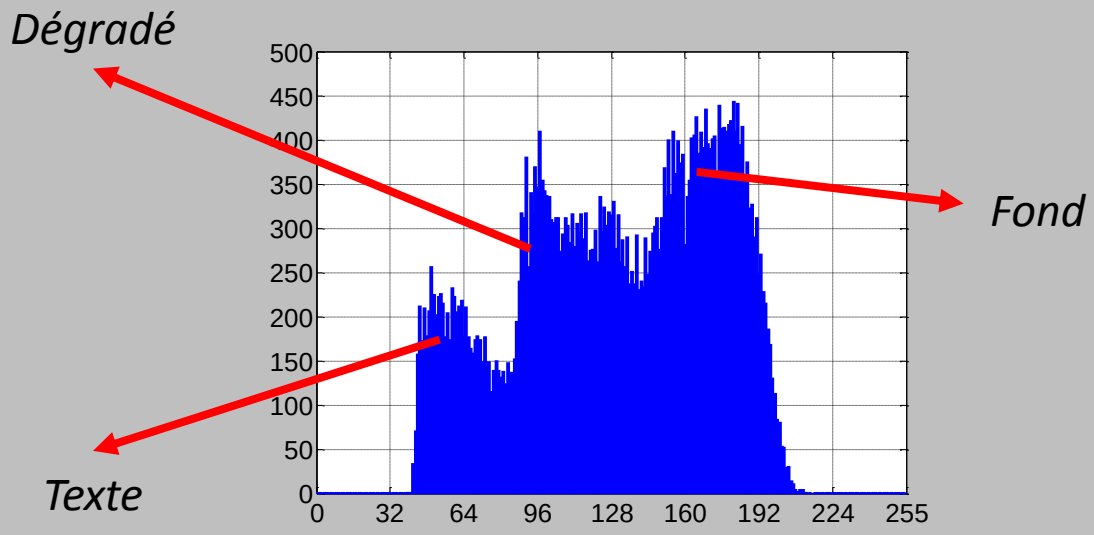


Image filtrée

Application à la correction d'éclairage

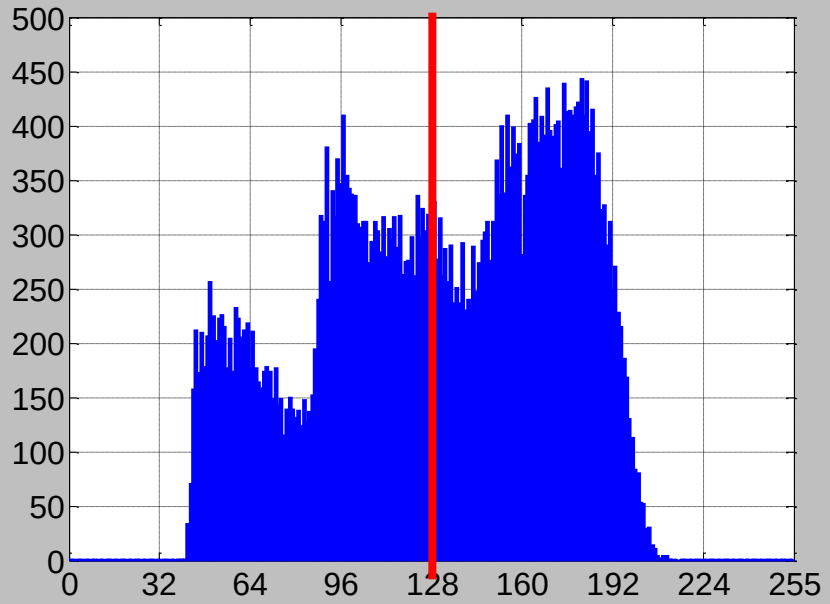
- Exemple
  - Le choix du seuil de binarisation ne permet pas de séparer l'image en deux parties correspondant aux objets et à l'arrière-plan à cause la non uniformité de ce dernier

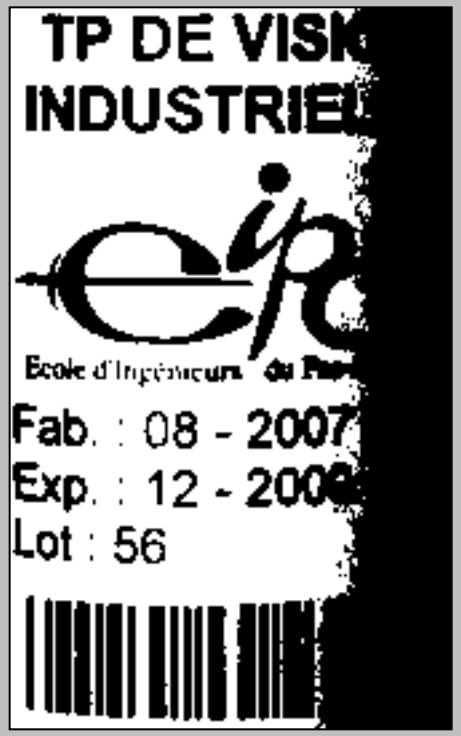




Application à la correction d'éclairage

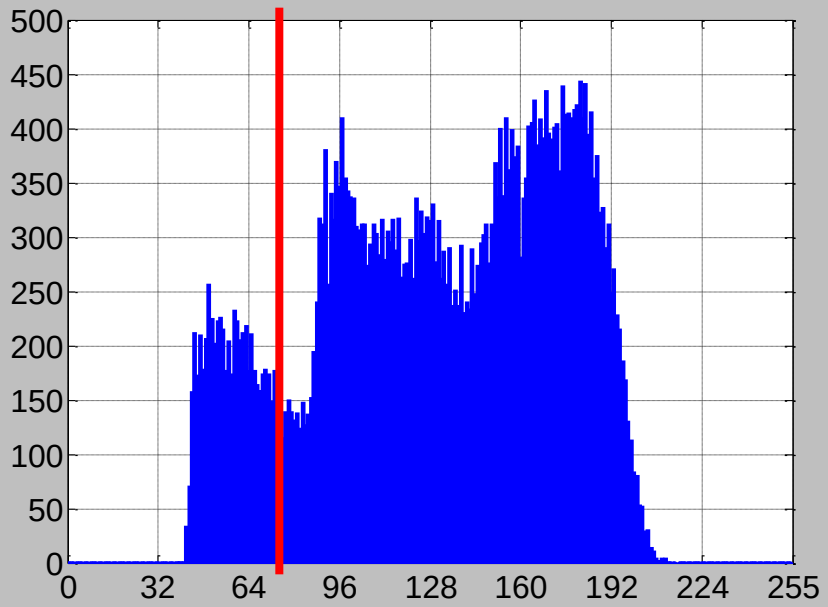
- Application

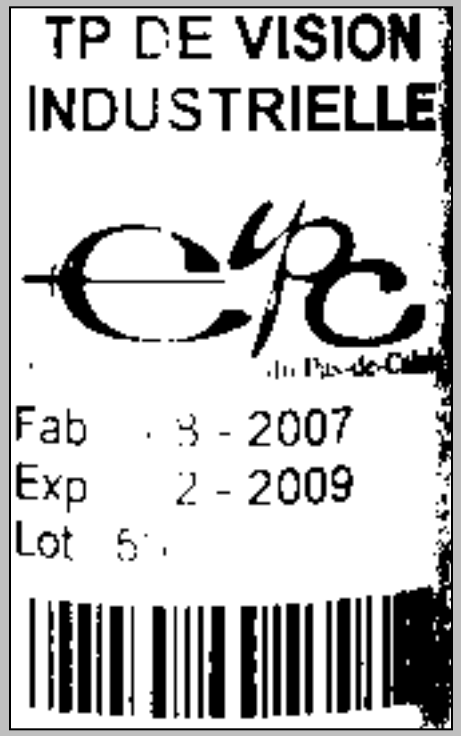




Application à la correction d'éclairage

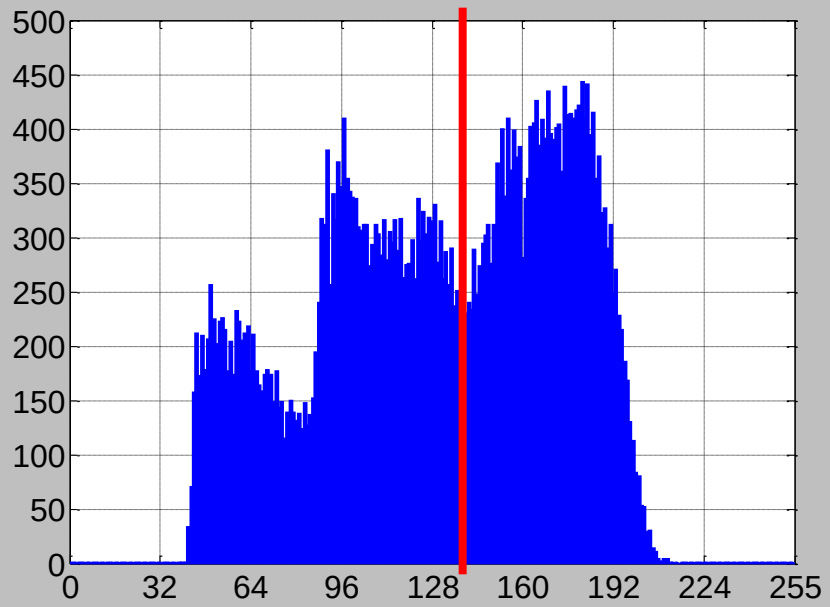
- Influence du seuil

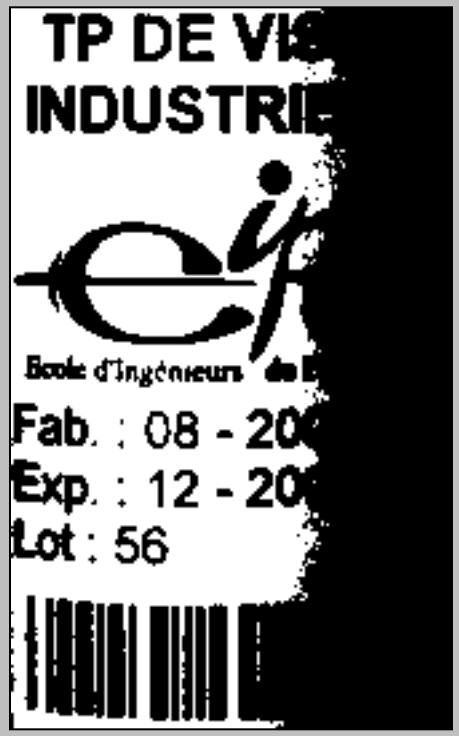




Application à la correction d'éclairage

- Influence du seuil





Application à la correction d'éclairage

- Origine de la non-uniformité
  - Non uniformité de la lumière
  - Non uniformité de la réponse du capteur
  - Défauts d'optique (vignettage)
  - Non-planéité de la surface observée (forme sphérique ou cylindrique)
- Solution basée sur opérateurs ponctuels
  - Soustraction ou multiplication d'image
    - Soustraction d'une **image de référence** représentant le défaut d'éclairage seul avec l'image à traiter.
    - Binarisation

Application à la correction d'éclairage

- Solution basée sur opérateurs de voisinage
  - Ouverture ou fermeture morphologique

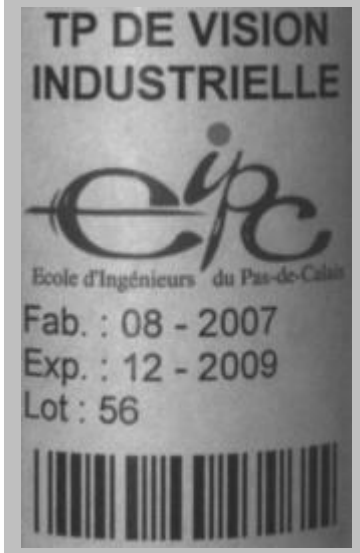
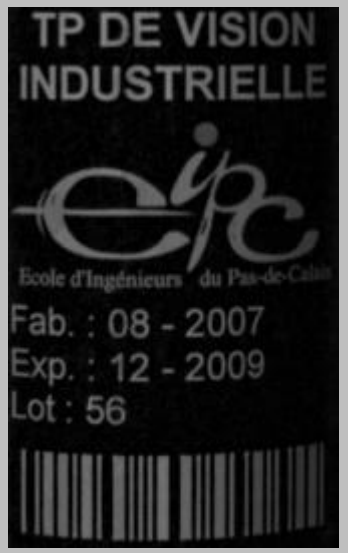
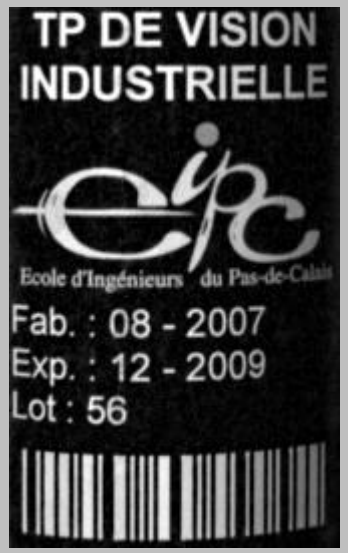


Image I

J = fermeture(I)



K = |J – I|



L = recadrage(K)

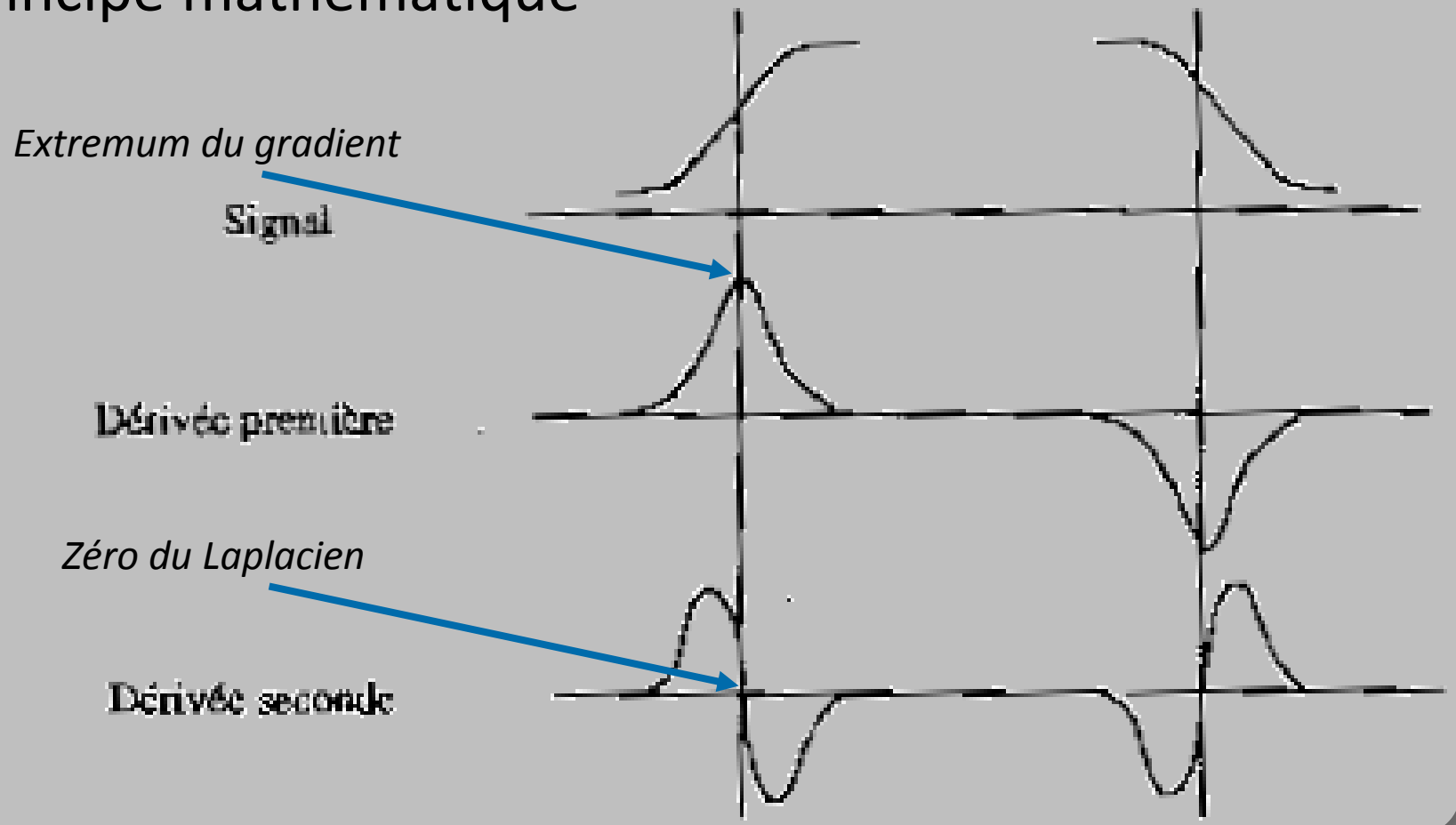
M = binarisation(L)

Les outils de détection de contours

- Principe mathématique
  - Un contour correspond à une variation d'intensité ou à une discontinuité entre les propriétés de deux ensembles de points.
  - Exploitation de la dérivée numérique qui permet d'estimer la variation des niveaux dans une direction donnée (gradient).

Les outils de détection de contours

- Principe mathématique



Les outils de détection de contours

- Pour une fonction croissante
  - La variation s'effectue de sombre ($n \rightarrow 0$) vers claire ($n \rightarrow 255$)
  - La dérivée première est positive,
  - La dérivée première passe par un maximum local au point d'inflexion de la courbe correspondante,
  - Le signe de la dérivée seconde passe du plus au moins au point d'inflexion de la courbe correspondante.

Les outils de détection de contours

- Pour une fonction décroissante
  - La variation s'effectue de claire ($n \rightarrow 255$) vers sombre ($n \rightarrow 0$)
  - La dérivée première est négative,
  - La dérivée première passe par un minimum local au point d'inflexion de la courbe correspondante,
  - Le signe de la dérivée seconde passe du moins au plus au point d'inflexion de la courbe correspondante.

Mise en œuvre

- Les outils de recherche de points de contour (**bords**) analysent la **dérivée** d'un profil moyen défini dans une fenêtre d'analyse (ROI) orientée.
- Le **signe** de la dérivée est utilisé pour déterminer la **polarité** de la transition
- La position du **point d'inflexion** détermine la **localisation** de la transition
- Les **extremums locaux** sont utilisés pour déterminer l'**amplitude** de la transition

Mise en œuvre

- Fenêtre d'analyse (ROI : Region Of Interest)
  - Forme : la forme des bords recherchés conditionne la forme de la fenêtre d'analyse
    - Ligne : point
    - Rectangle : segments, droites, rectangle
    - Anneau : cercle, arc de cercle
  - Orientation : sens dans lequel sont recherchés les bords
- Interpolation subpixel
  - Un traitement subpixel qui utilisent les pixels adjacents à la position détectée permet d'estimer la localisation du contour au 100ème de pixel

Mise en œuvre

Mise en œuvre

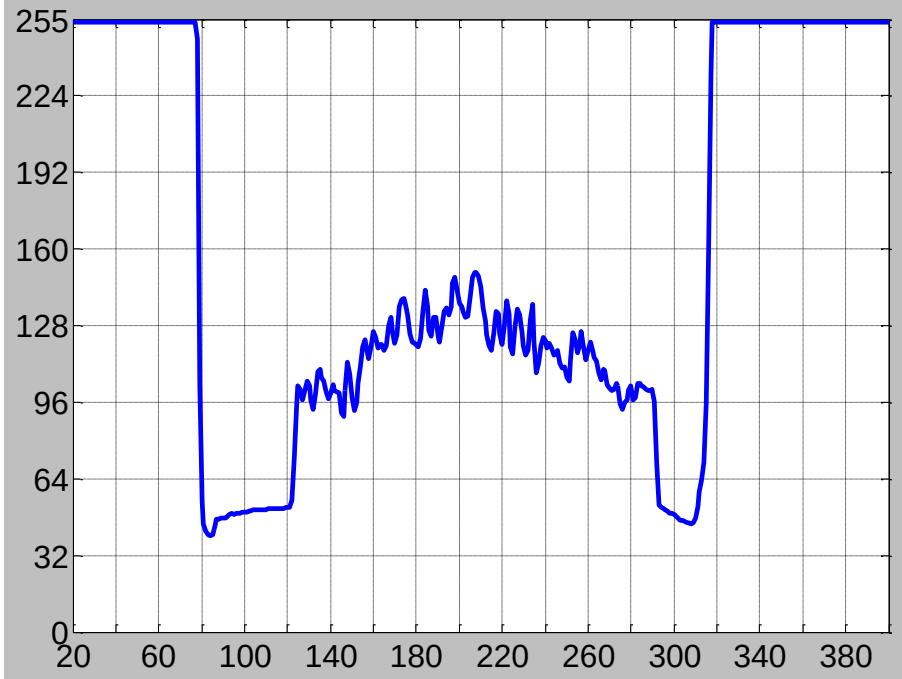
- Calcul de la dérivée première numérique
  - Un profil moyen est d'abord déterminé en calculant la moyenne des niveaux des lignes situées dans la direction d'analyse.
  - Pour calculer la dérivée de ce profil, le produit de convolution discret entre le profil analysé et un filtre numérique est effectué.
  - Le filtre est défini par sa taille et ses coefficients :

-1	0	1

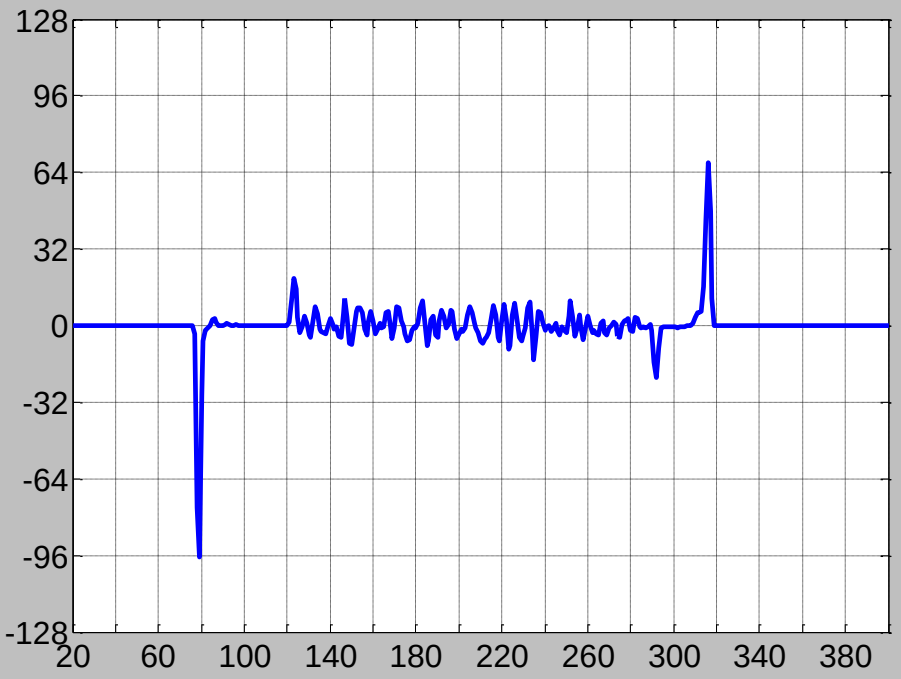
-1	-1	0	1	1

-1	-1	0	0	0	1	1

Mise en œuvre



Profil moyen des lignes de la ROI

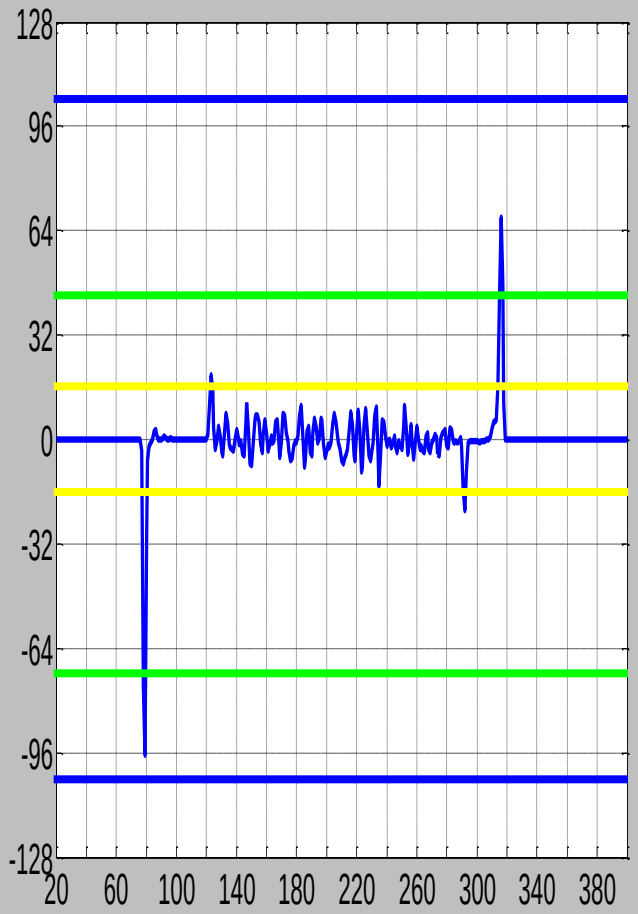


Dérivée du profil

Mise en œuvre

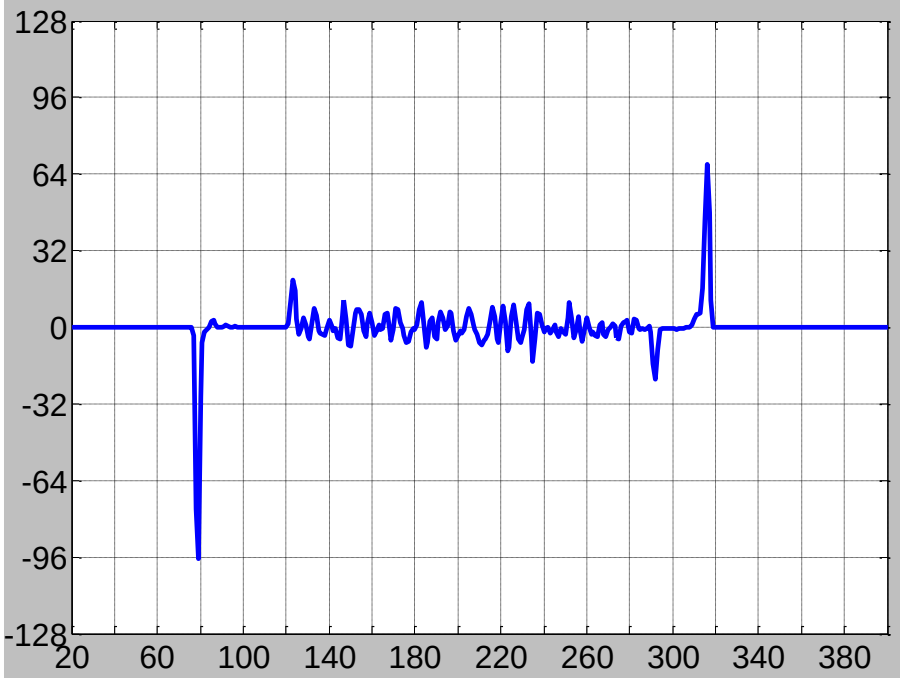
- Détection des bords (points de contour)
  - Les extremums locaux de la dérivée sont déterminés
  - Pour chaque extremum, sa **polarité**, sa **position** et son **amplitude** sont déterminés
  - Contours sélectionnés
    - Les extrema dont l'amplitude est supérieure à un seuil défini par l'utilisateur
    - Les extrema avec la polarité fixé par l'utilisateur
  - Tri des contours
    - Position des transitions par rapport à la direction d'analyse
    - Amplitude des transitions
    - …

Mise en œuvre

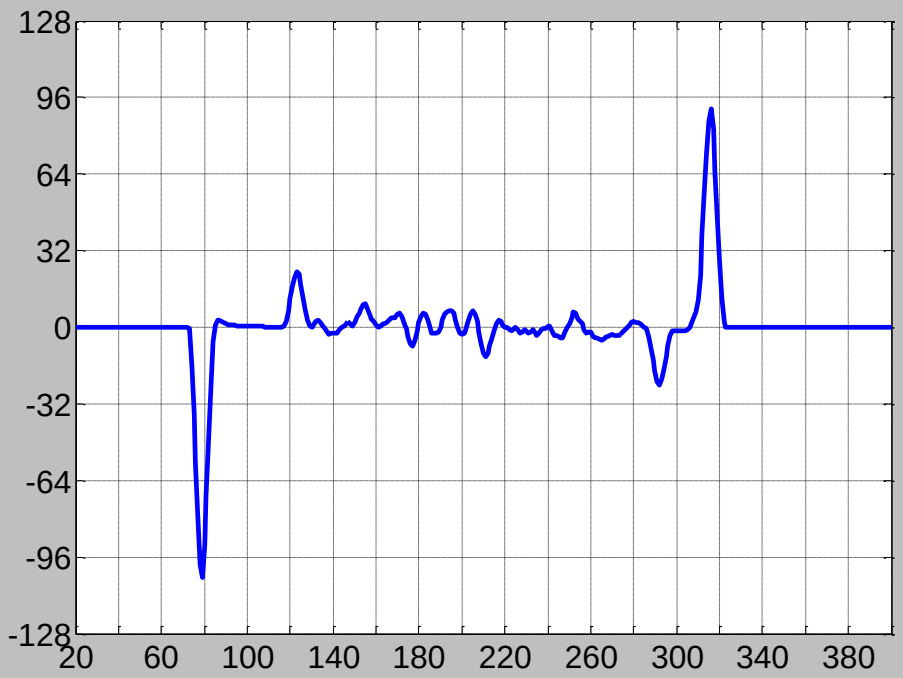


Mise en œuvre

- Taille du filtre



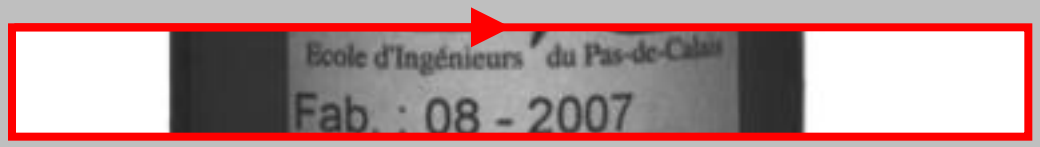
-1	0	1

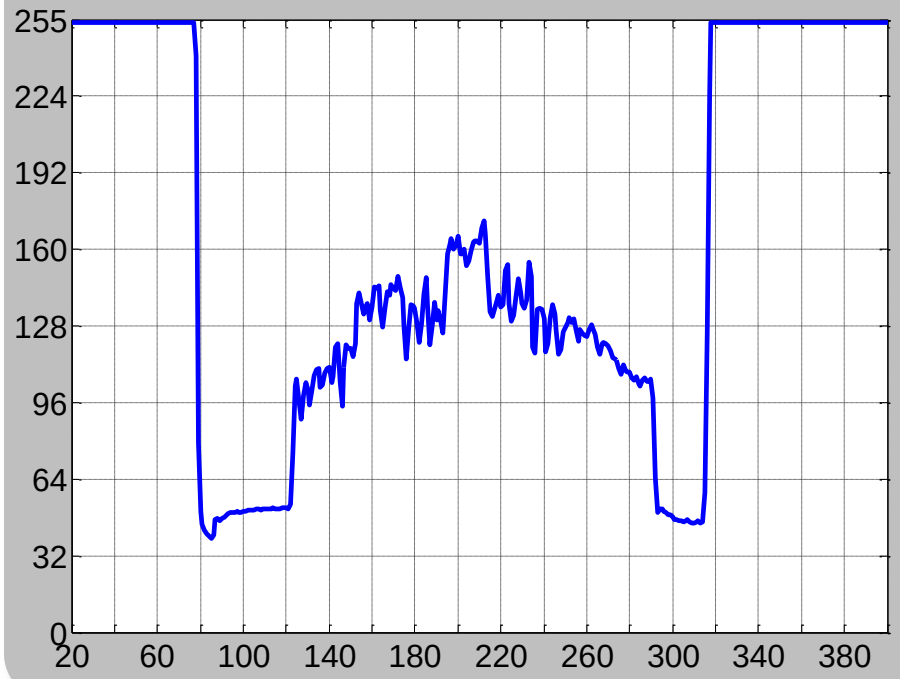


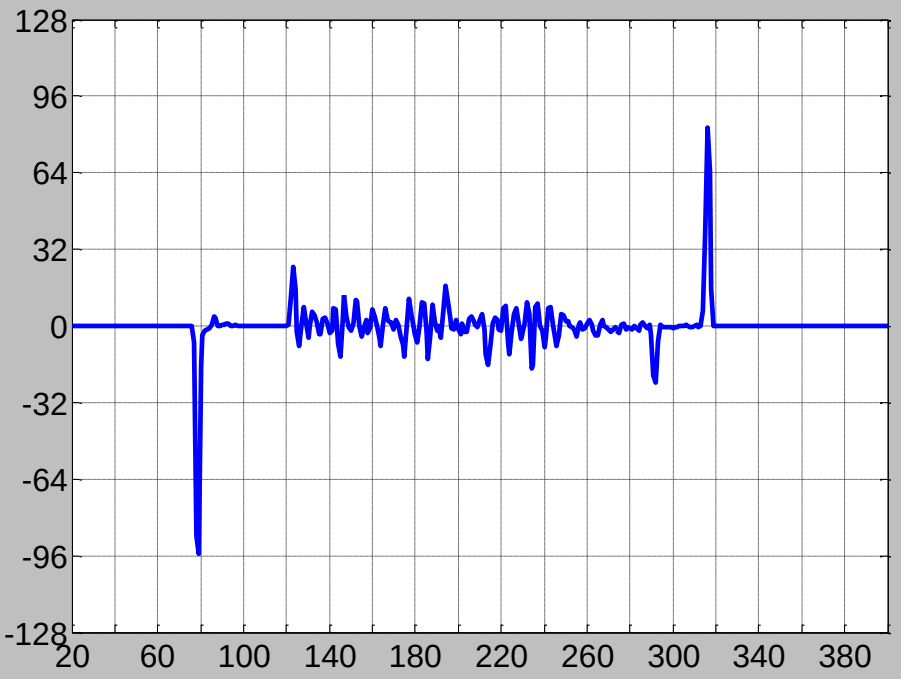
-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1

Mise en œuvre

- Taille de la ROI





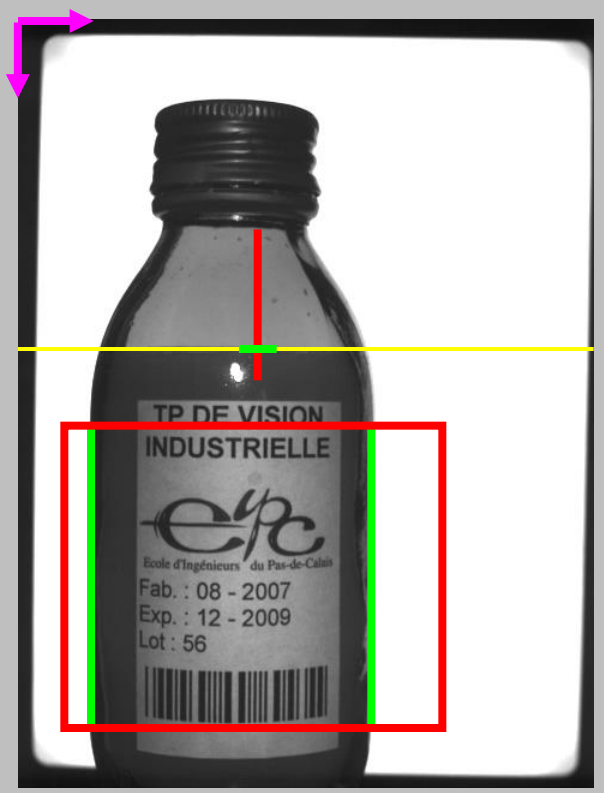


Application

- Application à la détection d'objet

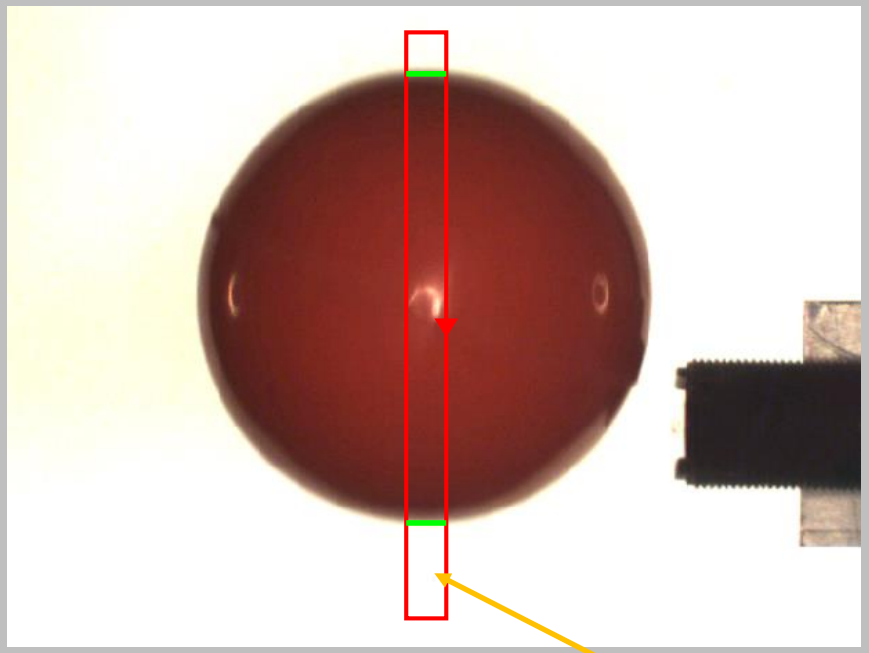
Application

- Application au contrôle dimensionnel

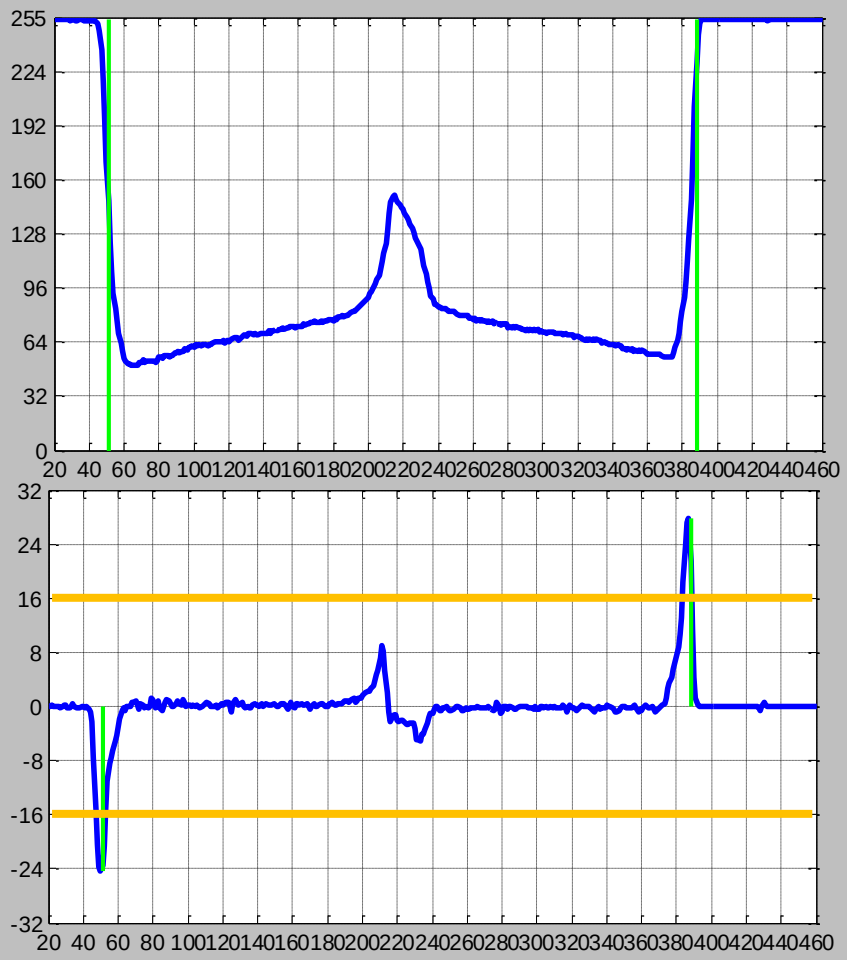


Application

- Autre exemple



ROI (Region Of Interest)
AOI (Area Of Interest)



Les outils de détection de régions

- Définition
  - Une région est un ensemble de pixels connexes ayant des propriétés communes qui les différencient de celles des autres régions.
  - Les régions doivent correspondre à des objets ou des parties d'objets de la scène réelle.
  - Les outils de de détection de régions utilisent des méthodes basée sur la classification de pixels
    - Utilisation de l'histogramme pour déterminer un ou plusieurs seuils
    - Seuillage afin d'extraire des pixels ayant des niveaux de gris proches
    - Opérateurs morphologiques pour reconstruire les régions
    - Étiquetage en composante connexe pour identifier les différentes régions

Les outils de détection de régions

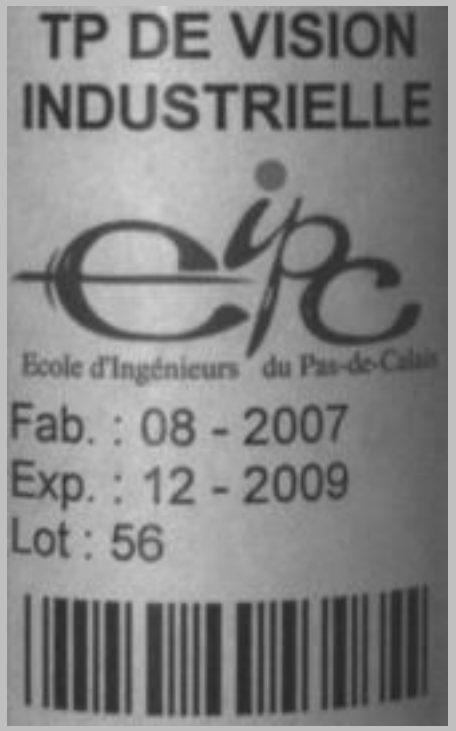
- Le seuillage de l'image
  - Produire une ou plusieurs images binaires
  - Seuillage simple
    - Manuel
    - Automatique : détection de vallées, minimisation de variance, maximisation de l'entropie
    - Dynamique (ou adaptatif)
    - Par pourcentage de population
  - Double seuillage
    - Deux seuils qui définissent un intervalle
  - Multi-seuillage
    - Plusieurs paires de seuils qui définissent plusieurs classes et plusieurs images binaires

Les outils de détection de régions

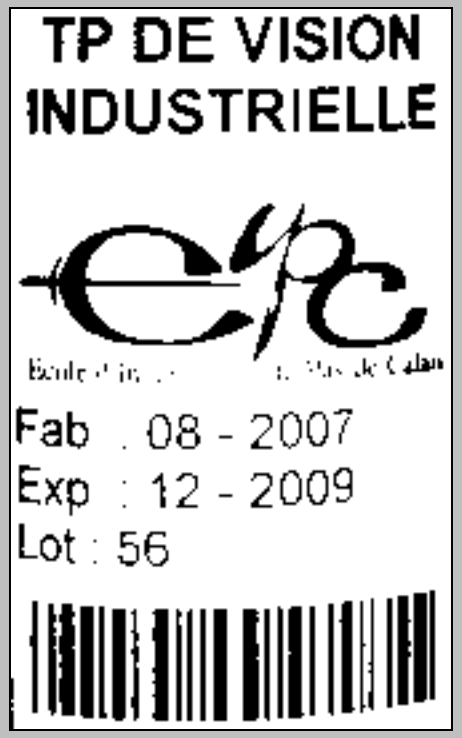
- Analyse en composantes connexes
  - Recherche des groupes de pixels connectés appelés **blobs** (ou composantes connexes) en fonction d'un voisinage (4-connexité, 8-connexité, …)
  - Chaque blob est ainsi identifié (étiqueté)
  - Différentes caractéristiques peuvent être mesurées sur chaque blob (surface, périmètre, angle, …)
  - Les blobs détectés peuvent être sélectionnés et triés en fonction de leurs caractéristiques mesurées

Les outils de détection de régions

- Exemple



Image



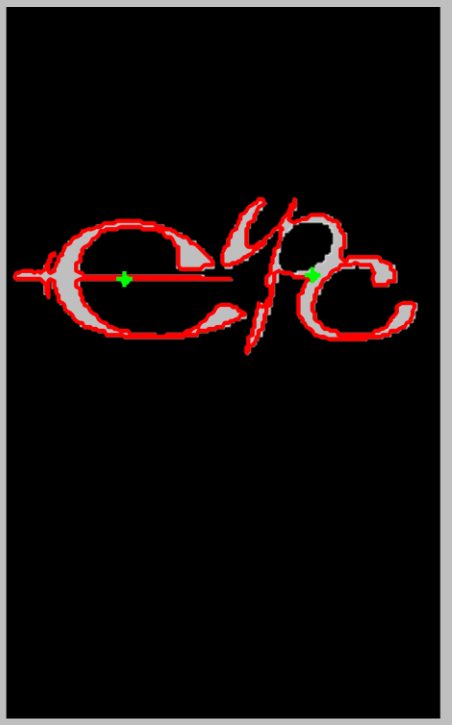
Binarisation

Inversion

Les outils de détection de régions

Etiquetage
116 régions

Sélection
selon la surface

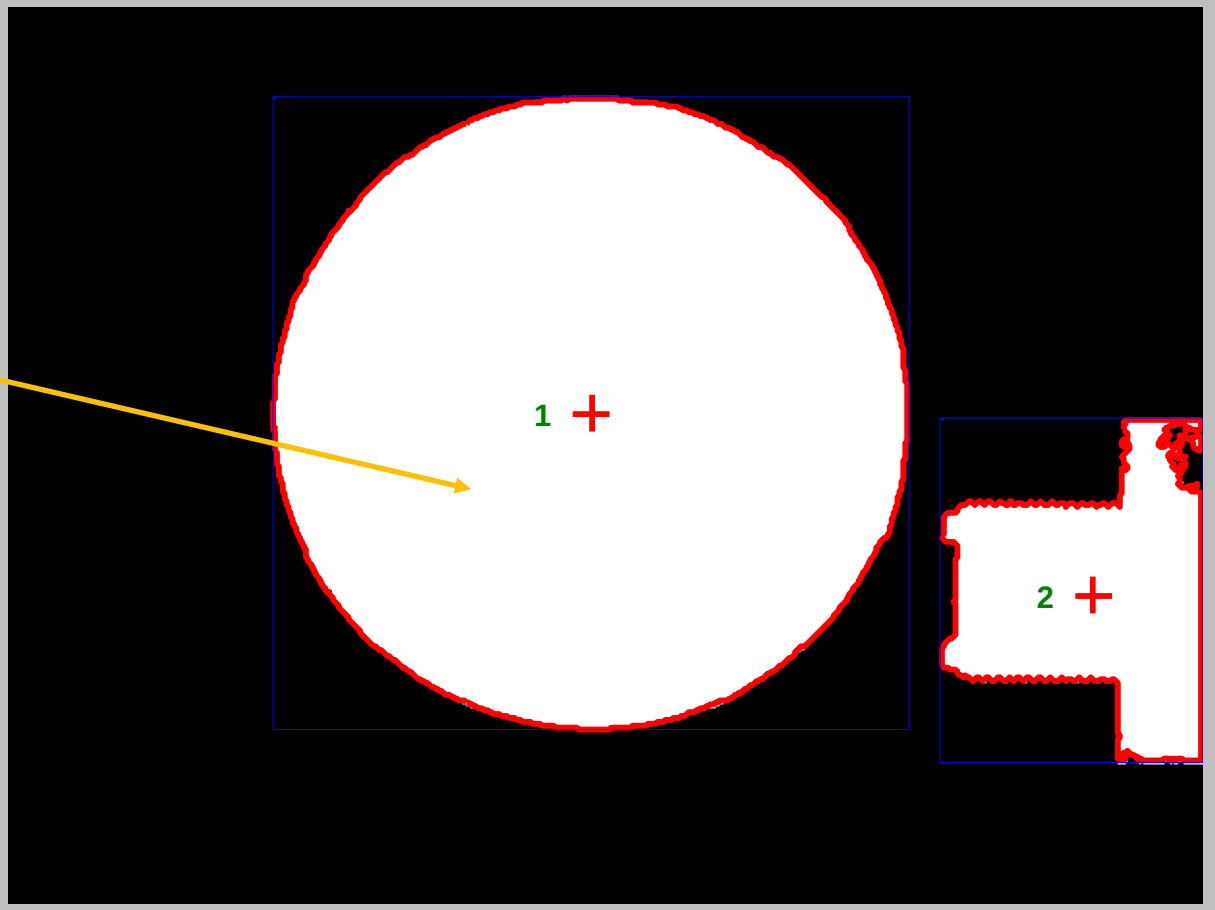


Caractéristiques :
Centre, périmètre

Les outils de détection de régions

- Autre exemple

Blob
(Binary large object)



Les outils de détection de régions

- Attributs de régions
  - Centre de gravité
  - Surface
    - Diamètre équivalent
  - Chaine de contours
    - Périmètre, diamètre équivalent
  - Boite encadrante (Bounding Box)
    - Longueur, largeur et centre
  - Moments d'inertie
    - Axes d'inertie (principal, secondaire), angle, excentricité

- Autres Attributs
  - Statistiques d'image
    - Moyenne, Variance, dissymétrie, Aplatissement, Entropie…
  - Statistiques d'histogramme
    - Médiane, mode, étendue, écart interquartile…
  - Attributs de texture

Les outils de reconnaissance des formes

- Recherche de motifs (*Template matching*)
  - Corrélation bidimensionnelle
  - Corrélation normalisée
  - La recherche géométrique
- Classification de données
  - Extraction de caractéristiques
    - Prise de mesures sur l'image et génération d'un vecteur d'attributs
  - Outils de classification
    - Définition de critères sur les mesures et élaboration d'un classifieur

Les outils de reconnaissance des formes

- La recherche de motifs
  - Elle permet de reconnaître un objet par comparaison à un modèle quels que soient sa position, son orientation, ses dimensions, son éclairage…
  - La corrélation normalisée
    - L'image de l'objet à retrouver est comparée à l'image traitée en la superposant en chaque pixel. Si l'objet recherché est présent dans l'image alors la corrélation est maximum.
  - La recherche géométrique
    - La comparaison ne s'effectue plus uniquement par les niveaux de gris mais par une description vectorielle des caractéristiques géométriques de la pièce.

La recherche de motifs

- Etape de la recherche de motifs
  - Le but est de localiser dans une image des formes représentées par un motif préalablement appris.
  - L'approche par corrélation consiste à déplacer le motif appris sur l'image et calculer une fonction de ressemblance au voisinage de chaque pixel.
  - L'image de corrélation ainsi obtenue est ensuite analysée afin de détecter les **maximums locaux** supérieurs à un seuil de ressemblance prédéfini.
  - Cette approche peut être précédée d'une étape où les formes à reconnaitre sont préalablement détectées.
  - Implémentation par passe successive et traitement subpixel.

Les outils de reconnaissance des formes

- Exemple

Image d'apprentissage

Modèle

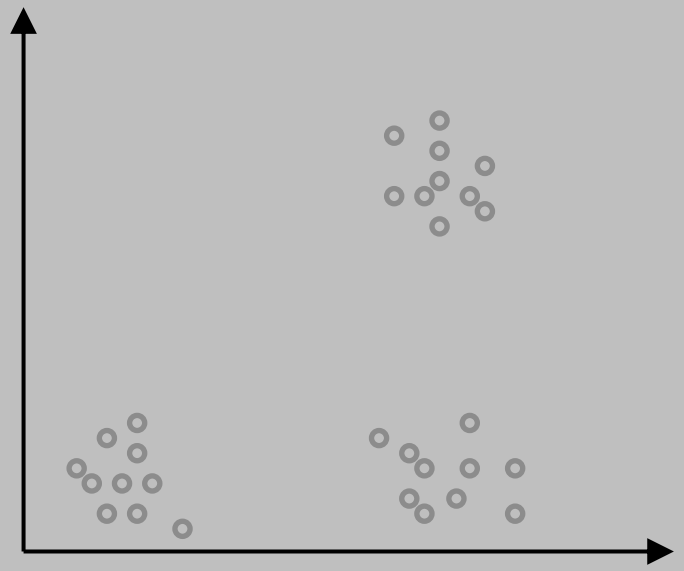
Image requête

Les outils de reconnaissance des formes

- La classification
  - **Apprentissage** : un apprentissage **hors-ligne** permet d'apprendre et caractériser par un vecteur d'attributs différentes classes d'objet.
  - **Décision** : ce vecteur est ensuite évalué **en-ligne** pour toutes les images à traiter et l'objet est affecté à la classe la plus proche aux sens d'une distance.

La classification

- Génération du vecteur d'attributs
  - Attributs de formes (régions ou contours)
  - Attributs de couleur
  - Attributs de texture
- Réduction de la dimension
- Espace de représentation (ou décision)

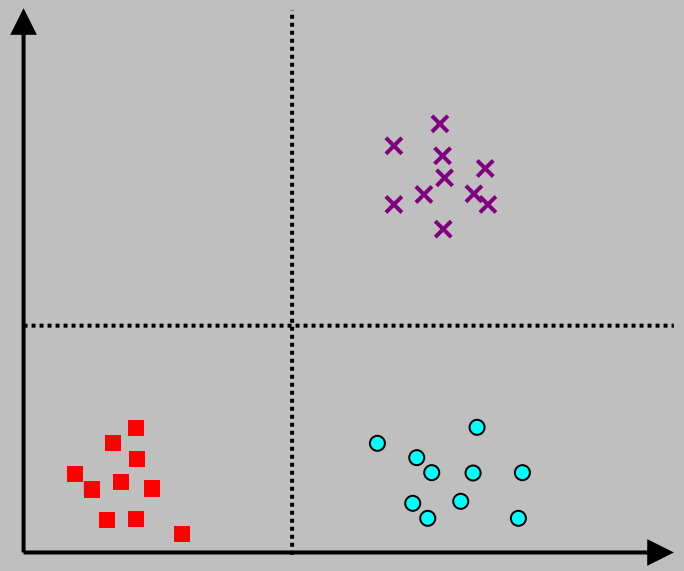


Données à classer

Exemple : représentation des données dans un espace de dimension 2

La classification

- Méthode de classification
  - Le rôle du classifieur est d'assigner les données à une classe
  - De nombreuses méthodes existent
    - Créer une partition de l'espace
    - Utiliser une base d'apprentissage



Classe **1**

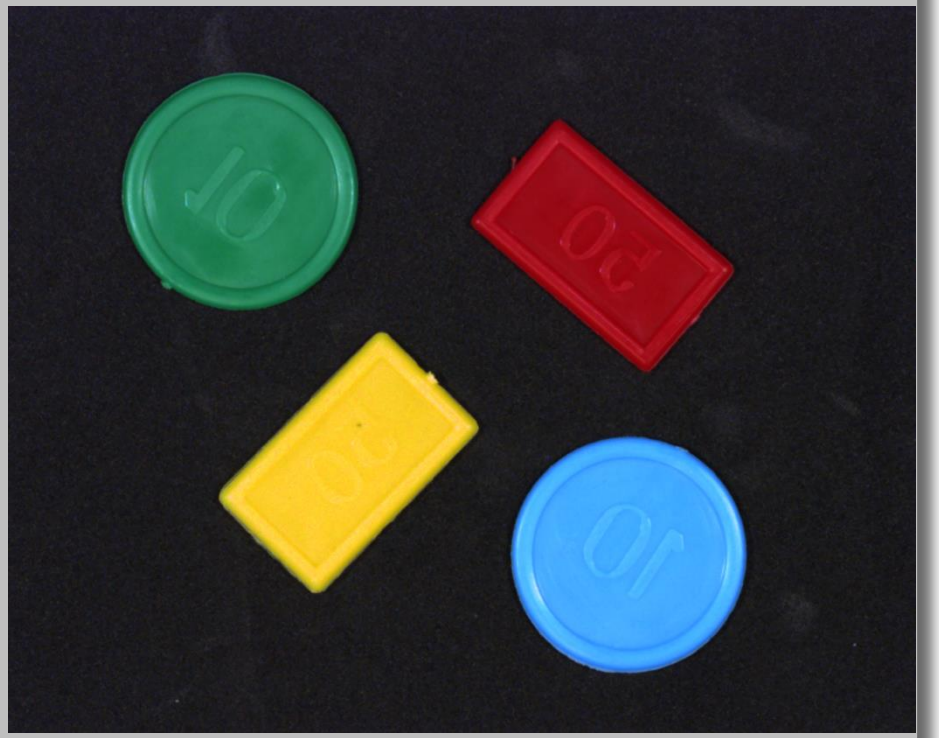
Classe **2**

Classe **3**

Exemple : représentation des données dans un espace de dimension 2

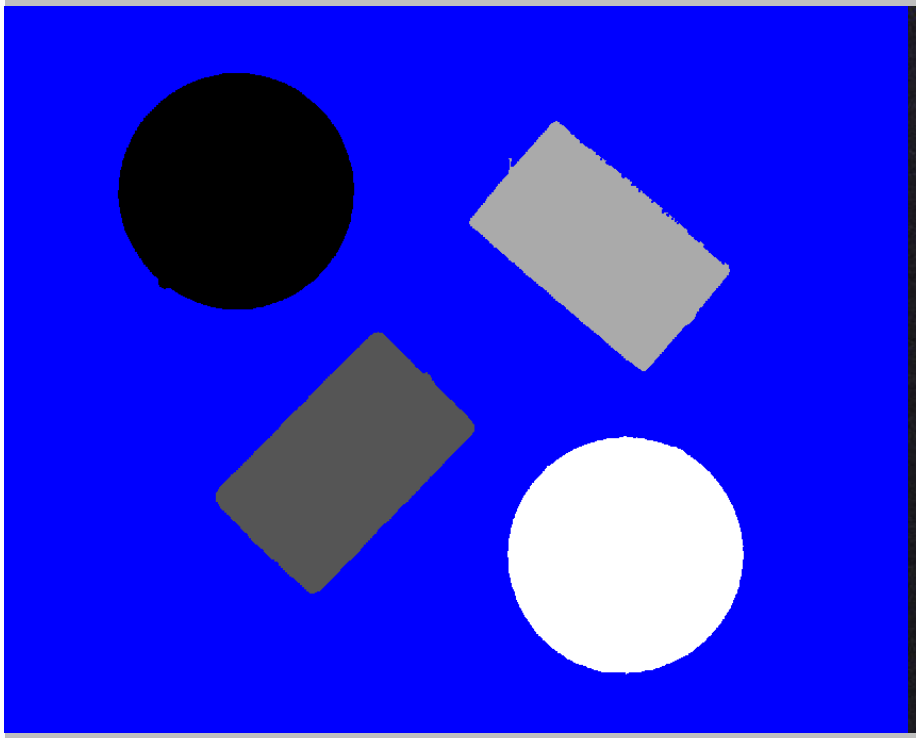
La classification

- Attributs calculés sur des régions ou des contours
  - Attributs de formes
    - Mesure de périmètre
    - Calcul de surface
    - Longueur et largeur de la forme
    - Excentricité
  - Attributs statistiques
    - Moyenne



La classification

Segmentation en régions



Attributs

Les outils d'identification et de vérification

- Les outils d'identification
  - Les outils d'identification permettent la reconnaissance de caractères (OCR) et la lecture de chaînes de caractères ainsi que la lecture de codes à barres ou codes matriciels
- Les outils de vérification
  - Les outils de vérification permettent la vérification de caractères (OCV) de codes à barres et de codes matriciels

Exemple

TP DE VISION
INDUSTRIELLE
Ecole d'Ingénieurs du Pas-de-Calais
Fab. : 08 - 2007
Exp. : 12 - 2009
Lot : 56

TP DE VISION
INDUSTRIELLE
Ecole d'Ingénieurs du Pas-de-Calais
Fab. : 08 - 2003
Exp. : 12 - 2005
Lot : 34

Les outils de calibrage et de recalage

- Les outils de calibrage
  - Les outils de calibrage ont pour but de donner une correspondance entre une mesure en pixels et une mesure en millimètre par exemple.
  - Ils utilisent une image de la pièce « bonne » ou des mires de calibrage qui permettent également de tenir compte des distorsions et des effets de perspectives.

Les outils de calibrage et de recalage

- Exemple

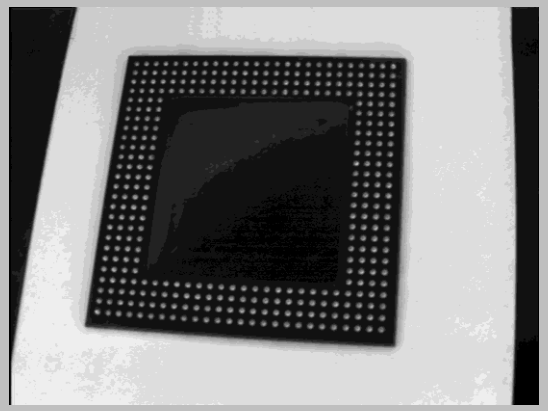


Image de l'objet

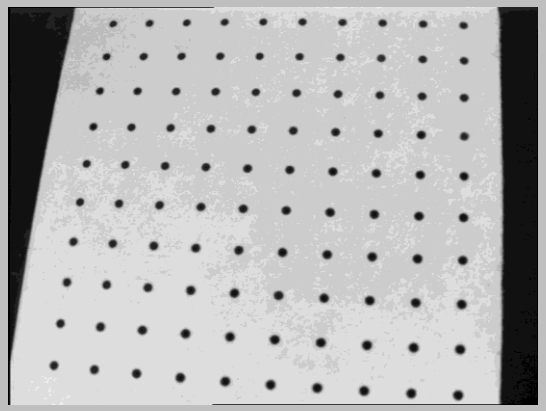


Image de la grille

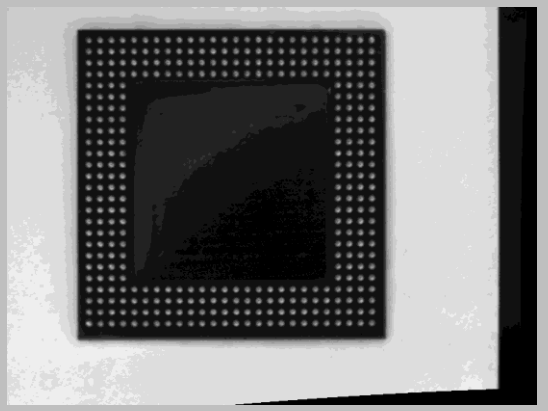
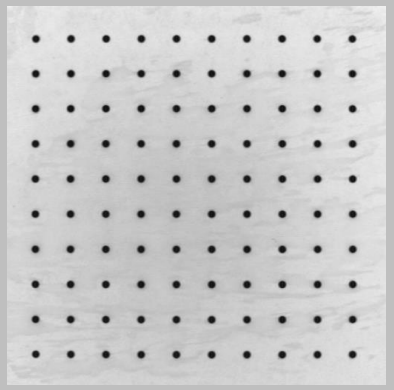


Image corrigée

Grille



Les outils de calibrage et de recalage

- Les outils de recalage
  - Lorsque les objets changent de position ou d'orientation d'une acquisition à l'autre, il n'est plus possible d'utiliser des outils configurés dans un repère image.
  - Les outils de recalage permettent de définir un repère pièce afin de recaler les images.
  - Le repère pièce est déterminé à partir :
    - des bords de la pièce,
    - d'une région détectée dans la pièce,
    - d'une image de la pièce ou d'une partie de la pièce.

Les outils statistiques

- Ils permettent de mesurer différentes statistiques (moyenne, variance, …) dans une région.

Pour conclure…

- Approfondissement
  - Module « Traitement d'images » - parcours *production industrielle* de la dernière année

Vision industrielle
Les outils logiciels de vision