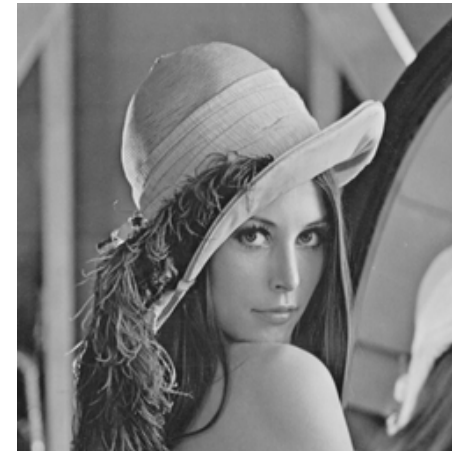


TRANSFORMEE DE HOUGH

Jean-Pierre BRUANDET

INTERPRETATION D'IMAGES



Que reconnaissez vous dans cette image?

Une personne

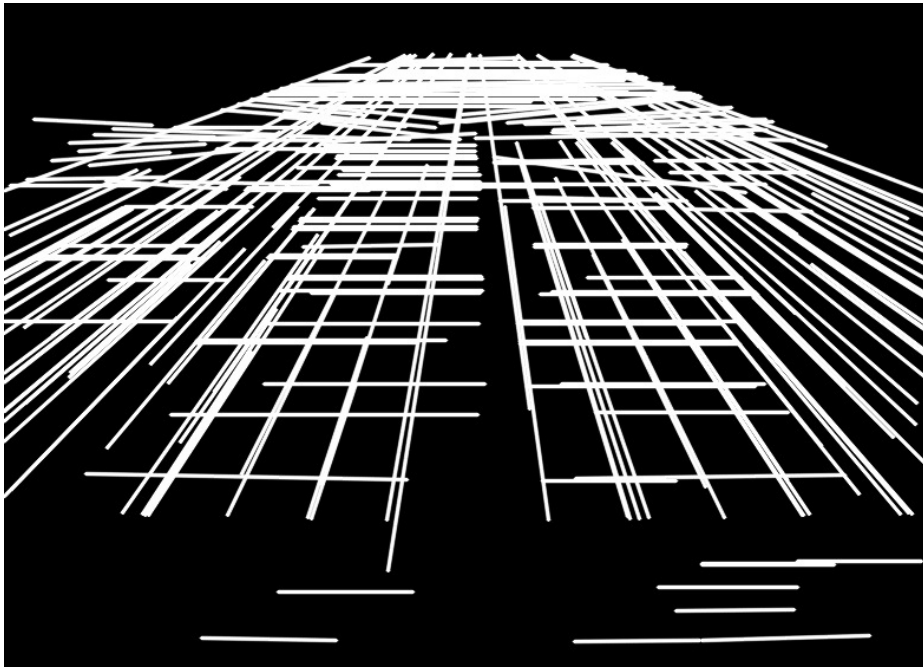
INTERPRETATION D'IMAGES



Que reconnaissez vous dans cette image?

Le mot 'Hello'

INTERPRETATION D'IMAGES



Que reconnaissez vous dans cette image?



Un building

INTERPRETATION D'IMAGES



Que reconnaissez vous dans cette image?



Un bâtiment, des voitures, des arbres

AGENDA

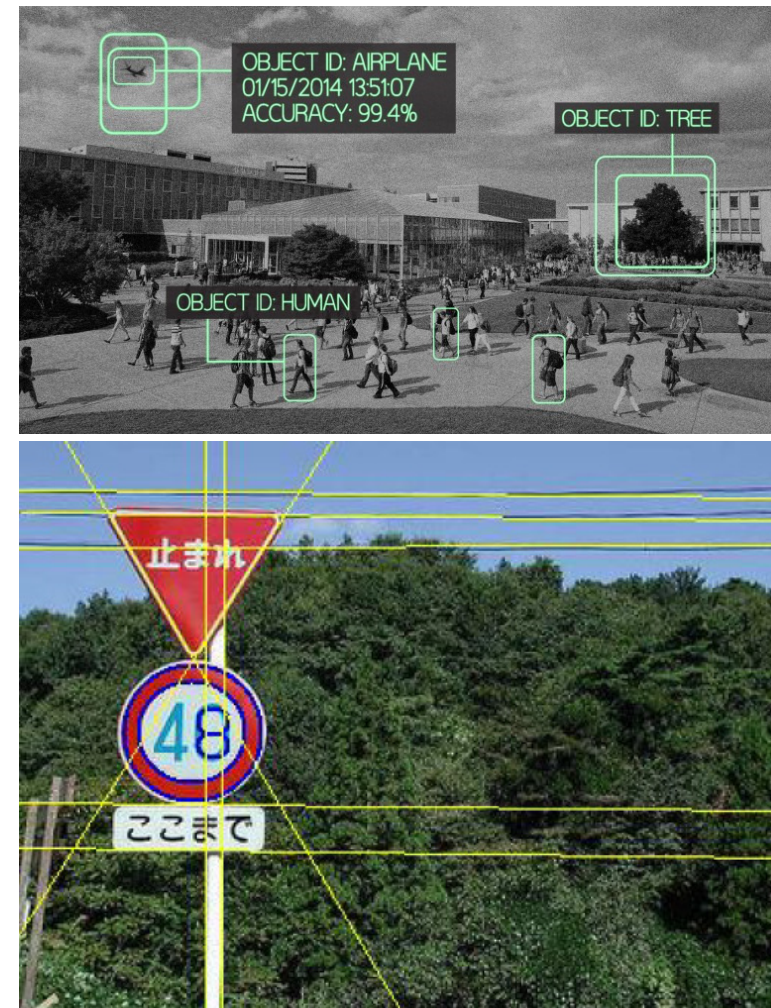
- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

AGENDA

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

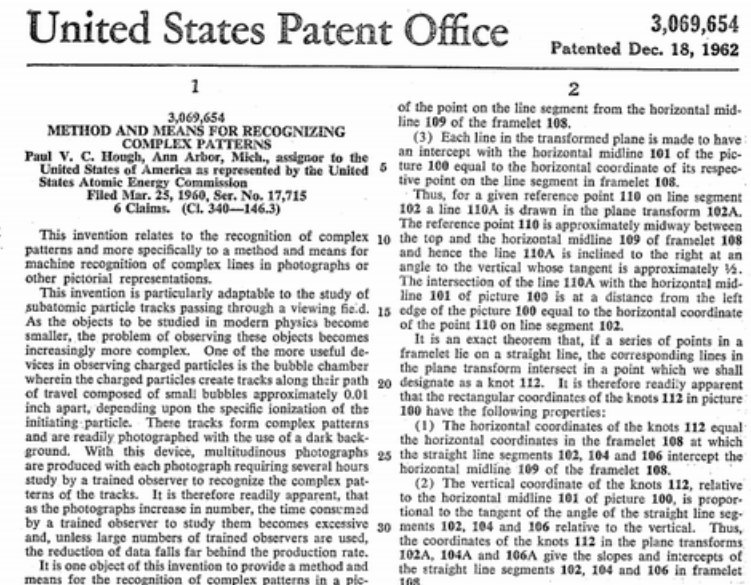
INTRODUCTION

- Image: succession de pixels représentant des formes
- Vision par ordinateur et traitement d'images: donner/exploiter un lien entre ces pixels
- But: aide ou prise de décisions automatiques



TRANSFORMEE DE HOUGH

- Inventée et brevetée par Paul Hough en 1960
- But: détection et reconnaissance de formes (droites, ellipses, courbes paramétriques)
- Populaire depuis 1980 dans les applications industrielles
- Approche plus robuste en présence de bruit et d'occlusions partielles que des approches type morphologie mathématique ou corrélation



AGENDA

- Introduction
- **Principe**
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

PRINCIPE D'ACCUMULATION/VOTE

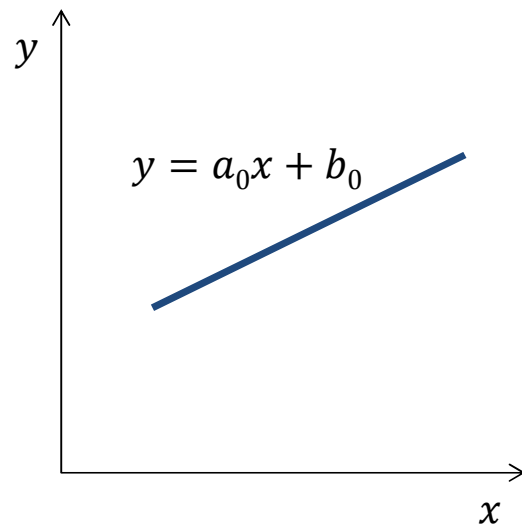
- Il existe une infinité de droites passant par un point
- Chaque point appartenant à une même droite augmente l'importance donnée à une droite spécifique
- Cette droite reçoit un vote
- L'ensemble des droites possibles ayant eu le plus de votes seront identifiées comme appartenant à la scène

AGENDA

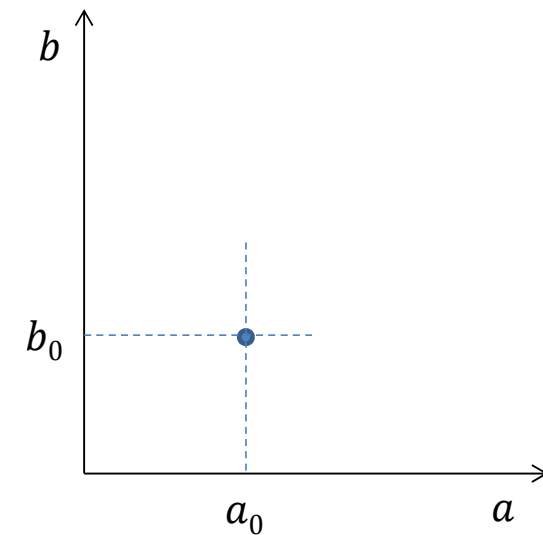
- Introduction
- Principe
- **Détection de droites**
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (1/4)

- Soit une droite d'équation $y = a_0x + b_0$



Espace image

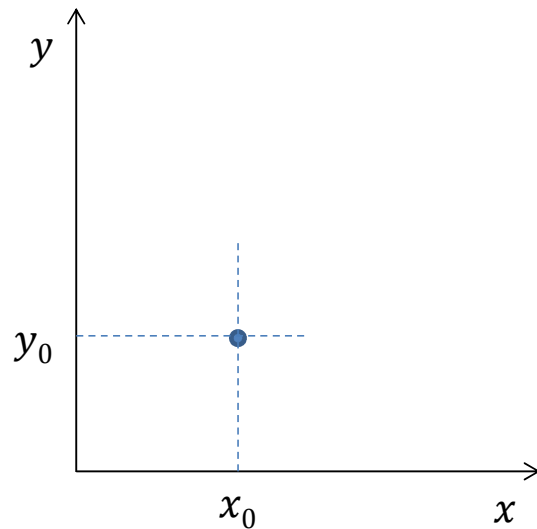


*Espace de Hough =
Espace des paramètres*

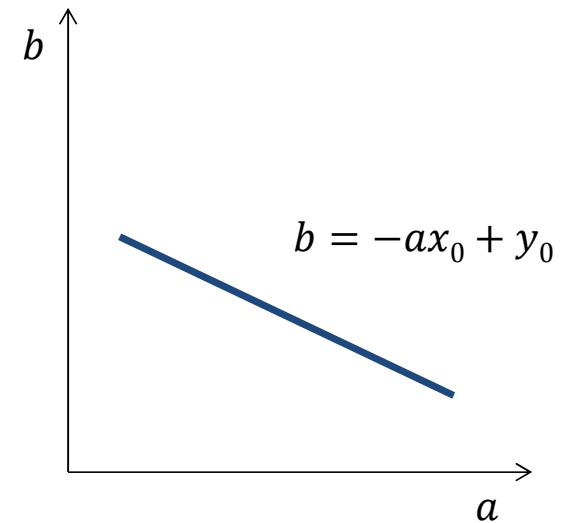
➡ A une droite de paramètres (a_0, b_0) dans l'espace image correspond un point dans l'espace des paramètres $E(a, b)$

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (2/4)

- Soit un point $M(x_0, y_0)$



Espace image

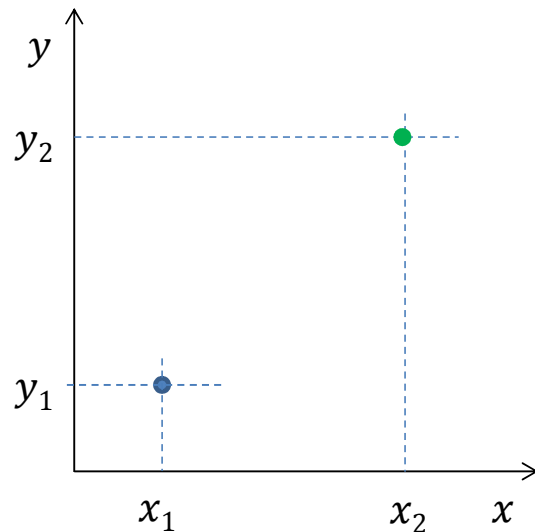


*Espace de Hough =
Espace des paramètres*

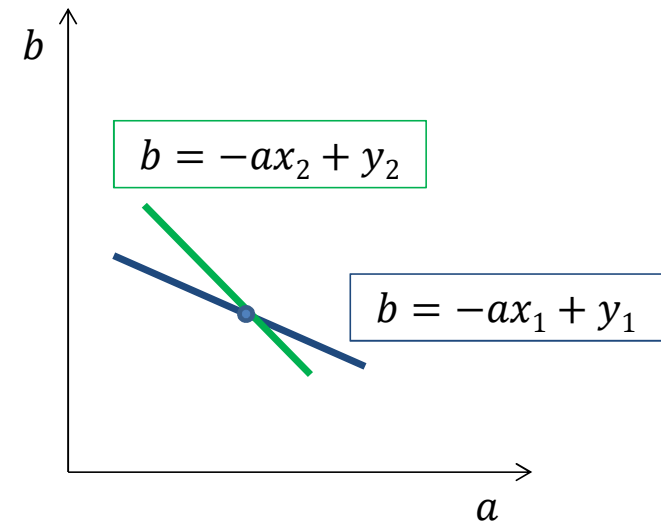
➡ Pour chaque point de l'espace image, l'infinité de droites passant par ce point correspond à une seule droite dans l'espace de Hough

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (3/4)

- Soit deux points $M_1(x_1, y_1)$ $M_2(x_2, y_2)$



Espace image

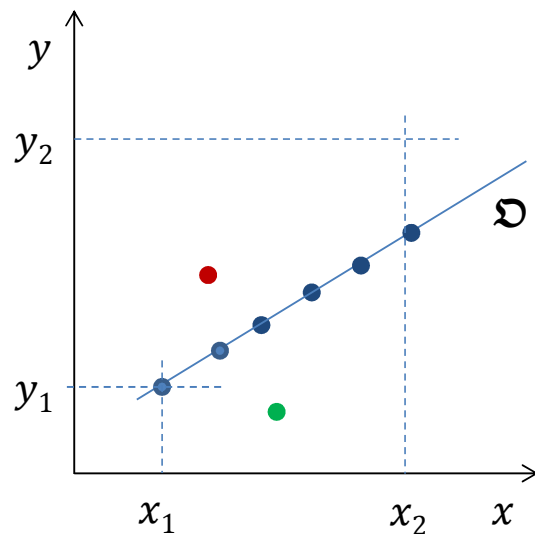


*Espace de Hough =
Espace des paramètres*

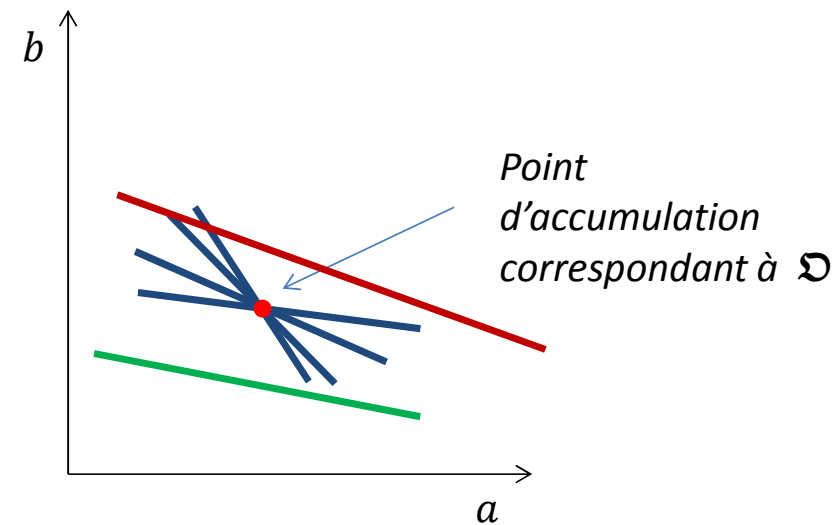
➡ L'ensemble des groupes de droites passant par chaque point sans l'espace image donnent 2 droites dans l'espace de Hough s'intersectant en un point unique: les paramètres de la droite passant par M_1 et M_2

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (4/4)

- Soit N points de l'espace images



Espace image



*Espace de Hough =
Espace des paramètres*

➡ Tous les points alignés sur une droite \mathcal{D} seront représentés dans l'espace de Hough par des droites concourantes en 1 point caractérisant \mathcal{D}

DETECTION DE DROITES: BILAN

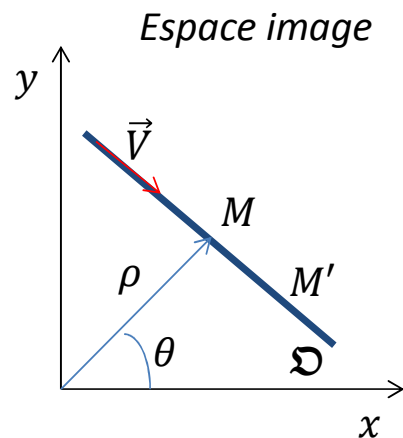
- **Méthodologie proposée**
Pour chaque point du contour de l'objet
tracer la droite associée dans l'espace de Hough

Détecter les maxima locaux
Tracer dans l'espace image les droites retenues
- **Problèmes de cet espace de paramètres**
 - L'espace $E(a-b)$ n'a pas de limites!
 - Les lignes verticales requièrent une valeur du paramètre a infini!

 Trouver une paramétrisation de la droite plus adéquat

DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (1/4)

- Soit l'espace des paramètres $E(\rho, \theta)$

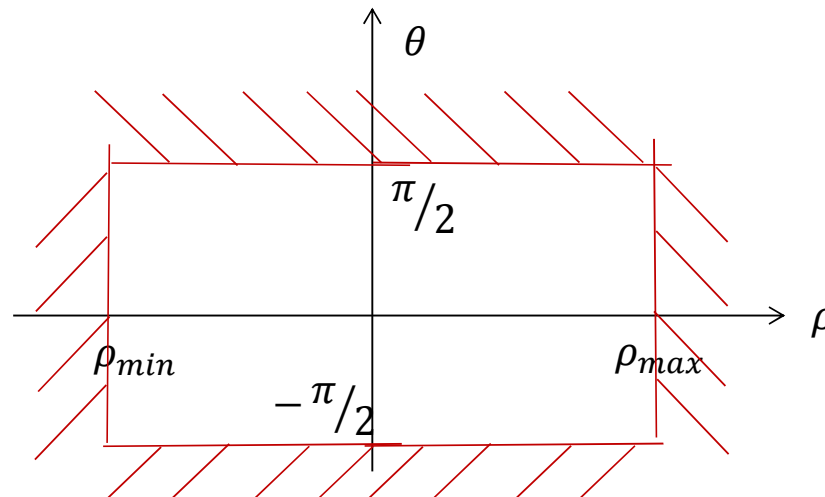


$$S: \{M, \vec{V}\} \Rightarrow \begin{pmatrix} x - \rho \cos \theta \\ y - \rho \sin \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow \rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

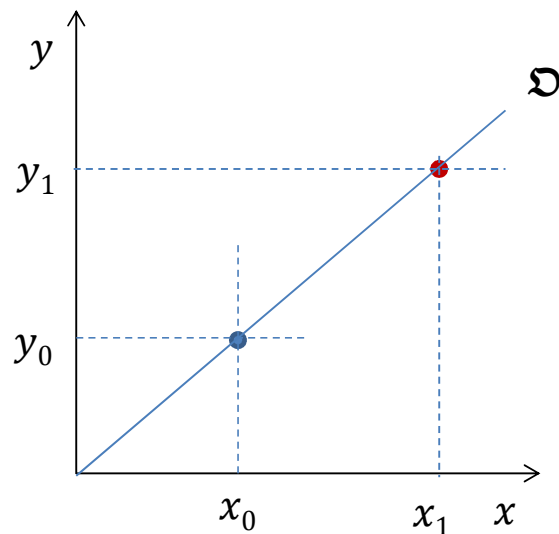
- Ce nouvel espace est borné:

$$\rho \in [\rho_{\min}, \rho_{\max}]$$

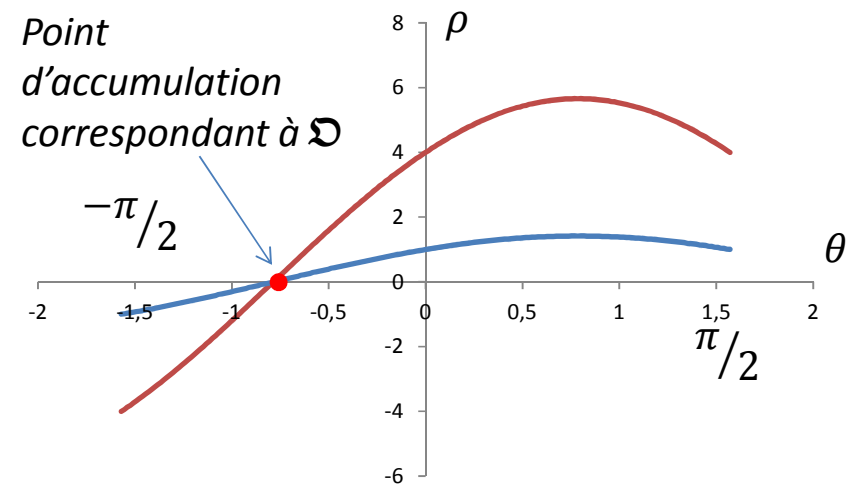
$$\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$$



DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (2/4)

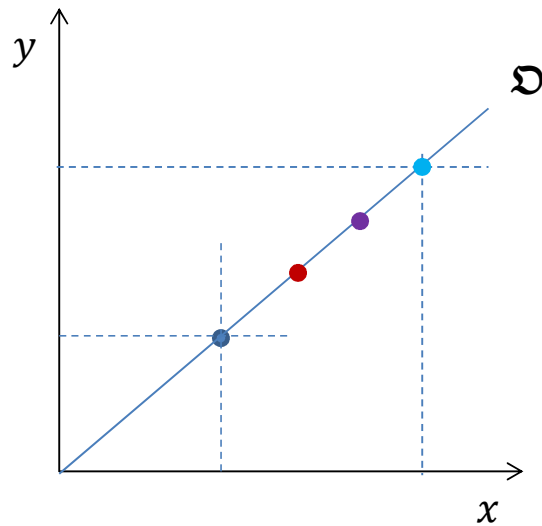


Espace image

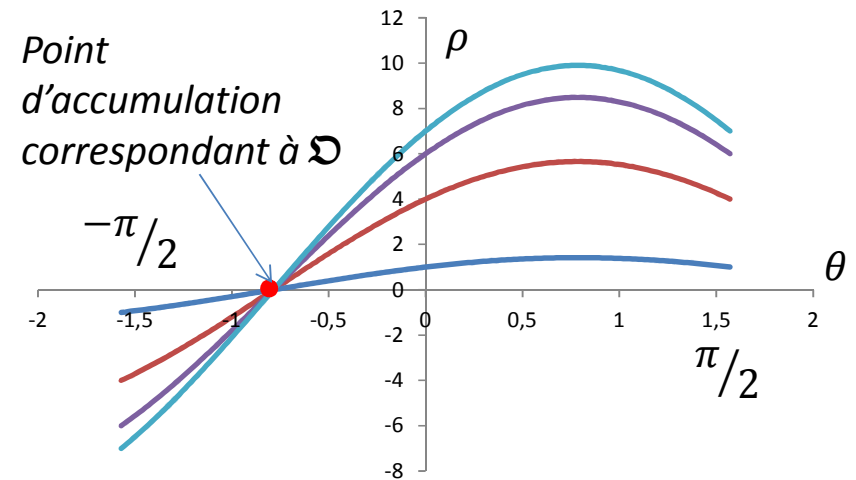
Espace de Hough =
Espace des paramètres

➡ Les points alignés sur une même droite donne lieu à une accumulation dans l'espace de Hough

DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (3/4)



Espace image

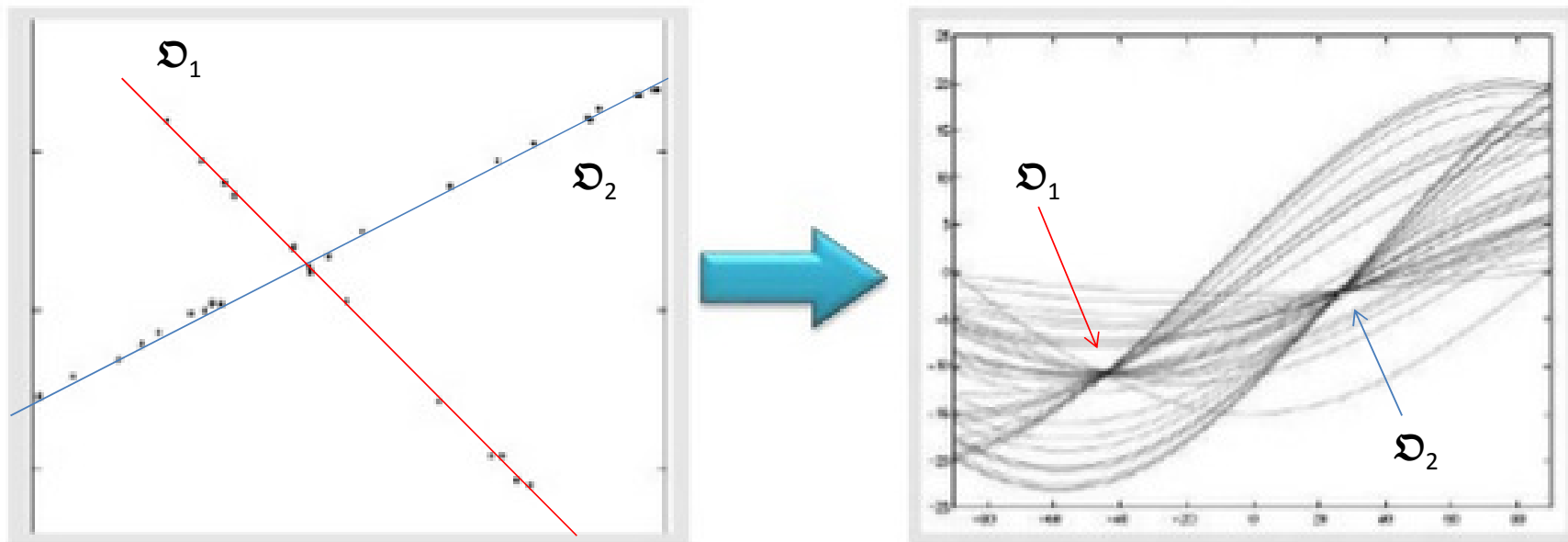


*Espace de Hough =
Espace des paramètres*

➡ Tous les points alignés sur une dte D seront représentés dans l'espace de Hough par des sinusoides s'intersectant en 1 point caractérisant D

DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (4/4)

- Exemple de la détection de deux droites



Les maxima n'ont pas nécessairement les mêmes amplitudes. C'est pourquoi il est important de détecter les différents maxima locaux et d'appliquer un critère de sélection (i.e. seuil)

DETECTION DE DROITES: BILAN

- Choix de l'échantillonnage de l'espace de Hough
 - θ allant de -90° à $+90^\circ$,
 - ρ allant de $\pm N\sqrt{2}$ pour une image $N \times N$ (possibilité de le contraindre si connaissances a priori)
 - les pas sont à définir en fonction de la précision souhaitée
- Une approche simple mais présentant quelques limitations

Avantages	Inconvénients
Simple	La complexité augmente avec le nombre de paramètres décrivant la forme
Gestion des occlusions partielles	Un type d'objet à la fois
Robuste sur données bruitées	Dépendant de la qualité de l'extraction de contour
Adaptable à d'autres formes	Impossible de séparer des lignes parallèles

ALGORITHME ASSOCIE

Détecter les contours de l'image

Binariser (0,1) l'image

Initialiser l'accumulateur H à zero

Pour chaque point contour (x,y) de l'image

 Pour θ allant de 0 à 180

$$\rho = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta$$

$$H(\theta, \rho) = H(\theta, \rho) + 1$$

 Fin pour

Fin pour

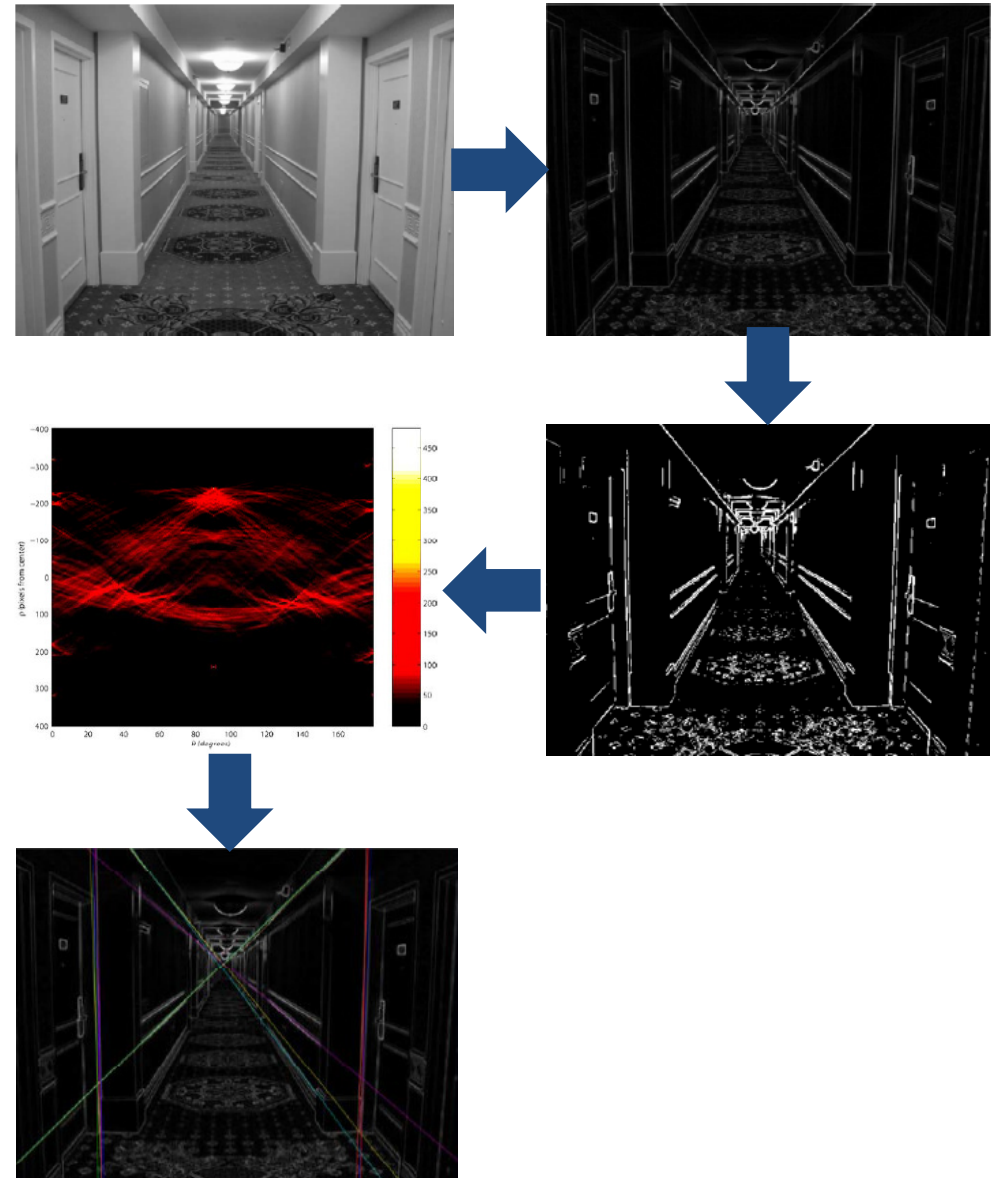
Pour θ allant de 0 à 180

Pour ρ allant de ρ_{\min} à ρ_{\max}

 Recherche maxima locaux

tracer la droite de paramètres (θ, ρ)

3 – Détection de droites



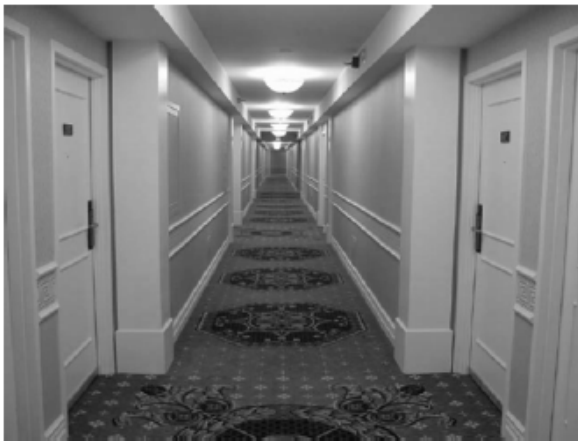


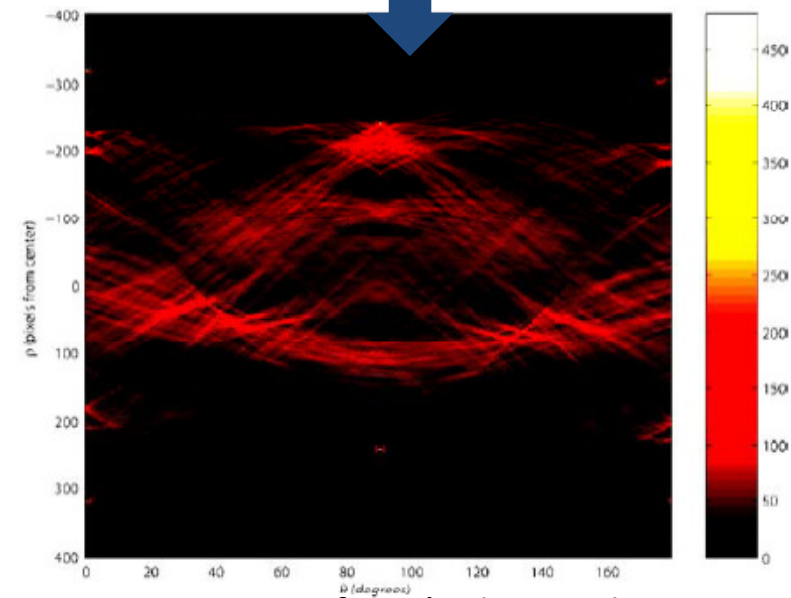
Image originale



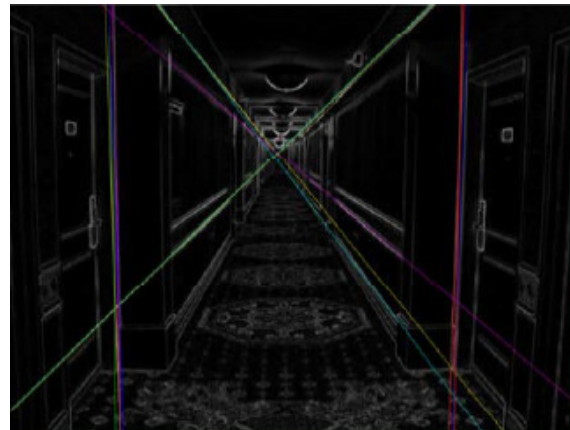
D2tecteur de contour Sobel



Image Sobel seuillée



Transformée de Hough



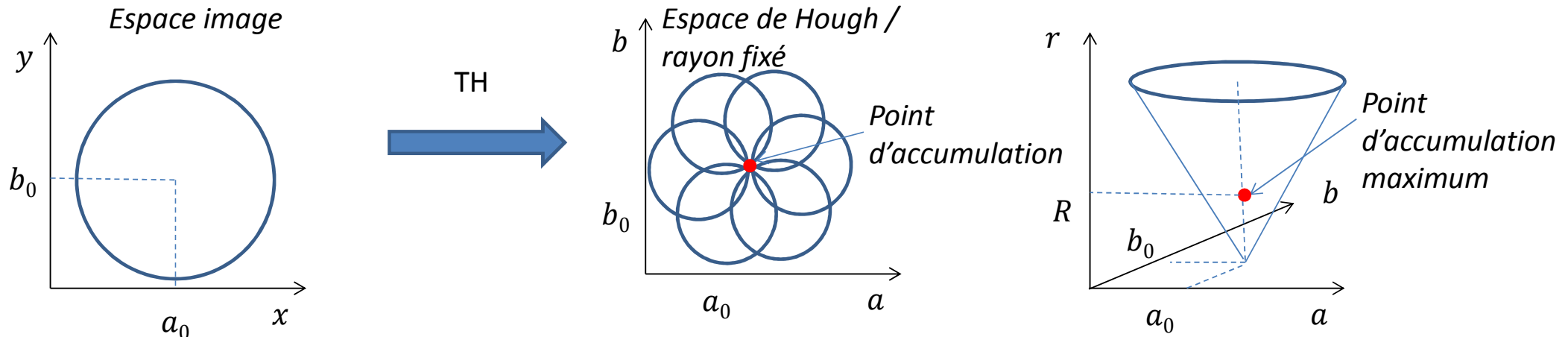
Affichage des 20 meilleures lignes

AGENDA

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- **Détection de cercles et d'ellipses**
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

APPLICATION A LA DETECTION DE CERCLES (1/2)

- L'approche est la même que pour les lignes, sauf que nous travaillons dans un espace de Hough 3D (au lieu de 2D)
- Soit un cercle d'équation $R^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2$
- Pour chaque point du contour, on trace dans l'espace de Hough un cercle dont le centre est ce point et le rayon r



ALGORITHME ASSOCIE

Détecter les contours de l'image

Binariser (0,1) l'image

Initialiser l'accumulateur $H(x,y,r)$ à zero

Pour chaque point contour (x,y) de l'image

 Pour r allant de r_{\min} à r_{\max}

 Tracer le cercle de centre (x,y) et de rayon r

 Fin pour

Fin pour

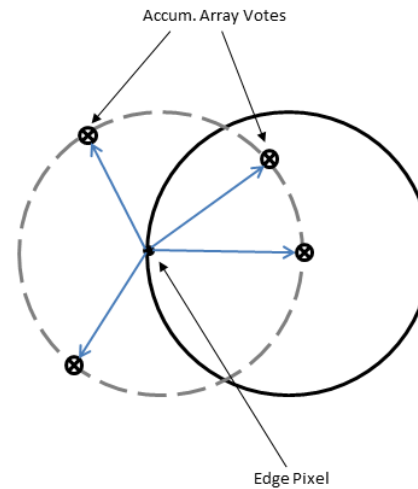
Pour r allant de r_{\min} à r_{\max}

Pour y allant de y_{\min} à y_{\max}

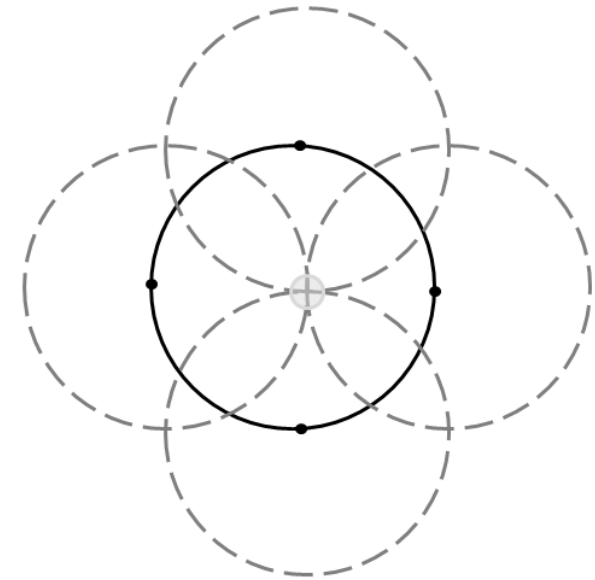
Pour x allant de x_{\min} à x_{\max}

 Recherche maxima locaux

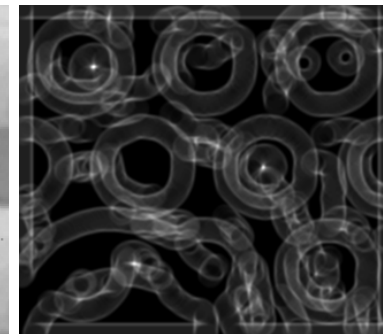
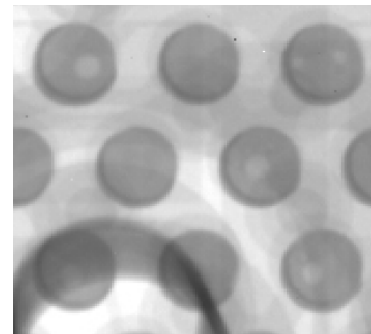
tracer les cercles candidats



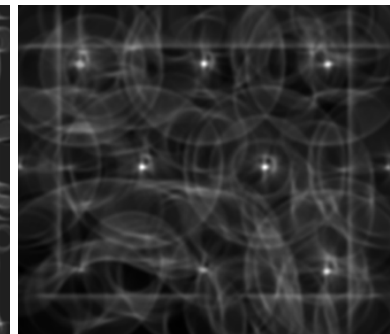
(a)



(b)

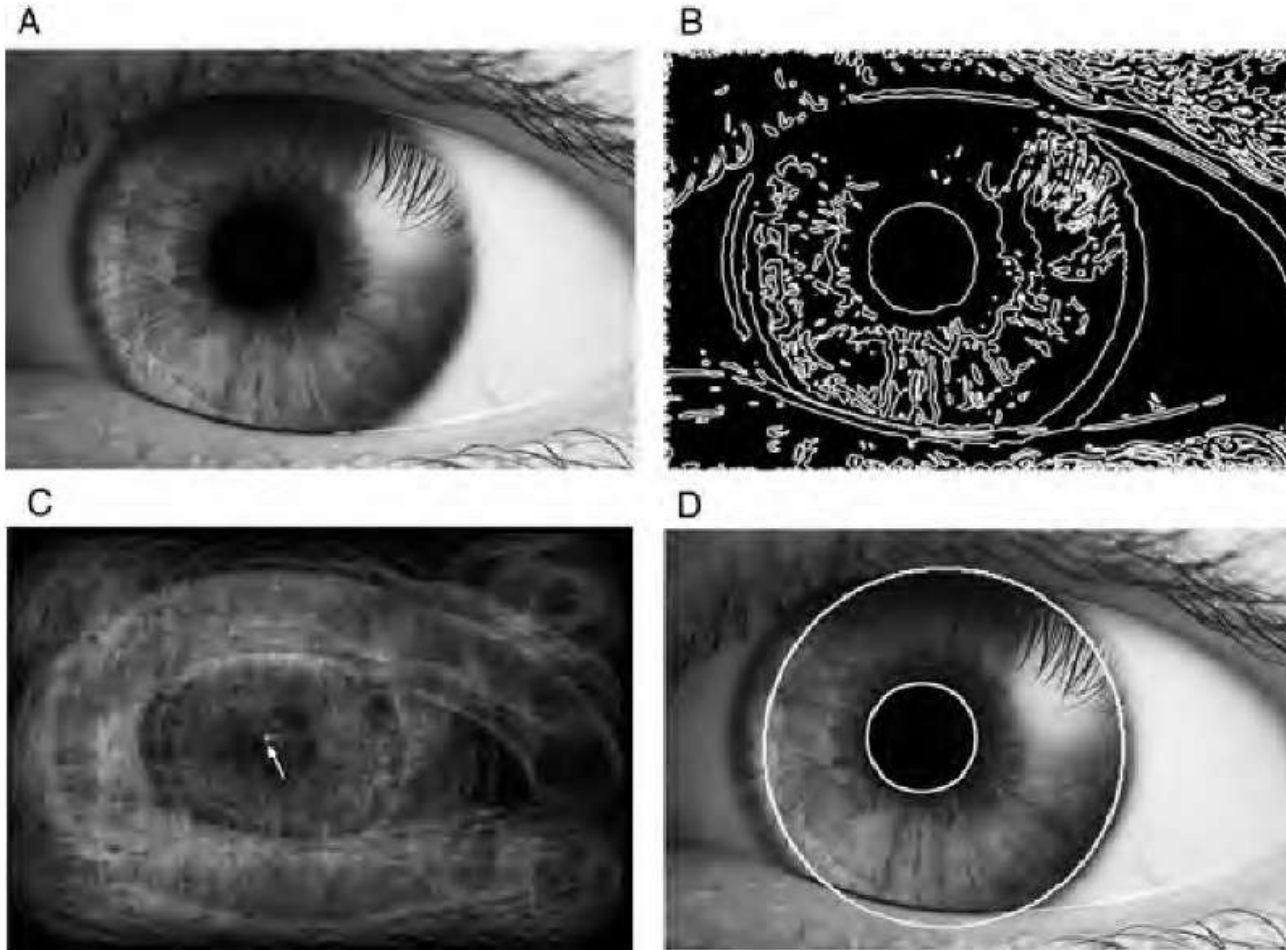


$H(x,y,r): R = 10$



$H(x,y,r): R = 35$

APPLICATION A LA DETECTION DE CERCLES (2/2)



APPLICATION A LA DETECTION DES ELLIPSES

- La caractérisation d'une ellipse nécessite 5 paramètres (centre, axes et orientation) contre 3 pour le cercle
- Afin de rendre l'approche plus simple, on procède à une réduction de la dimension de l'espace de recherche
- Une approche proposée par Xie (*A new efficient ellipse detection method, International conference on Pattern recognition 12/2002, vol2(2)*) permet de travailler sur un accumulateur de dimension 1



AGENDA

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- **Optimisation**
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

OPTIMISATIONS

- Randomized Hough transform
 - Certaines courbes paramétriques peuvent être complètement définies par un nombre limité de points
 - On sélectionne des n-uplets de points aléatoires (ie triplets)
 - Parmi les points des contours, on ne prend que quelques points au total



Cas de droites:

2 points suffisent à définir une droite

Cas de cercles:

3 points suffisent à définir une cercle

Cas de ellipses:

3 points suffisent à définir une ellipse

OPTIMISATIONS

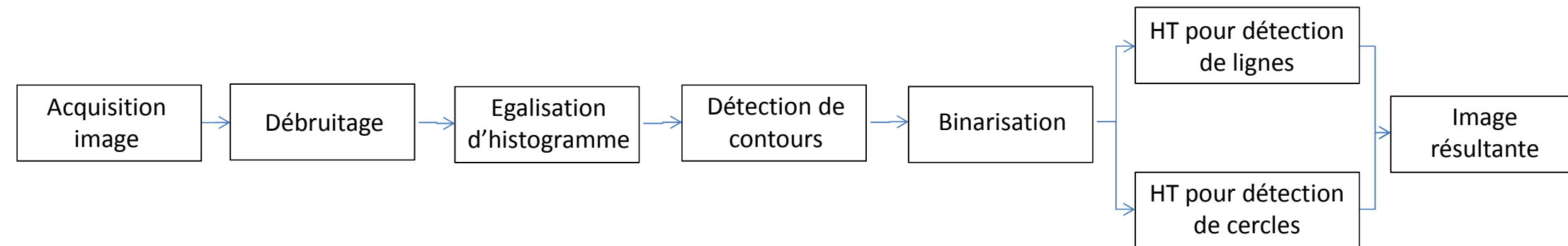
- Gradient based Hough transform
 - Le but est de limiter l'espace de recherche
 - On calcule l'orientation du gradient au point considéré
 - On limite les angles à $\pm 20^\circ$ autour de la direction du gradient

AGENDA

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- **Application sur image réelle**
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (1/5)

- Workflow nécessaire pour traiter une image réelle



- Note importante: même si la transformée de Hough est robuste vis à vis du bruit, il reste important de pré-traiter les images afin d'obtenir le meilleur rapport contraste à bruit et les meilleurs contours avant d'utiliser un détecteur de contour

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (2/5)

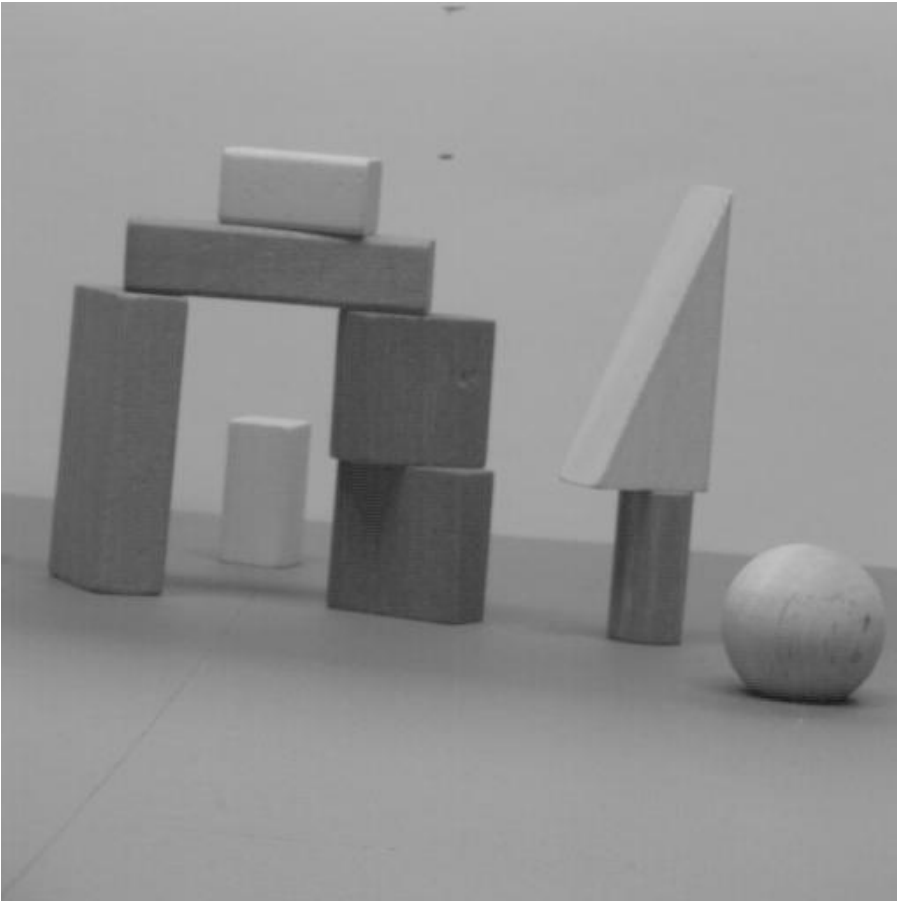


Image originale

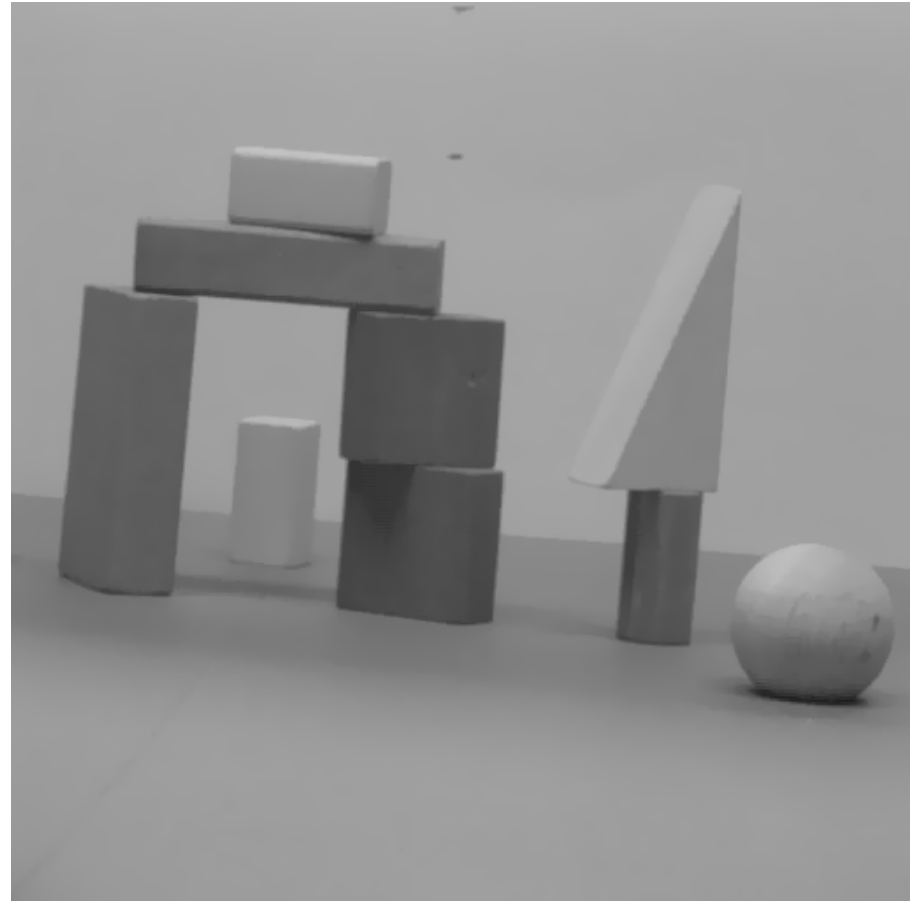
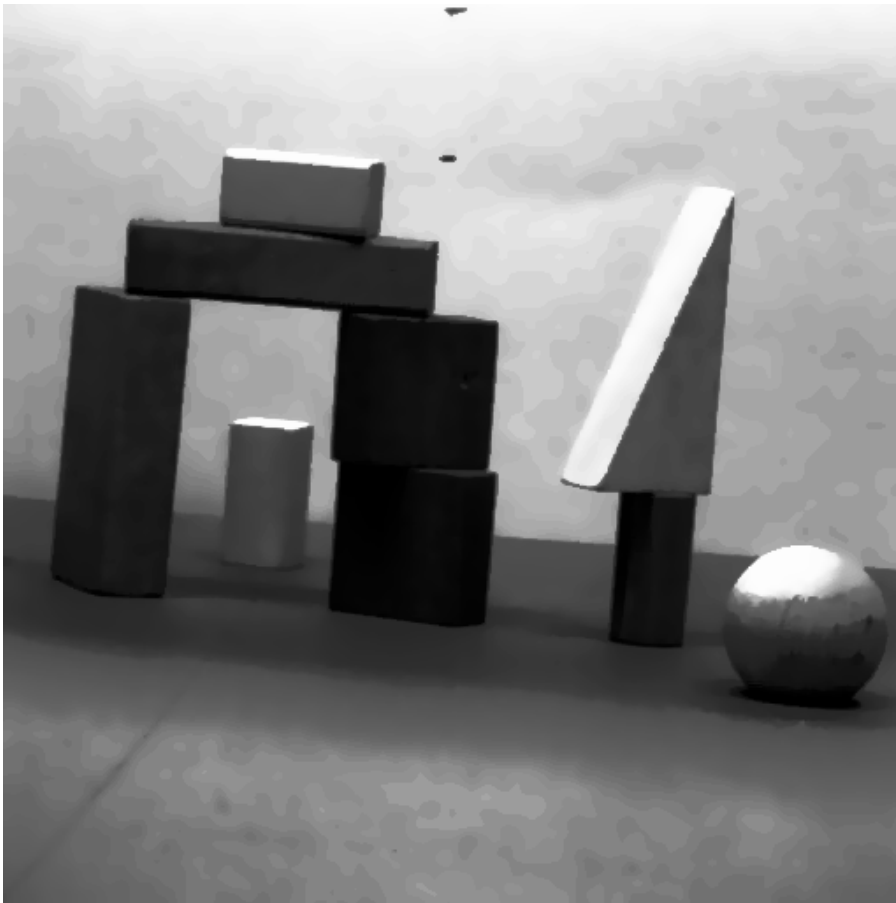


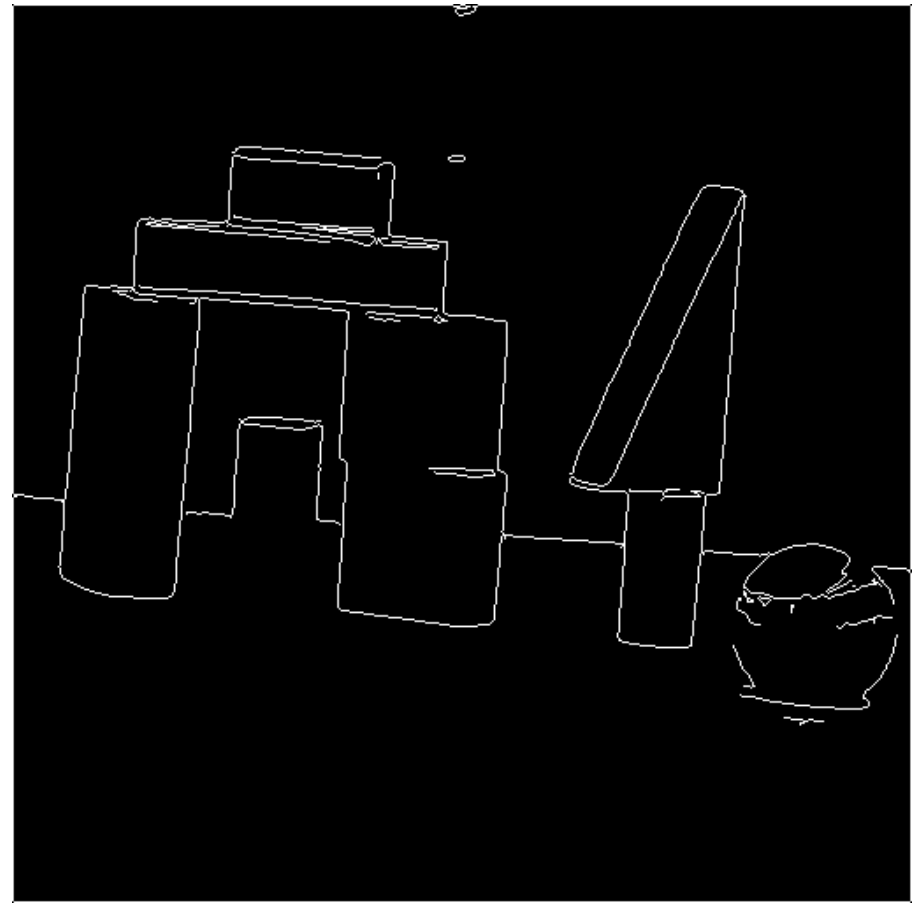
Image filtrée par un filtre bilatéral

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (3/5)



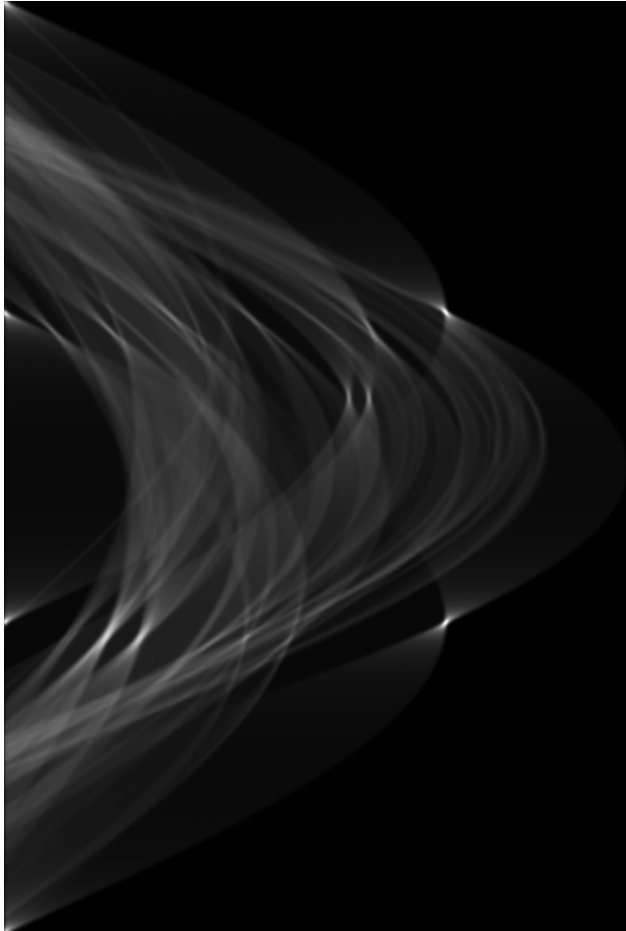
Amélioration des contrastes par égalisation d'histogramme

Source: Projet de Sujin Philip – Université de l'Utah

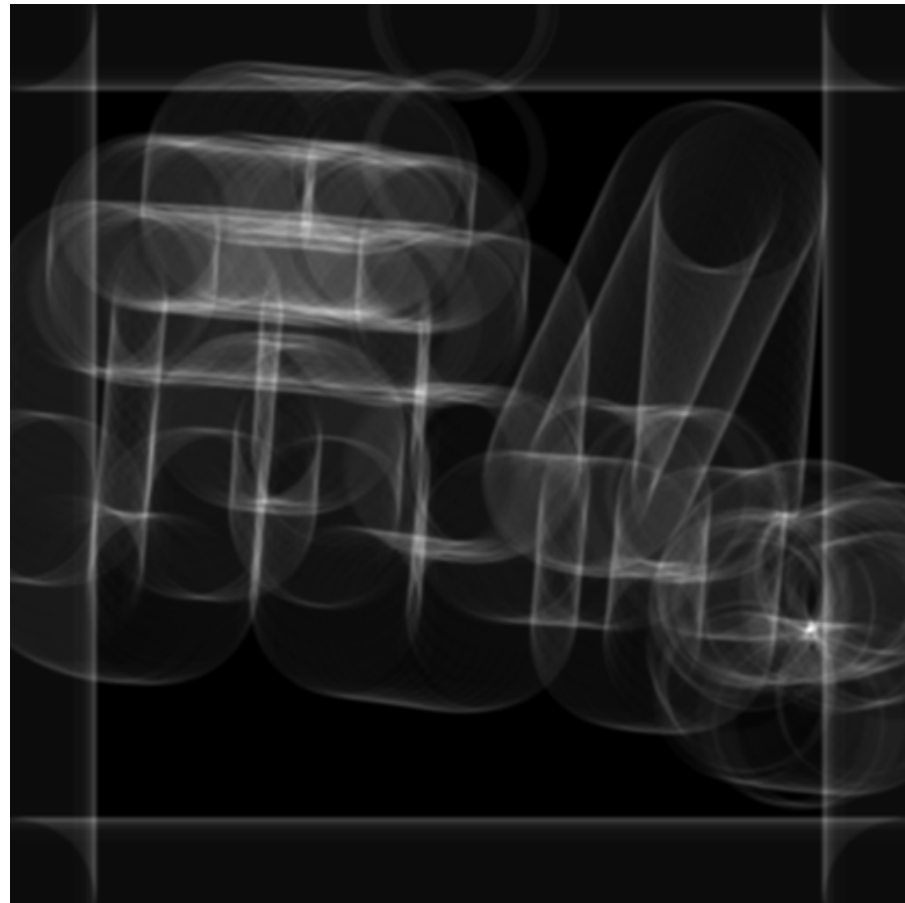


Détection des contours par un filtre de Sobel

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (4/5)

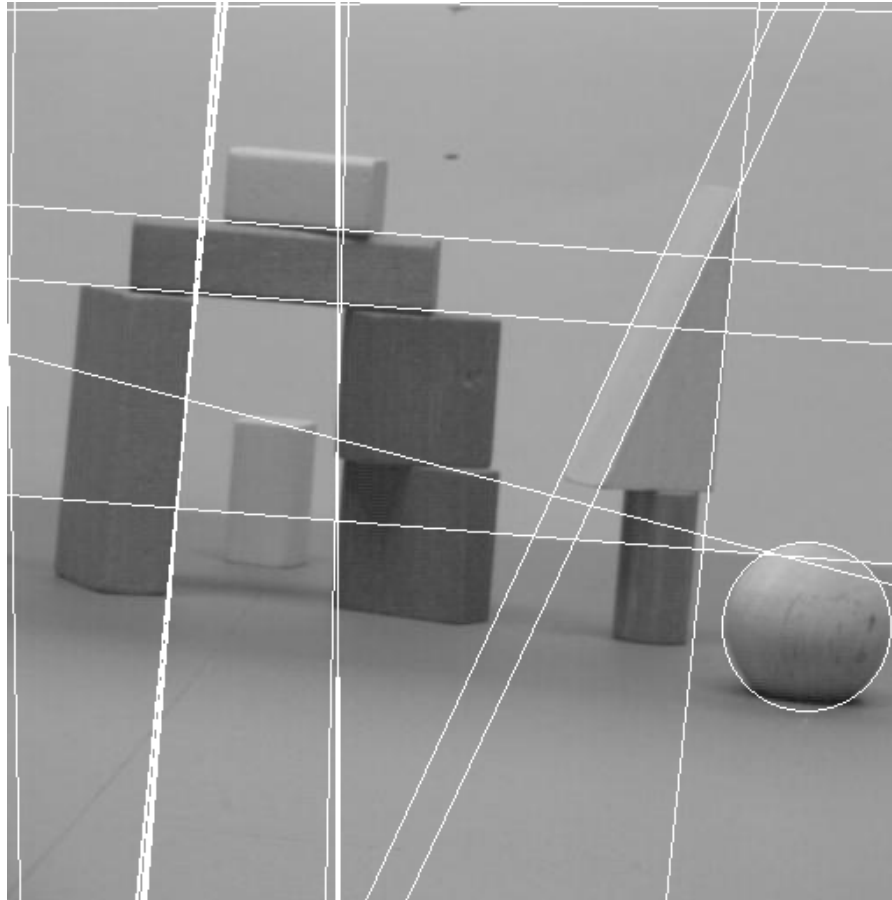


Espace de Hough pour la détection de lignes



Espace de Hough pour la détection de cercles

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (5/5)



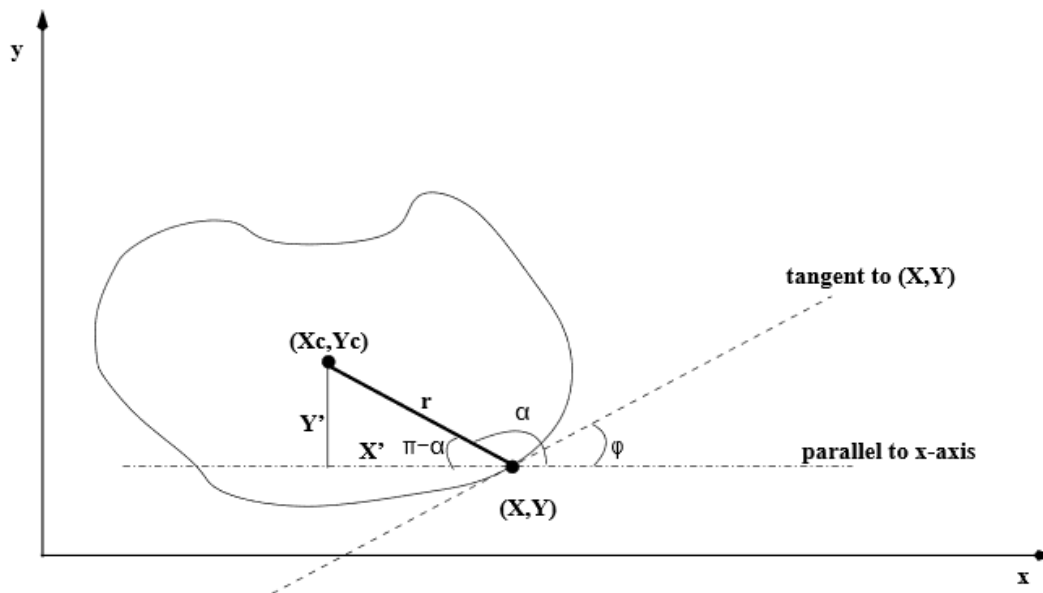
Résultat de la détection

AGENDA

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- **Transformée de Hough généralisée**
- Extension 3D

TRANSFORMEE DE HOUGH GENERALISEE

- Introduite par Dana Ballard en 1981
- Elle s'appuie sur le principe du template matching
- Connaissant l'objet à retrouver (template), l'approche consiste à retrouver sa position, son orientation et son échelle dans l'image



$$x_c = x - s(x' \cos \theta - y' \sin \theta)$$

$$y_c = y - s(x' \sin \theta + y' \cos \theta)$$

TRANSFORMEE DE HOUGH GENERALISEE: ALGORITHME

Quantiser l'espace des paramètres

$$P[x_{c_{min}} \dots x_{c_{max}}][y_{c_{min}} \dots y_{c_{max}}][\theta_{c_{min}} \dots \theta_{c_{max}}][s_{c_{min}} \dots s_{c_{max}}]$$

Définition du template - Pour chaque point (x, y) du contour
 Calculer la direction du gradient ϕ
 Calculer le vecteur formé par le point d'origine (x_c, y_c) et le point du contour (norme r et direction α)
 Stocker les valeurs dans une table (R-table)

Balayage de l'objet - Pour chaque point (x, y) du contour
 A partir de la direction du gradient ϕ , prendre dans la R-Table les couples (r, α)
Pour chaque (r, α) , calculer

$$x' = r \cos(\alpha) \text{ et } y' = r \sin(\alpha)$$

Pour theta allant de θ_{\min} à θ_{\max}

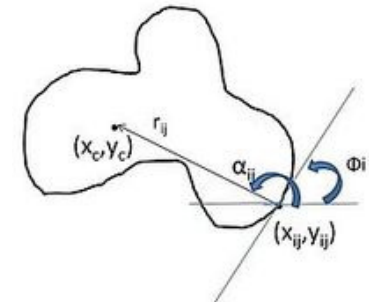
Pour s allant de s_{\min} à s_{\max}

$$\text{calculer } x_c = x - s(x' \cos(\theta) - y' \sin(\theta))$$

$$\text{calculer } y_c = y - s(x' \sin(\theta) + y' \cos(\theta))$$

$$P[x_c][y_c][\theta][s] += 1$$

Les positions possibles du contour correspondent aux maxima locaux de $P[x_c][y_c][\theta][s]$



TRANSFORMEE DE HOUGH GENERALISEE: BILAN

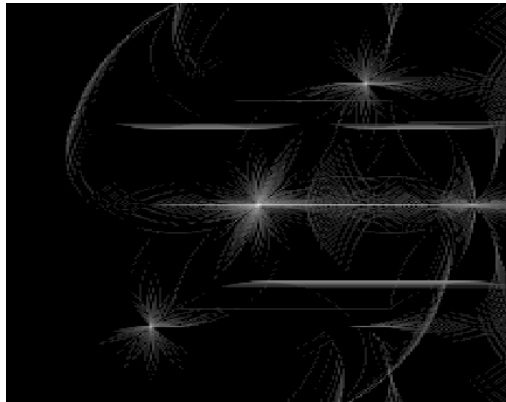
- Une approche simple mais présentant quelques limitations

Avantages	Inconvénients
Reconnaissance de formes quelconques non paramétriques définies par des descripteurs locaux	L'espace des paramètres nécessite un stockage important
Robuste vis à vis des occlusions partielles et des déformations faibles	Lenteur (optimisations possibles: approche hierarchique, projection)
Robuste sur données bruitées	
Robuste en présence de structures additionnelles	

APPLICATION



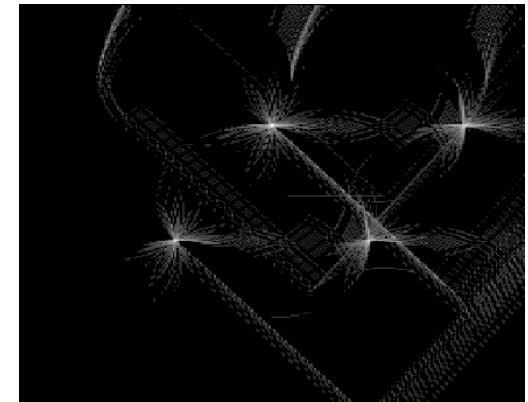
Image binaire



Hough space



Image binaire



Hough space

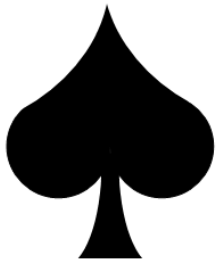
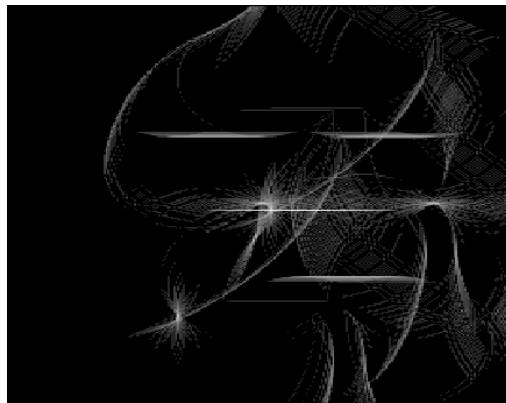


Image binaire



Hough space

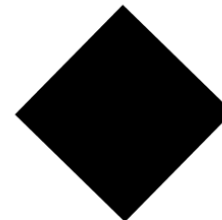
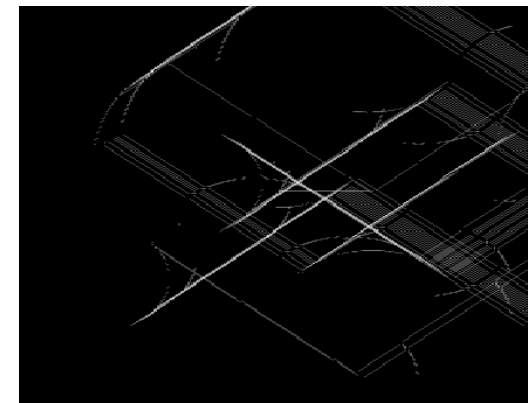


Image binaire



Hough space

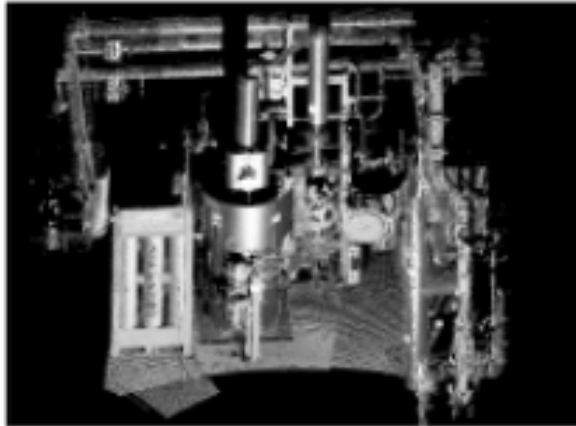
AGENDA

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- **Extension 3D**

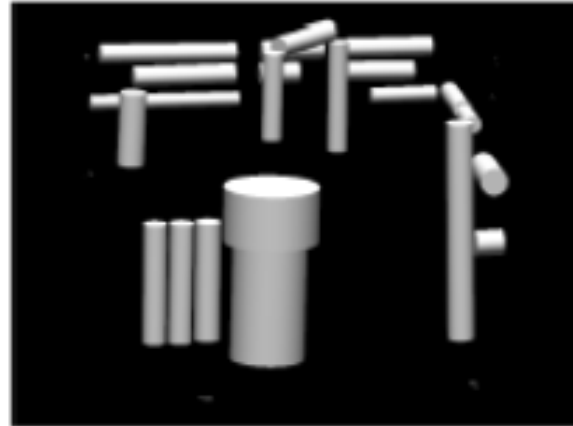
EXTENSION AUX OBJETS 3D

- Extension directe à des objets de dimensions 3:
 - Détection de plans d'équation $ax + by + cz = d$
 - Détection de sphères d'équation $\left(\frac{x-a}{R}\right)^2 + \left(\frac{y-b}{R}\right)^2 + \left(\frac{z-c}{R}\right)^2 = 1$
 - Détection d'ellipsoïdes d'équation $\left(\frac{x-a}{r_x}\right)^2 + \left(\frac{y-b}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{z-c}{r_z}\right)^2 = 1$
 - ...
- Les algorithmes nécessitent des optimisations d'implémentation permettant de réduire les dimensions de l'espace des paramètres

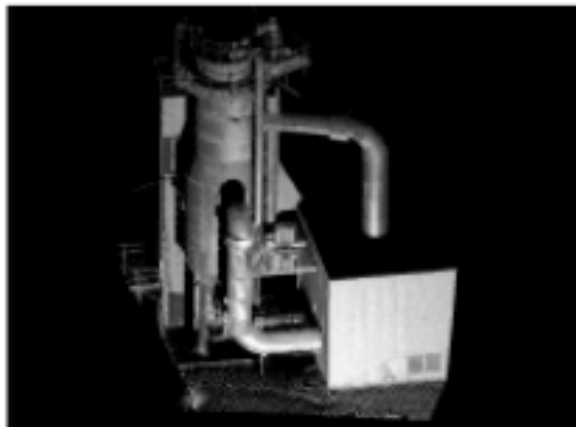
MODELISTATION 3D TQC



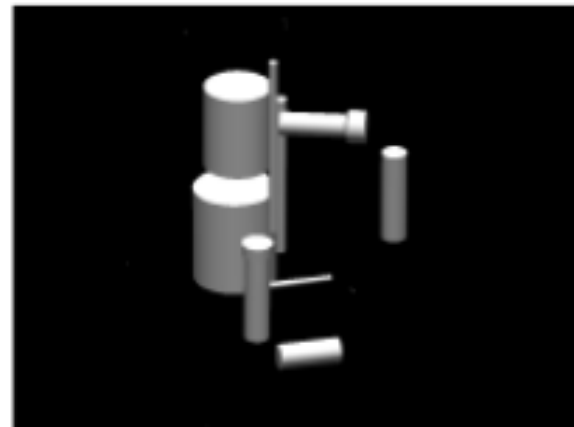
(a)



(b)



(c)



(d)