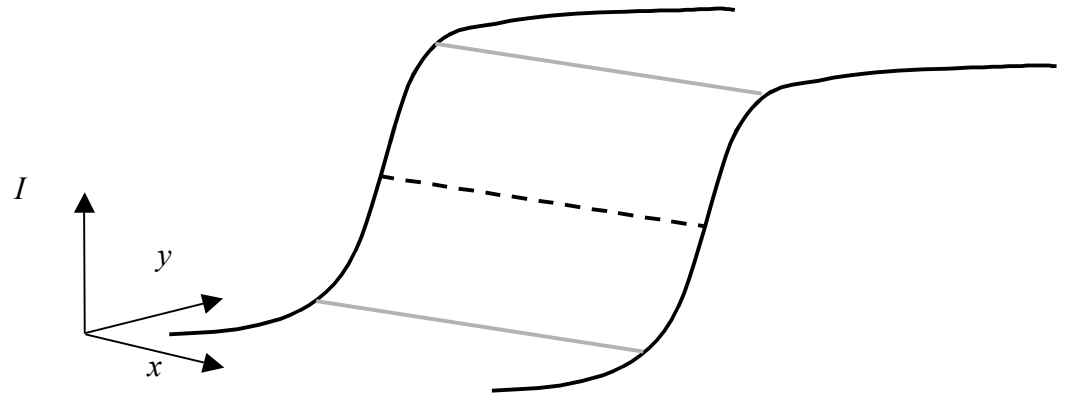
Détection de contours

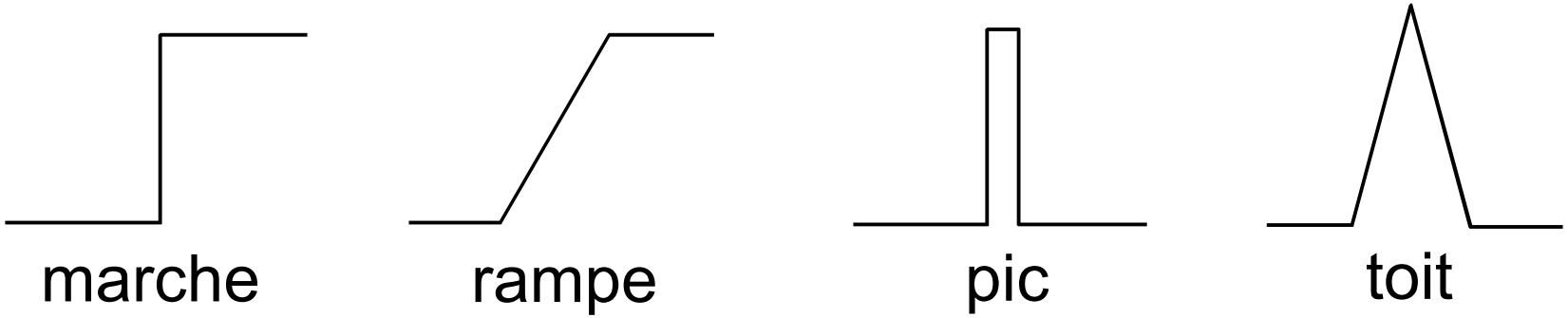
- Qu'est-ce qu'un contour
- Détecteurs de points de contours
- Segmentation de contour
  - Approximation
  - Approximation robuste
  - Transformée de Hough

Qu'est-ce qu'un contour ?

- zone de forte transition
- orientée
- point de variation maximum ?

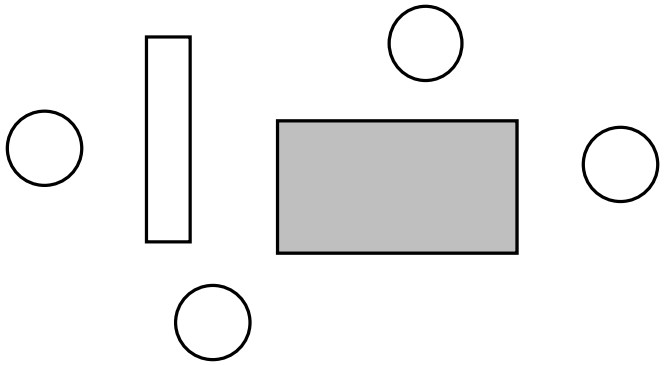


type de contours :

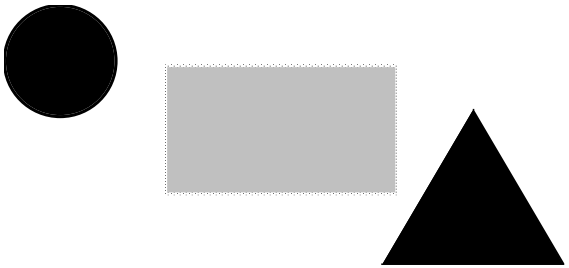


Bruit sur un contour :

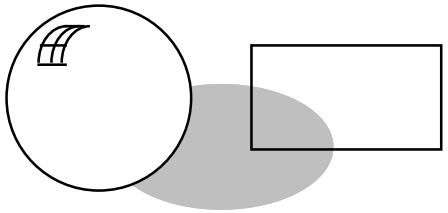
Niveau macroscopique :



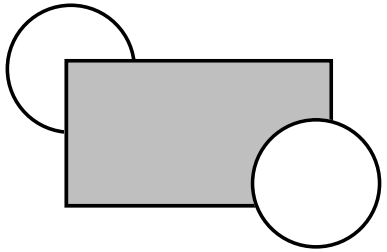
Immergé au milieu d’autres contours



Contraste faible



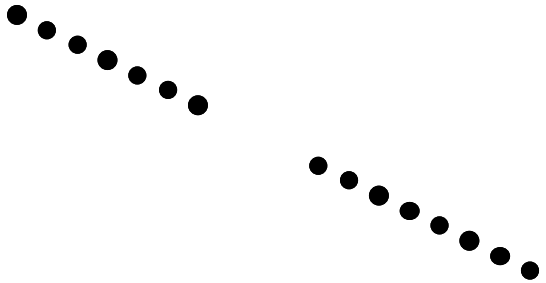
Ombres et reflets



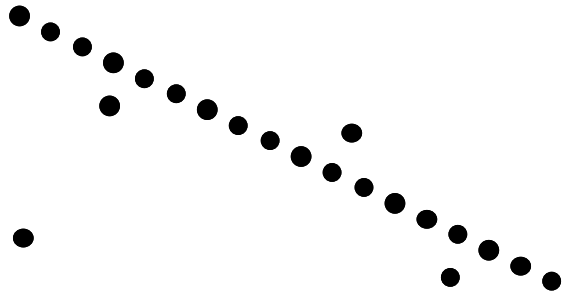
Occultations locales

Bruit sur un contour :

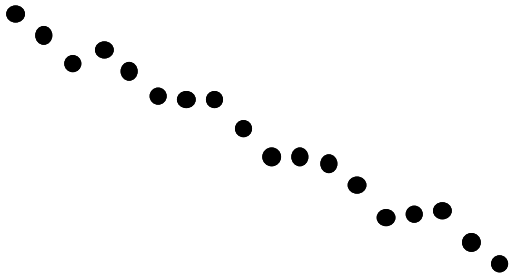
Niveau microscopique :



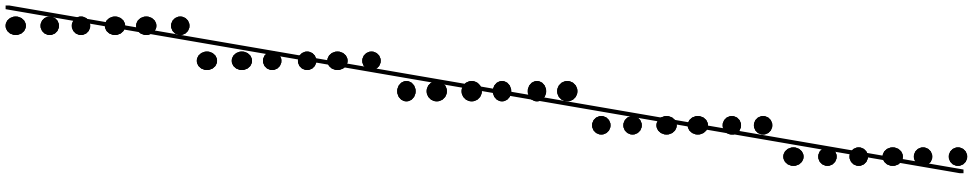
Points manquants



Points parasites

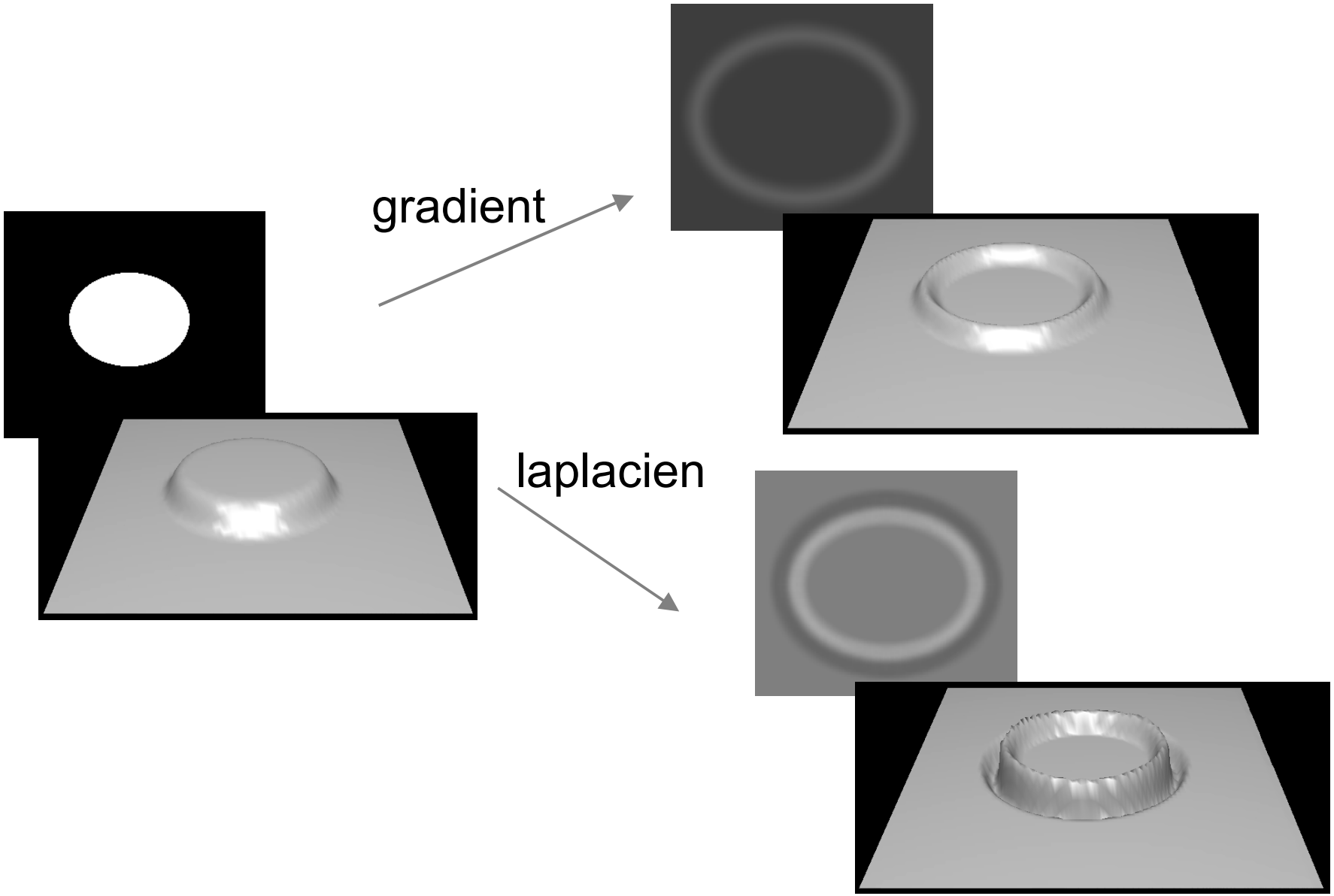


Contours imprécis

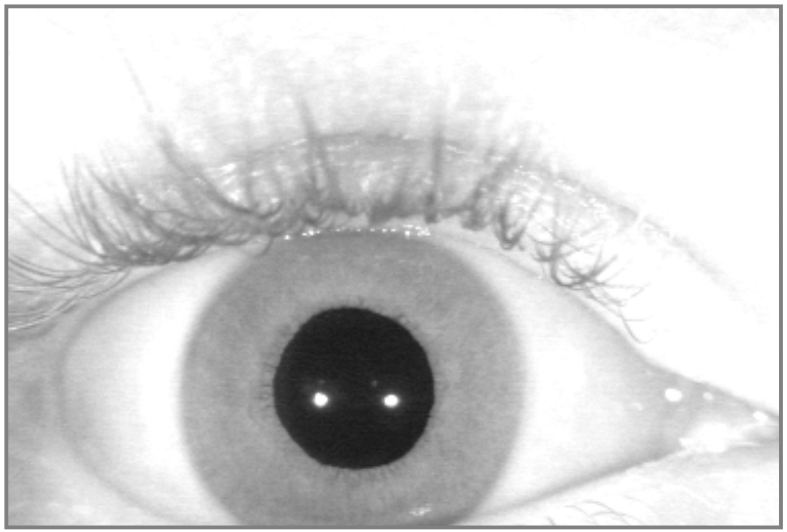


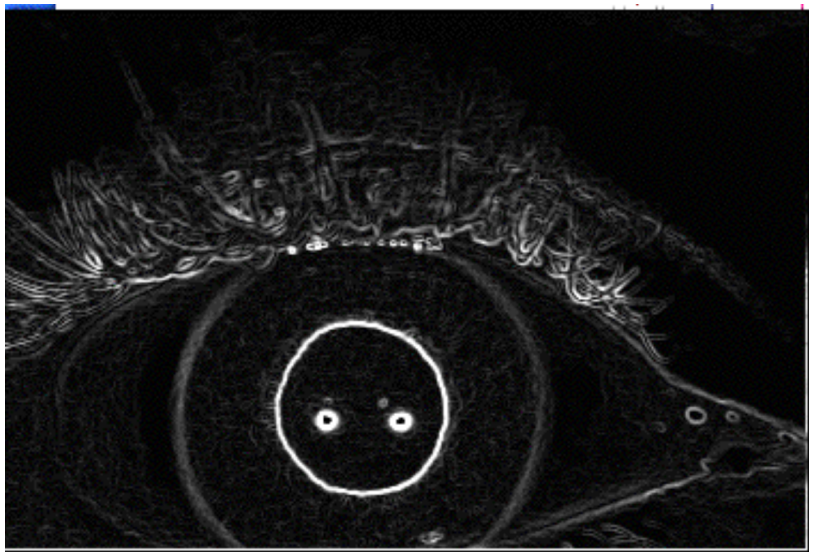
Contours discrets

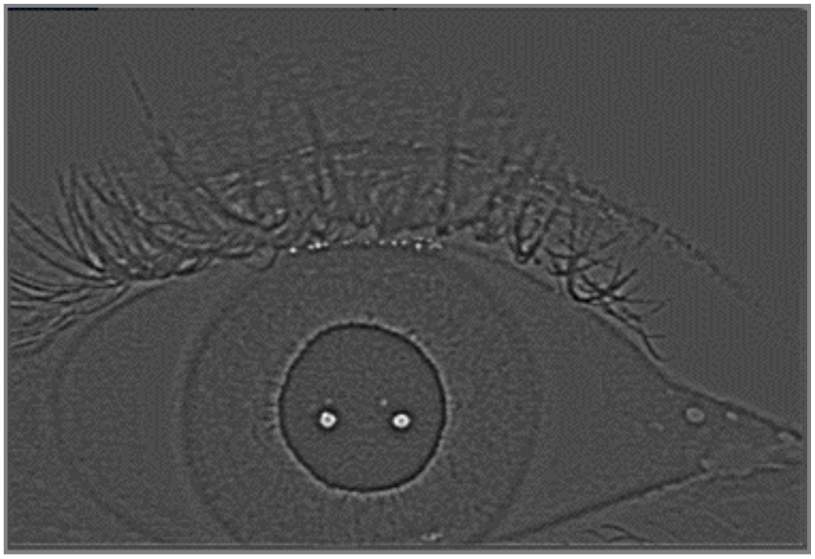
Indicateurs élémentaires :



Gradient et Laplacien :







Détecteur de points de contours

➔ Mesures scalaires non structurées.

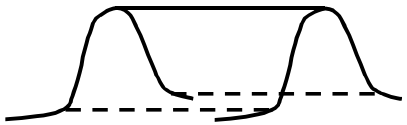
- Il faut encore prendre une décision pour extraire les points de contours (seuillage …).
- On n'obtiendra qu'un ensemble de points sans structure particulière.

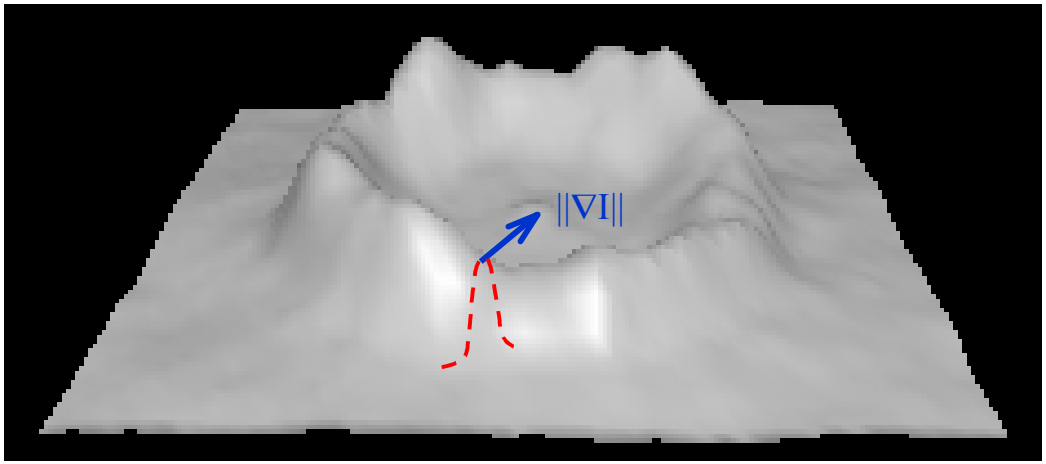
➔ Sensible au bruit : les variations d'intensité dues au bruit sont aussi des points de fort gradient ou de passage par zéro du laplacien

➔ Nécessité de pré-traitements ou de post-traitements

Détecteur par gradient :

➔Contours ≈ zones de fort gradient





Que se passe-t-il quand
le contraste diminue ?

➔Contours : maximum du gradient
dans la direction du gradient

Gradient : principe général

- Calcul des images des dérivées partielles et de la norme du gradient.

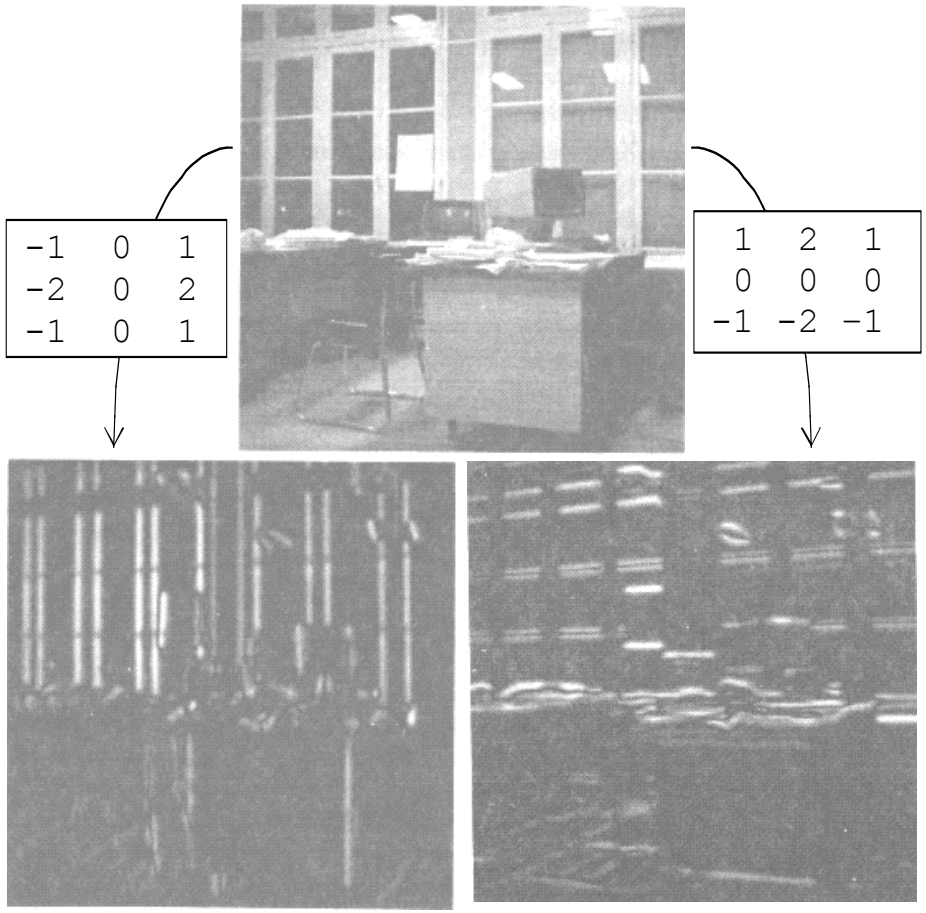
- Extraction des maxima locaux du gradient dans la direction du gradient.

- Seuillage par hystérésis de l'image des maxima locaux (sur la norme du gradient).

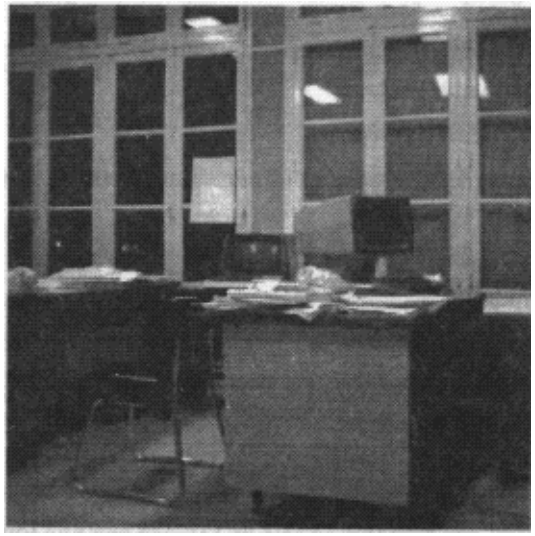
Maxima locaux du gradient dans la direction du gradient :

Point **M** = I(x,y)

- dérivées partielles Idx(x,y) et Idy(x,y) (ex : masques de Sobel)
- Gradient en M : G(x,y) = (Idx(x,y), Idy(x,y))



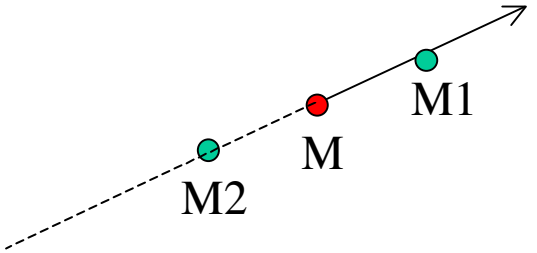
Maxima locaux du gradient dans la direction du gradient :



➔ La direction du gradient $\mathbf{u}=(Gx/N_G , Gy/N_G)$ avec $N_G = \|G\|$

➔ on désigne deux voisins $\mathbf{M_1}$ et $\mathbf{M_2}$ dans la direction $\mathbf{u}$

Ex. : $\mathbf{M_1}=\mathbf{M}+\mathbf{u}$ $\mathbf{M_2}=\mathbf{M}-\mathbf{u}$

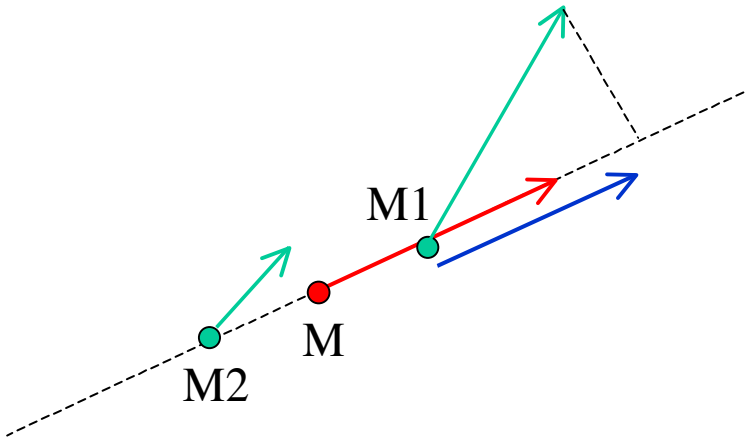


Maxima locaux du gradient dans la direction du gradient :

- évaluation de $G(\mathbf{M_1})$ et $G(\mathbf{M_2})$
  - par interpolation bilinéaire
  - ou avec une valeur approchée : gradient du pixel le plus proche

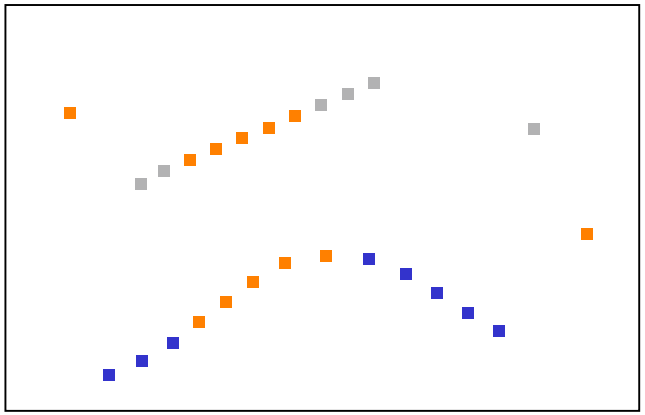
➔ M est un maximum local si

et
- $|G(\mathbf{M})| > |u.G(\mathbf{M_1})|$
- $|G(\mathbf{M})| \geq |u.G(\mathbf{M_2})|$



Seuillage par hystérésis :

➔ Première sélection avec un seuil « haut » *(points fiables)*

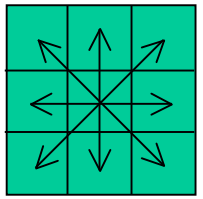


➔ Deuxième sélection avec

- un seuil « bas »
- et une contrainte de connexité
  (recherche récursive à partir des points fiables)

Laplacien : principe général

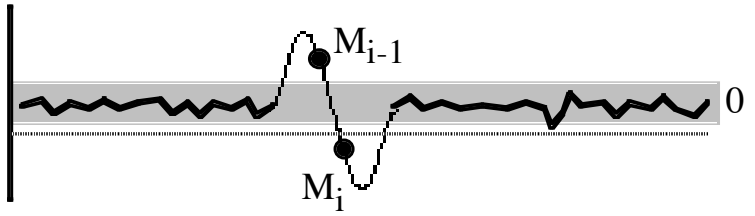
Recherche des passages par zéro du Laplacien

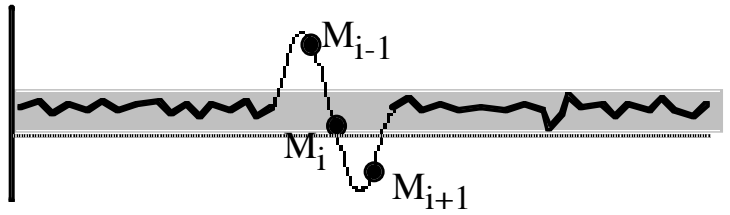


- Calcul du laplacien
- Fixer un seuil s
- Etudier les 8 directions autours d'un pixel M_i
- M_i est un point de contour si une des 2 conditions est vérifiée :

  $L(M_{i-1}) > s$ et $L(M_i) < -s$

  $L(M_{i-1}) > s$ et $|L(M_i)| \leq s$ et $L(M_{i+1}) < -s$





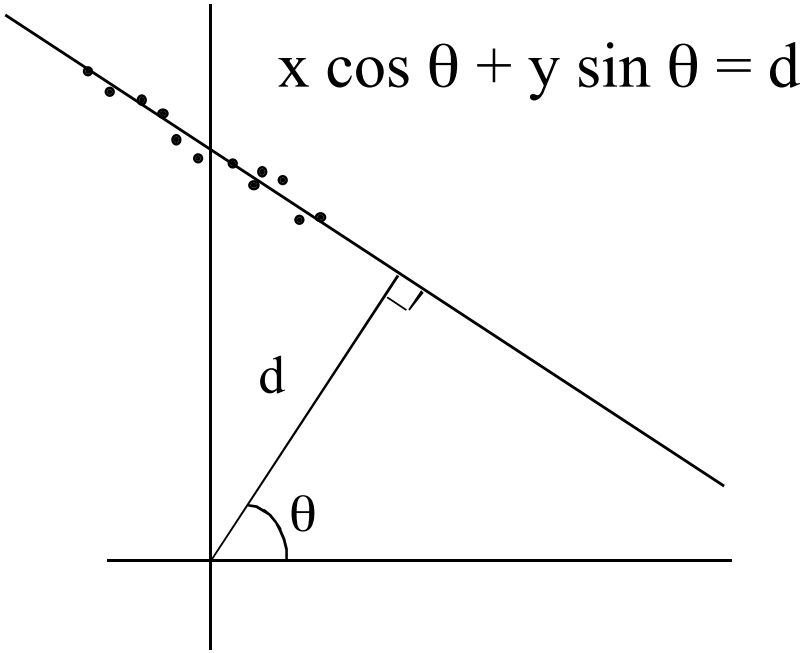
Gradient et Laplacien

- Techniques assez proches.
- La technique du gradient est moins sensible au bruit mais de complexité plus importante
- L'opérateur/filtre utilisé pour les dérivations a une influence sur les résultats.
- Les deux techniques ne donnent qu'un ensemble non structuré de points.

Segmentation

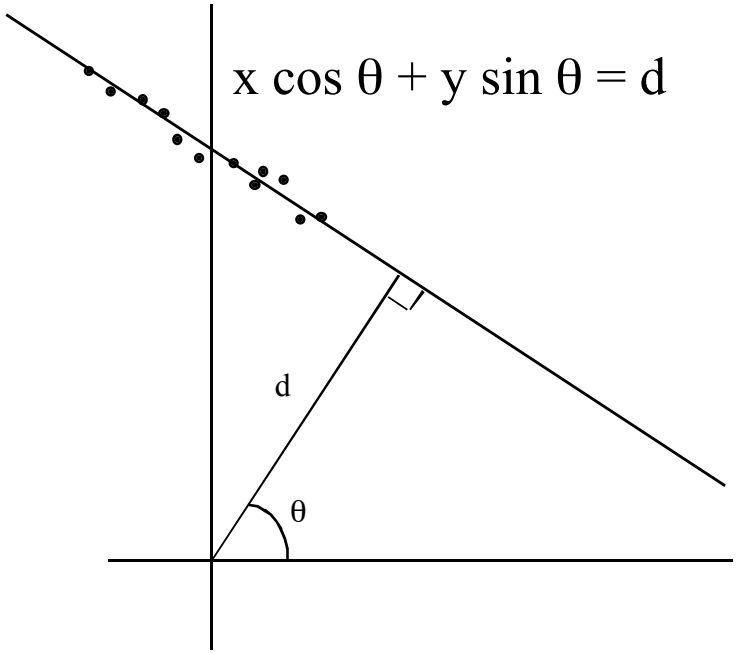
➔ structuration de points

Approximation par une droite :



Soit e_i la distance d'un point (x_i, y_i) à cette droite :

$$e_i = | x_i \cos\theta + y_i \sin\theta - d |$$



Erreur quadratique :

$$E = \Sigma_{i=1,n} \; e_i^2$$

Minimiser l'erreur quadratique :

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = 0 \qquad \text{et} \qquad \frac{\partial E}{\partial d} = 0$$

➔ $d = X \cos\theta + Y \sin\theta$ et $tg(2\theta) = A / B$

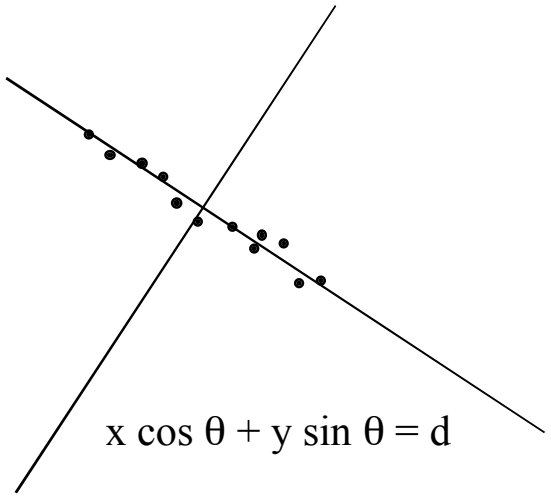
avec :

$X = 1/n \, \Sigma_{i=1,n} \, x_i$ $\quad$ $Y = 1/n \, \Sigma_{i=1,n} \, y_i$

$x'_i = x_i - X$ $\quad$ $y'_i = y_i - Y$

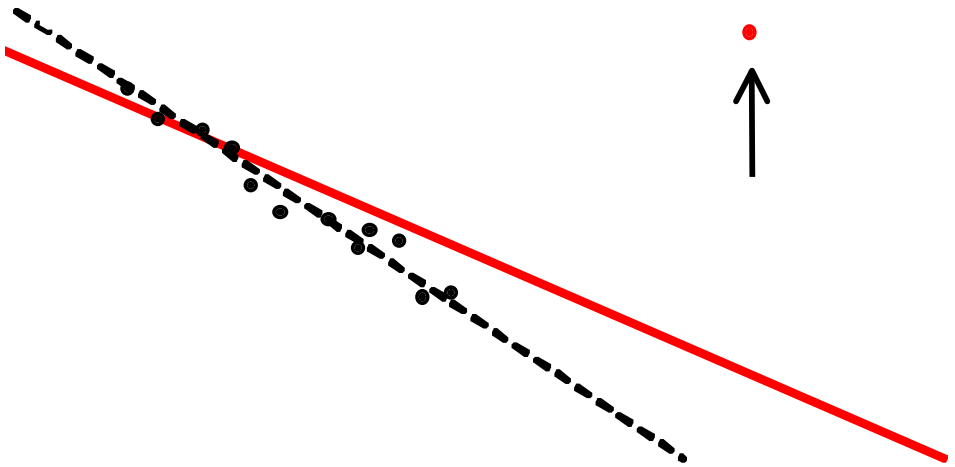
$A = 2 \, \Sigma_{i=1,n} \, x'_i \, y'_i$ $\quad$ $B = \Sigma_{i=1,n} \, x'^2_i - \Sigma_{i=1,n} \, y'^2_i$

arctg(A/B) / 2 est une solution à $\pi/2$ près.



Approximation robuste :

Un point erroné peut fausser l'approximation



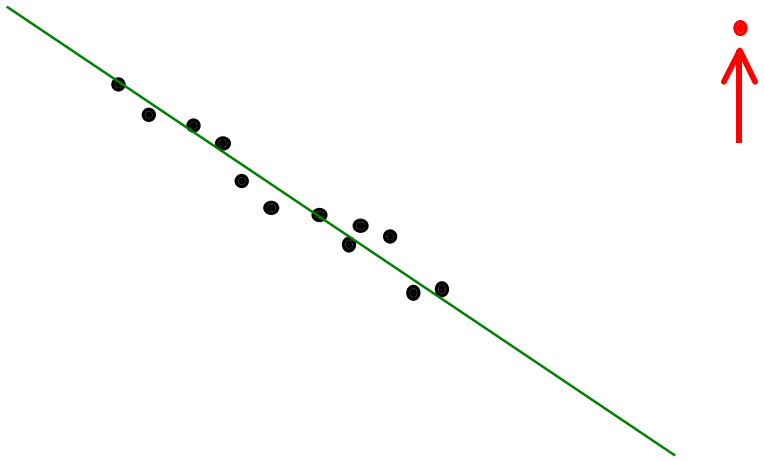
Comment ignorer ces points ?

Deux questions sous-jacentes au problème soulevé :

- ➔ y a-t-il suffisamment de points représentatifs ?
- ➔ quels sont les bons représentants de cette droite ?

Supposons N points de contours dont au moins N/2 sont « alignés » :

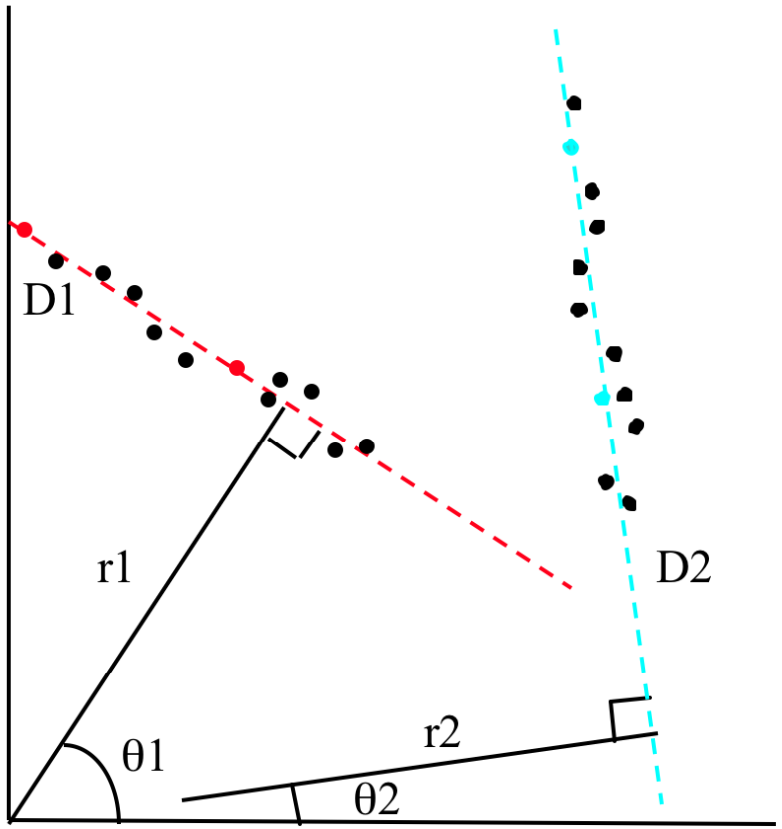
- soit n << N
- approximer par la méthode des moindre carrés
- écarter les n points les plus éloignés
- recommencer l'opération si nécessaire sur les points restants

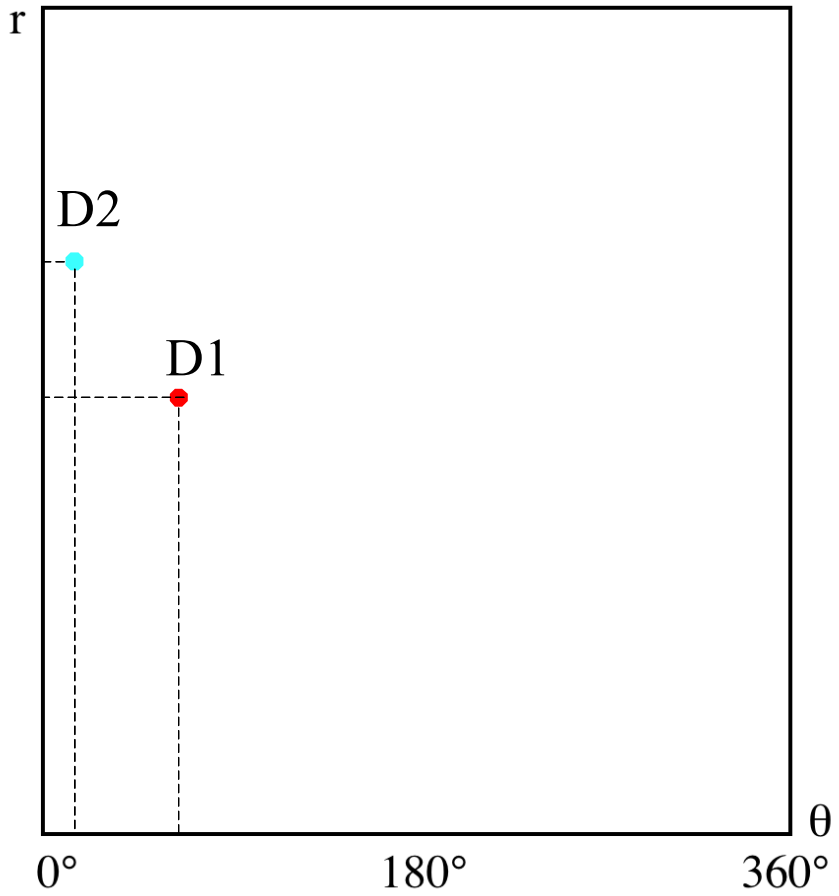


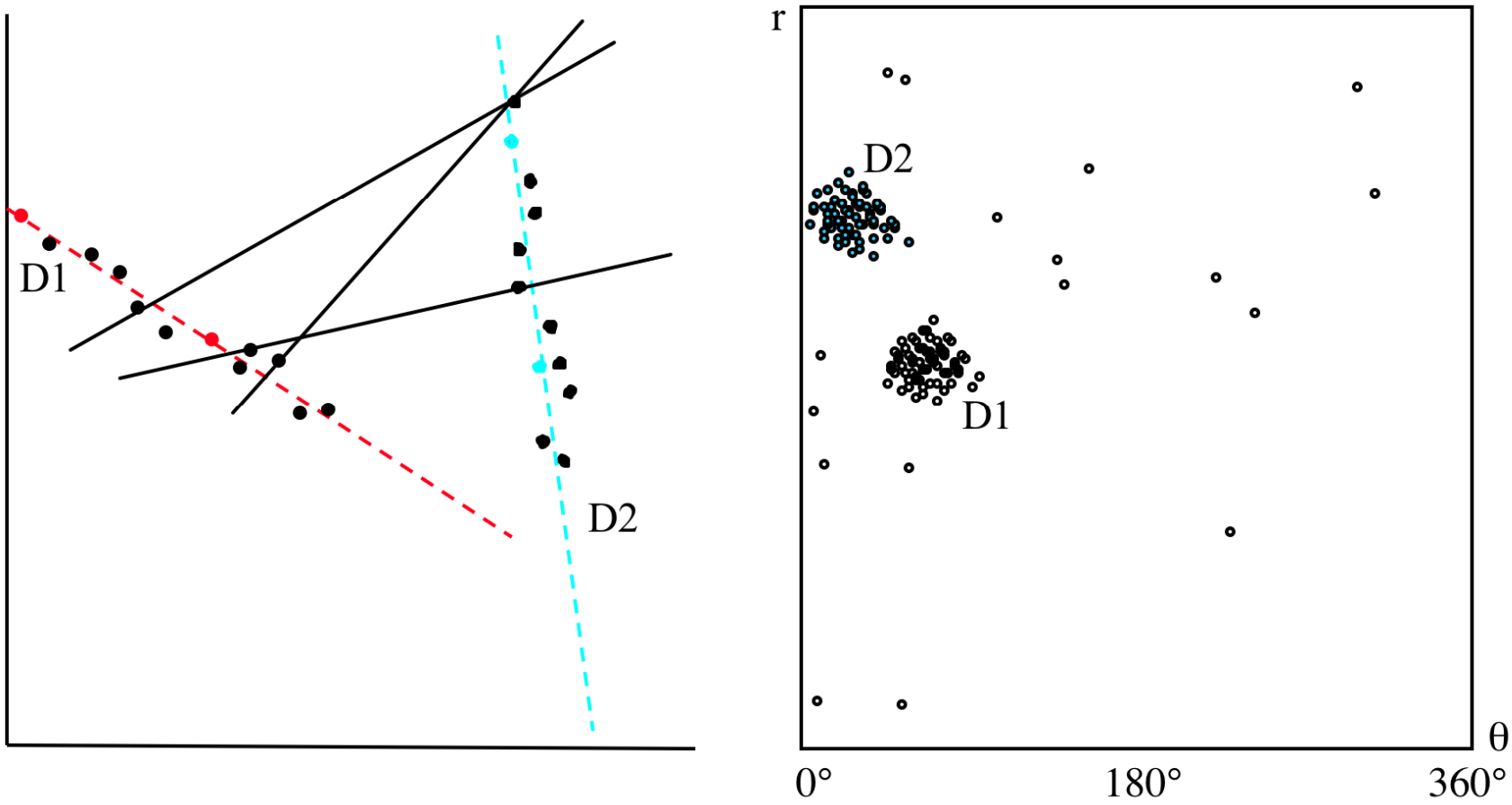
Transformée de Hough :

Cas des droites, transformée de *m à 1* :

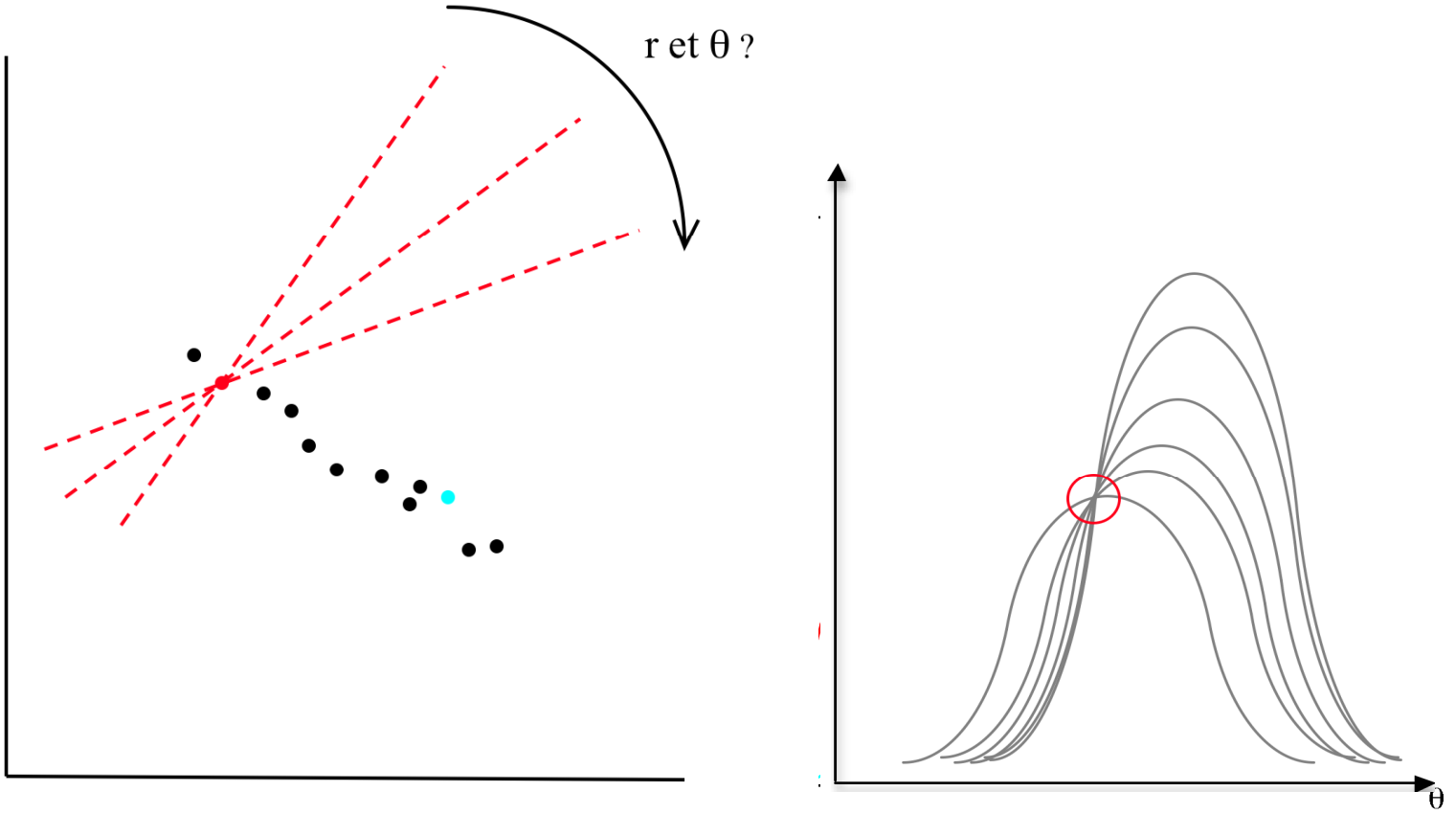
Cas des droites en coordonnées polaires ($r = x \cos\theta + y \sin\theta$)



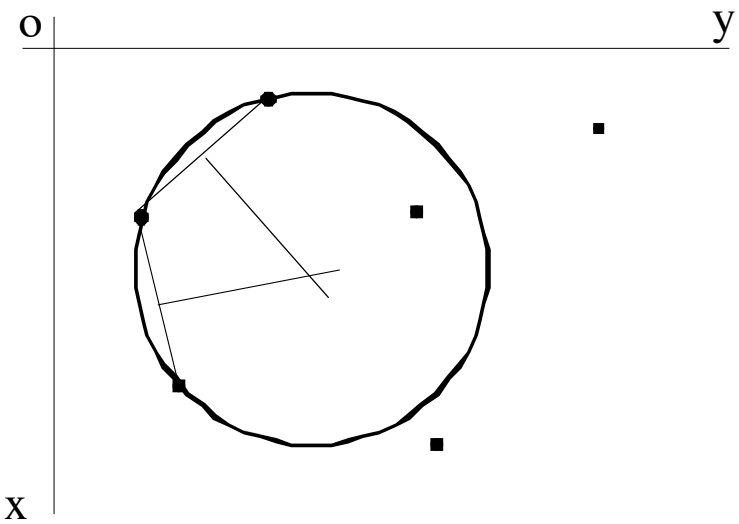


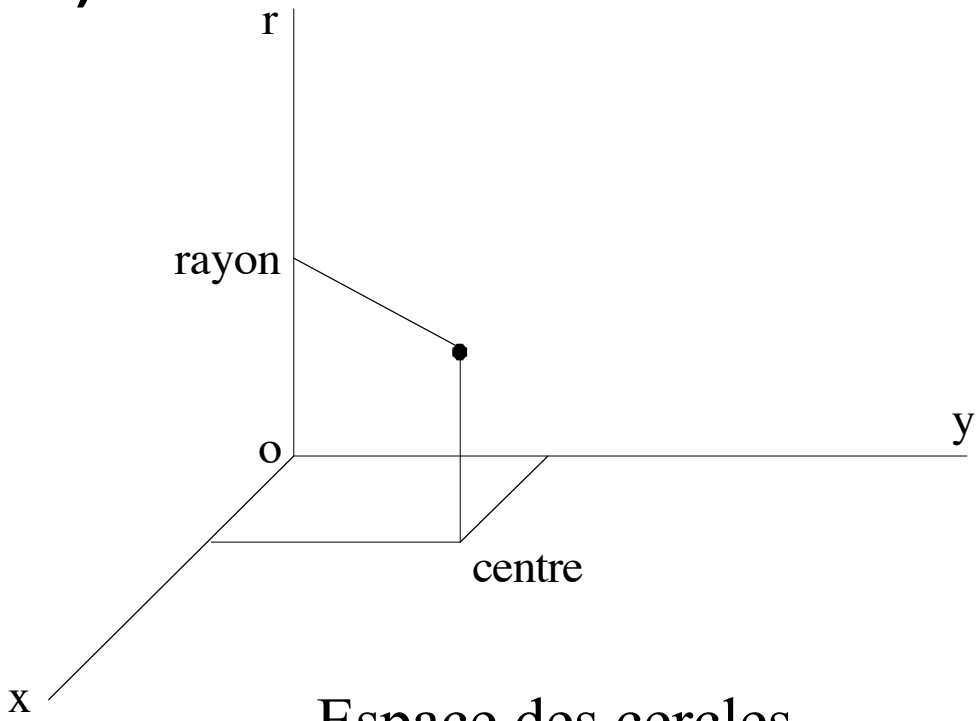

D1
D2
r
D2
D1
θ
0°
180°
360°

Transformée de *1 à m*



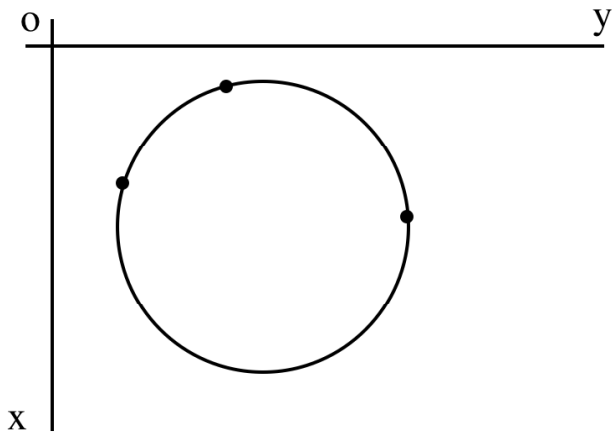
Recherche de cercles (de *m à 1*)

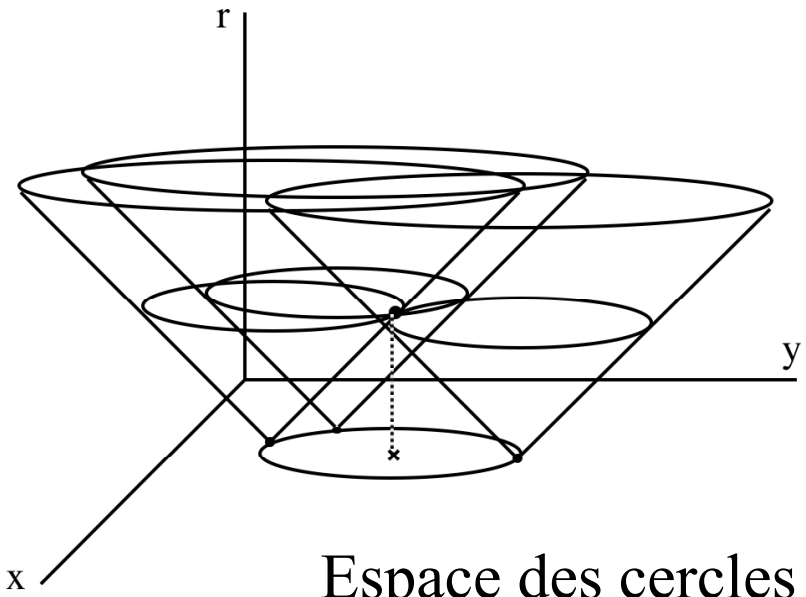




Espace des cercles
passant par 3 points

Recherche de cercles (de *1 à m*)





Espace des cercles
passant par un point

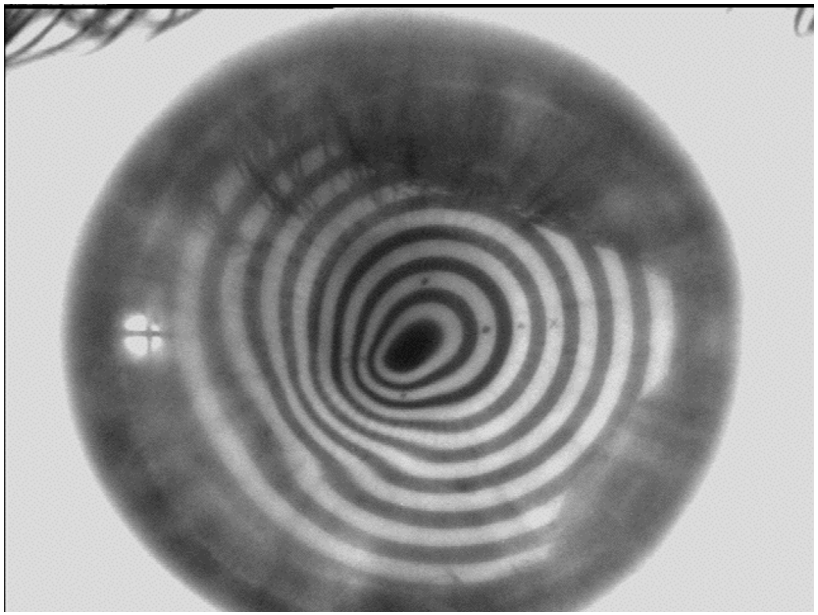
Transformée de Hough : généralisation

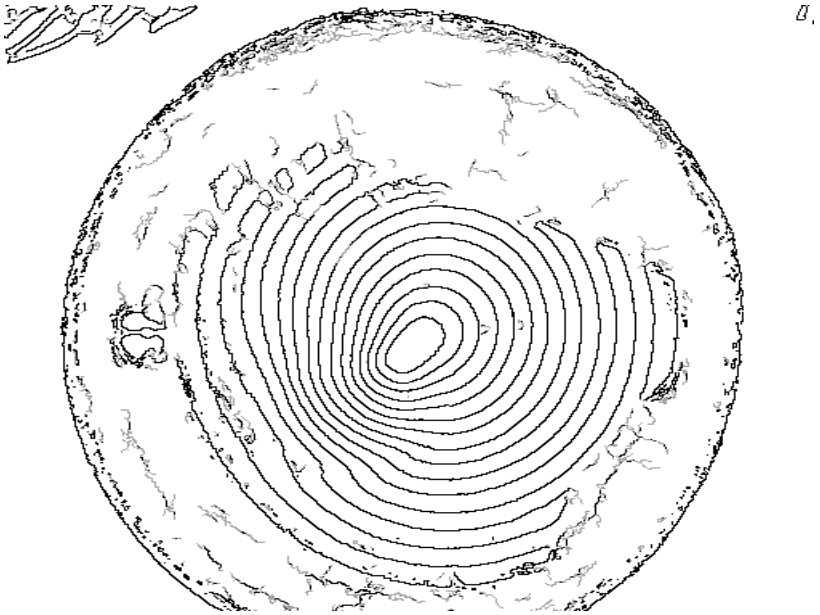
➔ Détection de courbes d'une famille paramétrique

Quatre étapes importantes :

1. sélection des p-uplets de points caractéristiques pour :
   - limiter la combinatoire
   - améliorer l'émergence des maxima
2. choix de l'espace de Hough et de sa discrétisation
   - limiter la taille de l'espace
   - disposer d'un espace homogène (classes équiprobables)
3. transformation de Hough (possibilité de pondérer les votes)
4. recherche des maxima significatifs (quad-tree, nuées dynamiques…)

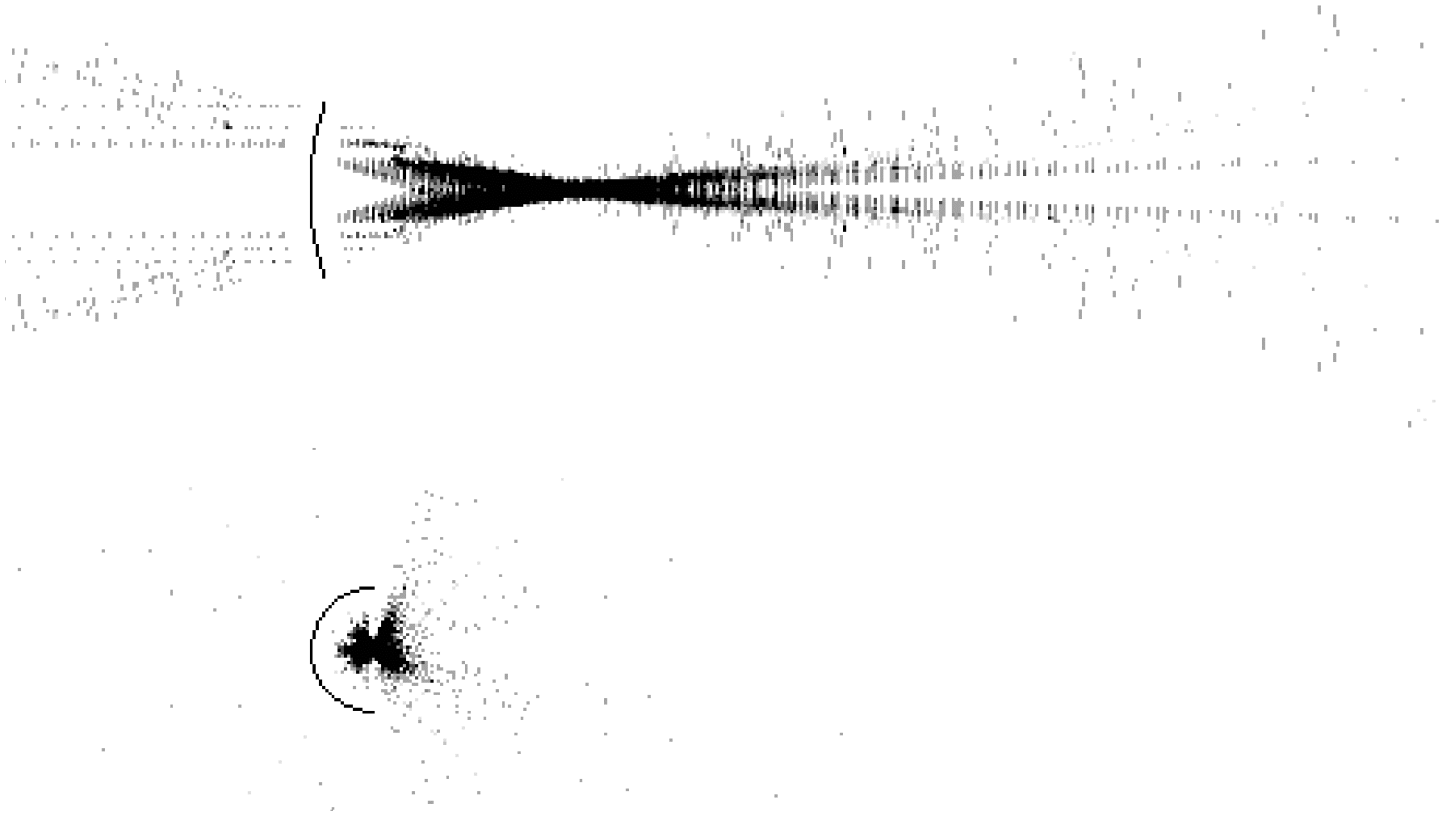
Exemple 1 : calcul de courbure sur un voisinage restreint



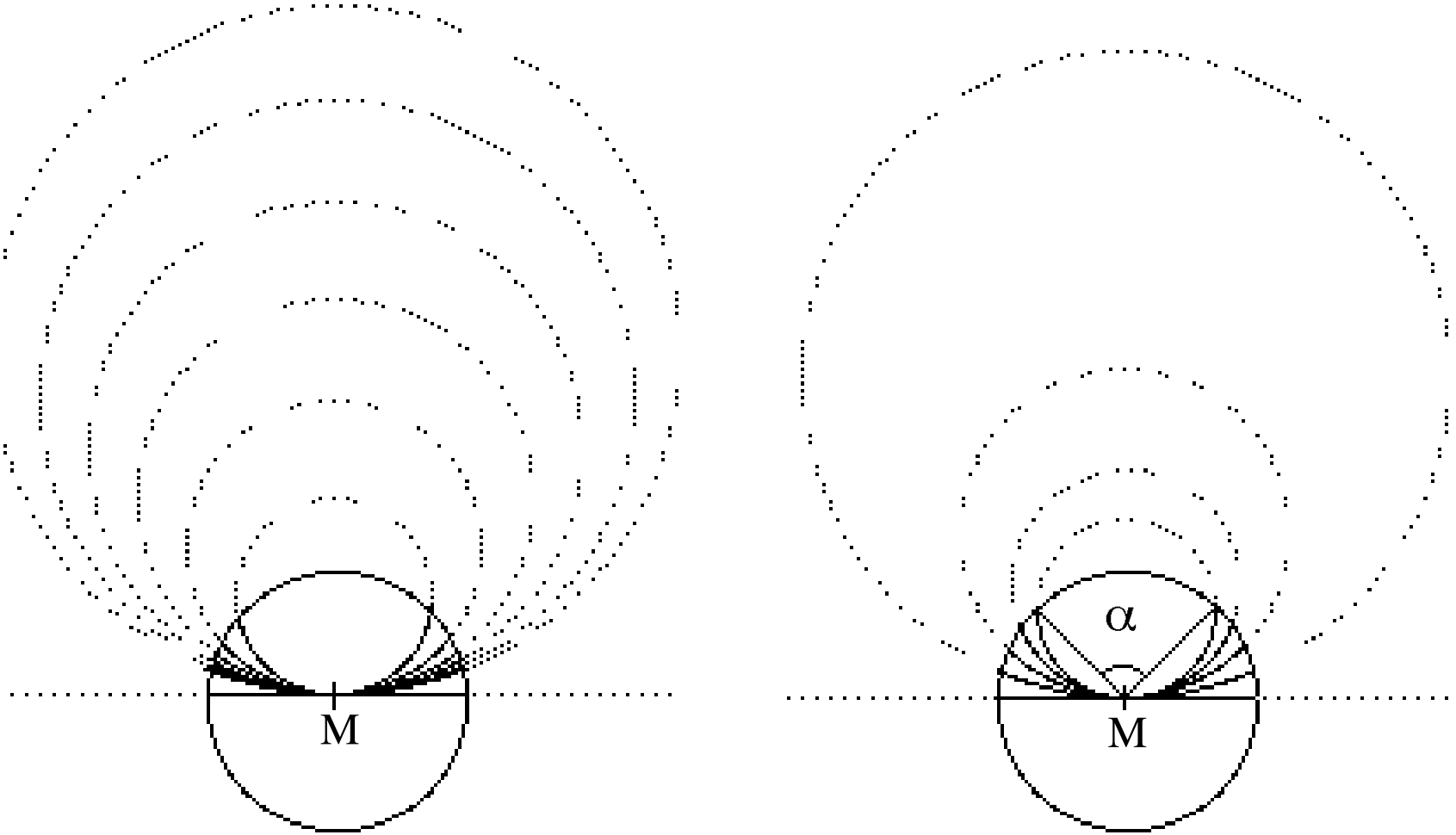


Centre de courbure au voisinage d’un point :

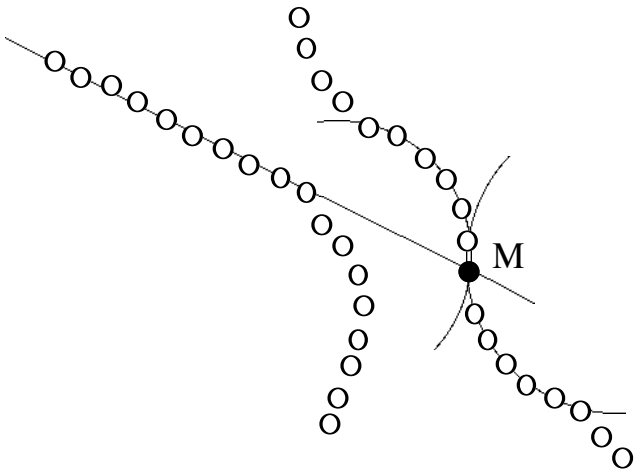
➔ espace non homogène

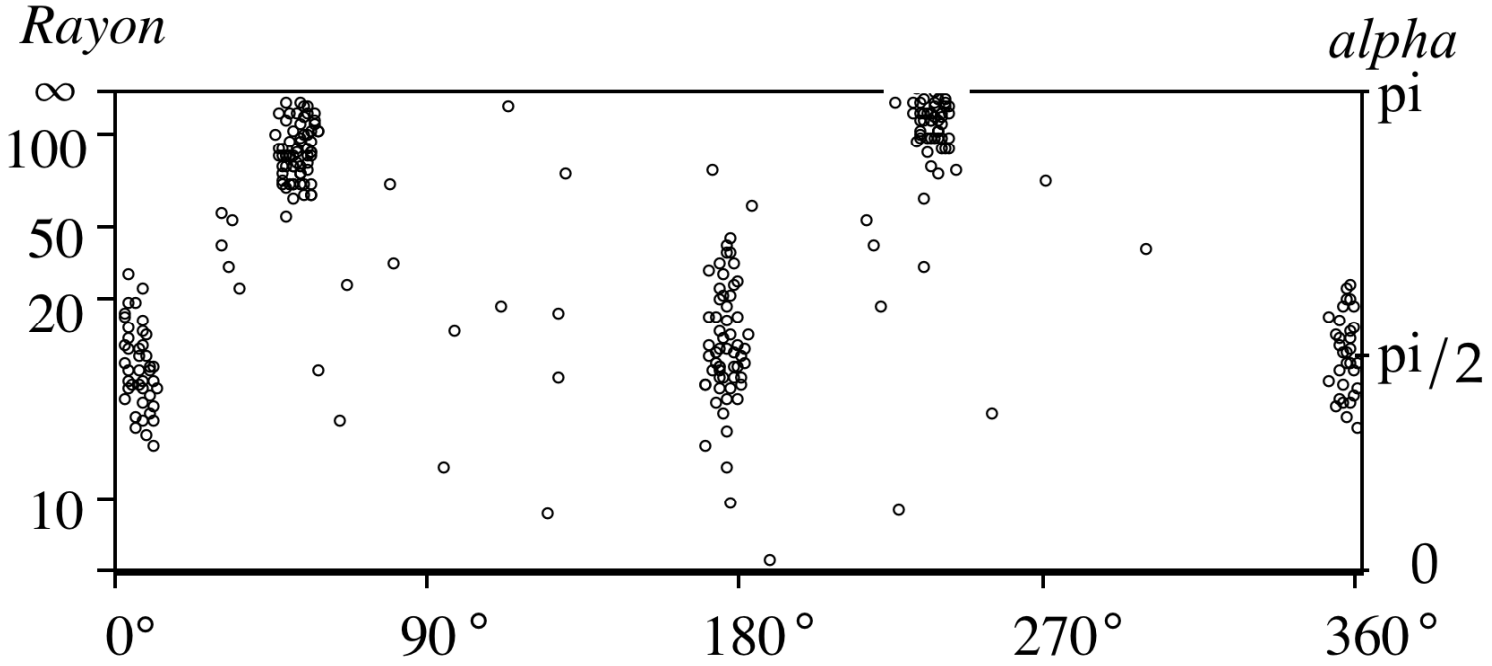


Choix d’un espace homogène :

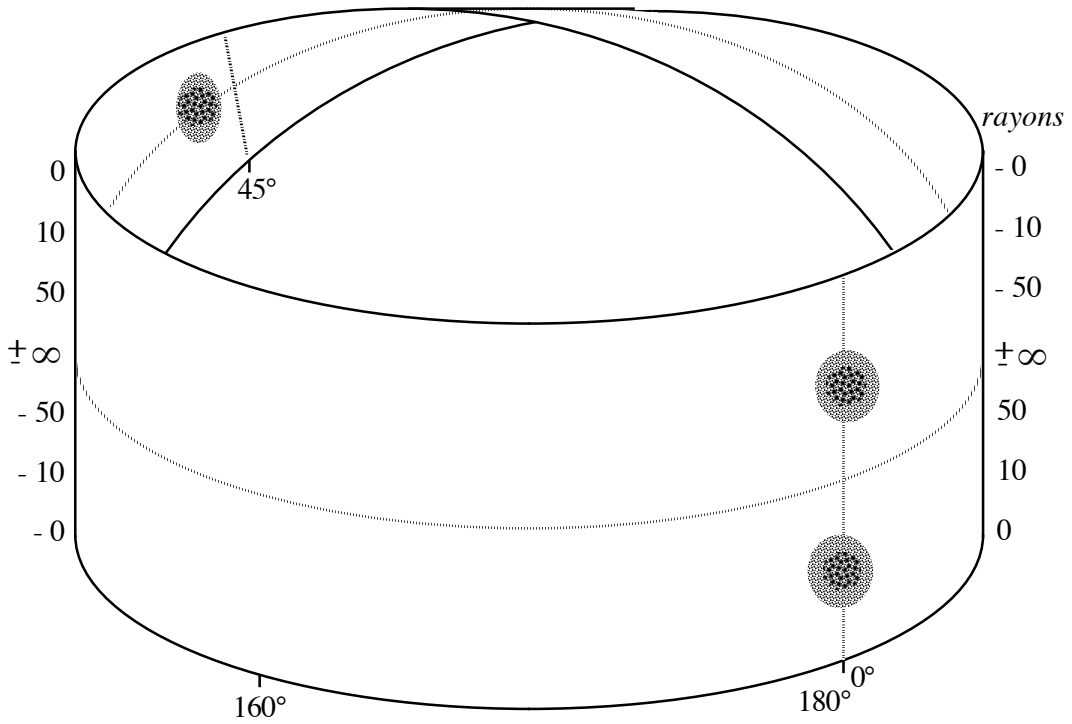


Un espace homogène
des centres de courbure

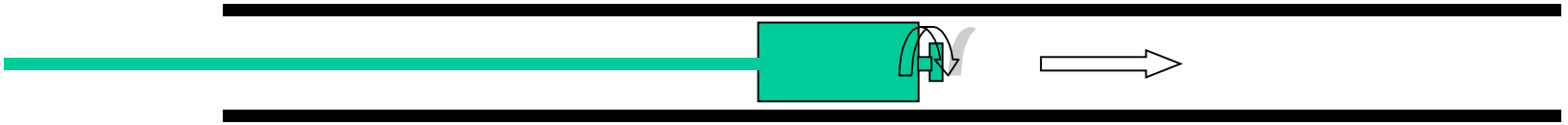


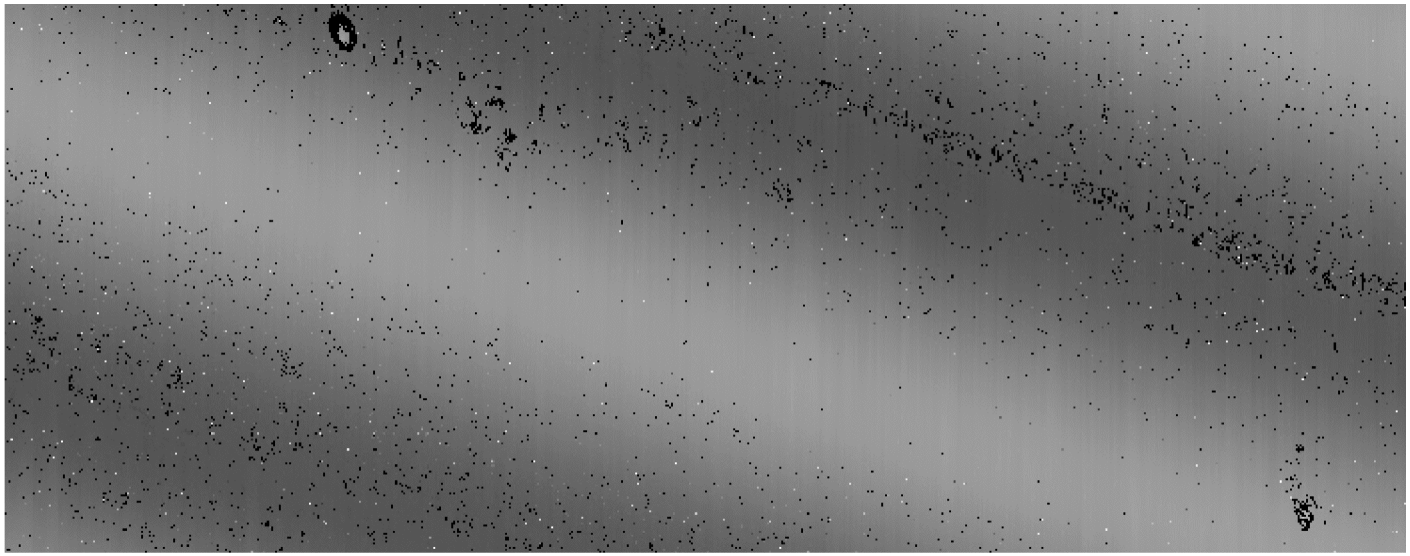


Topologie de l’espace des centres de courbure

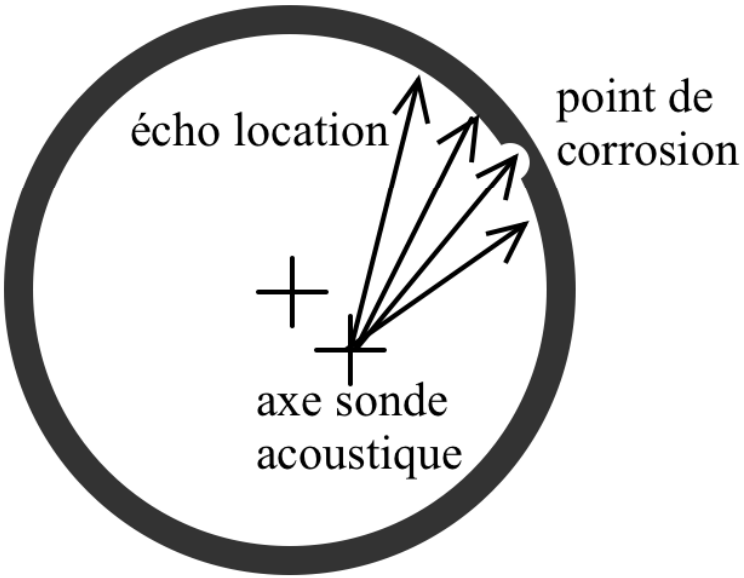


Exemple 2 : Détection par ultrason de points de corrosion dans un tube



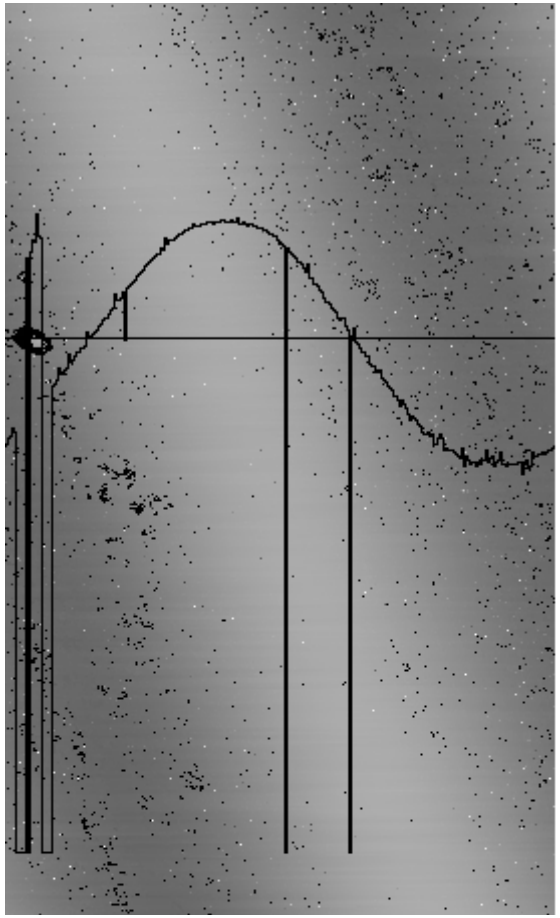


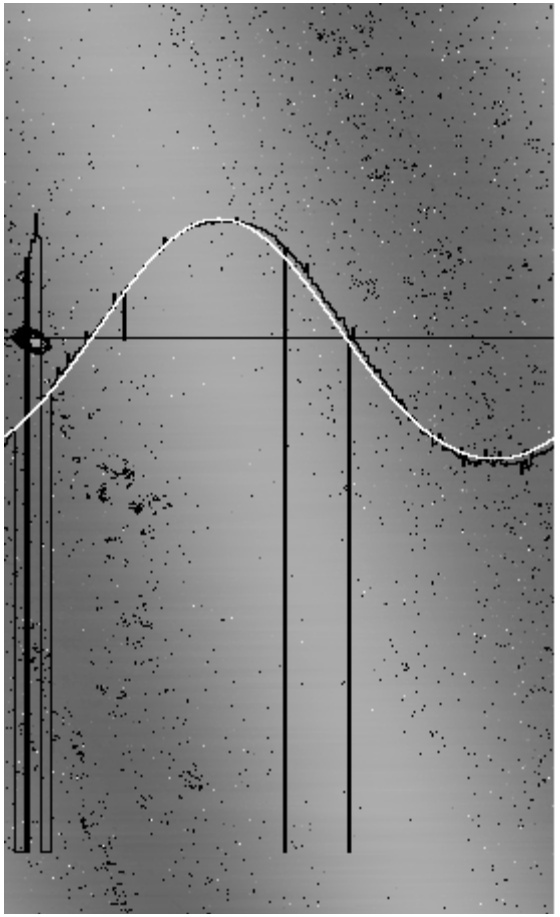
Sonde désaxée



Section d'une conduite

Recherche du « fond de l’image »

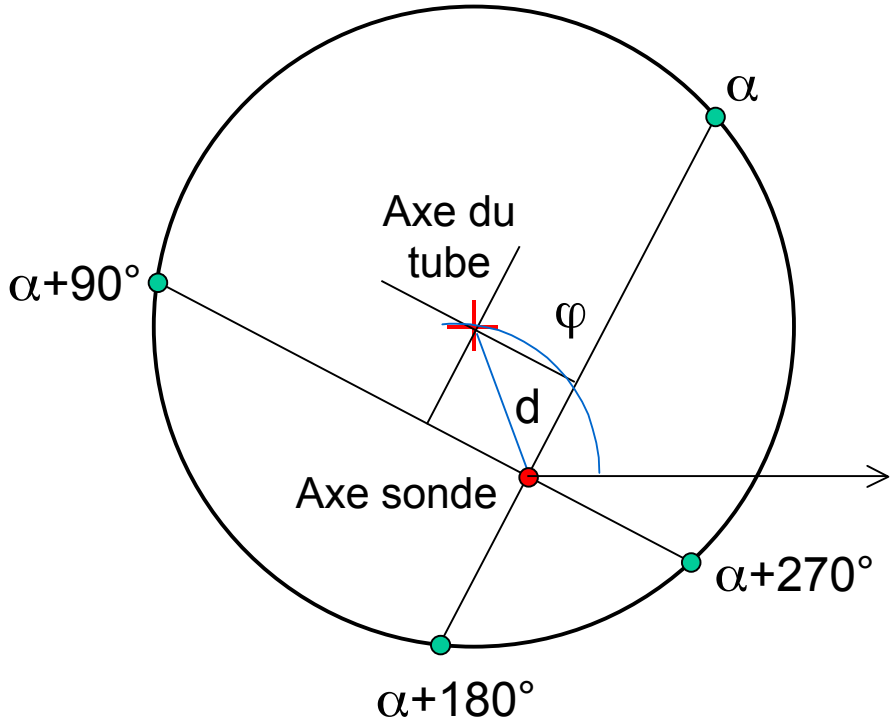
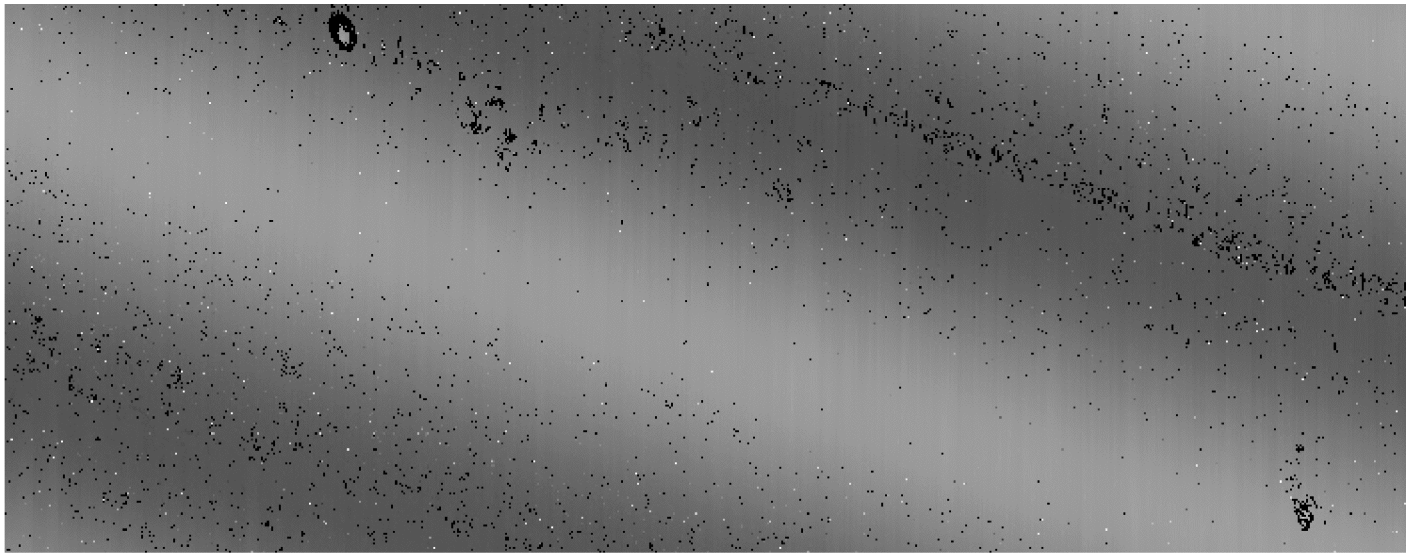
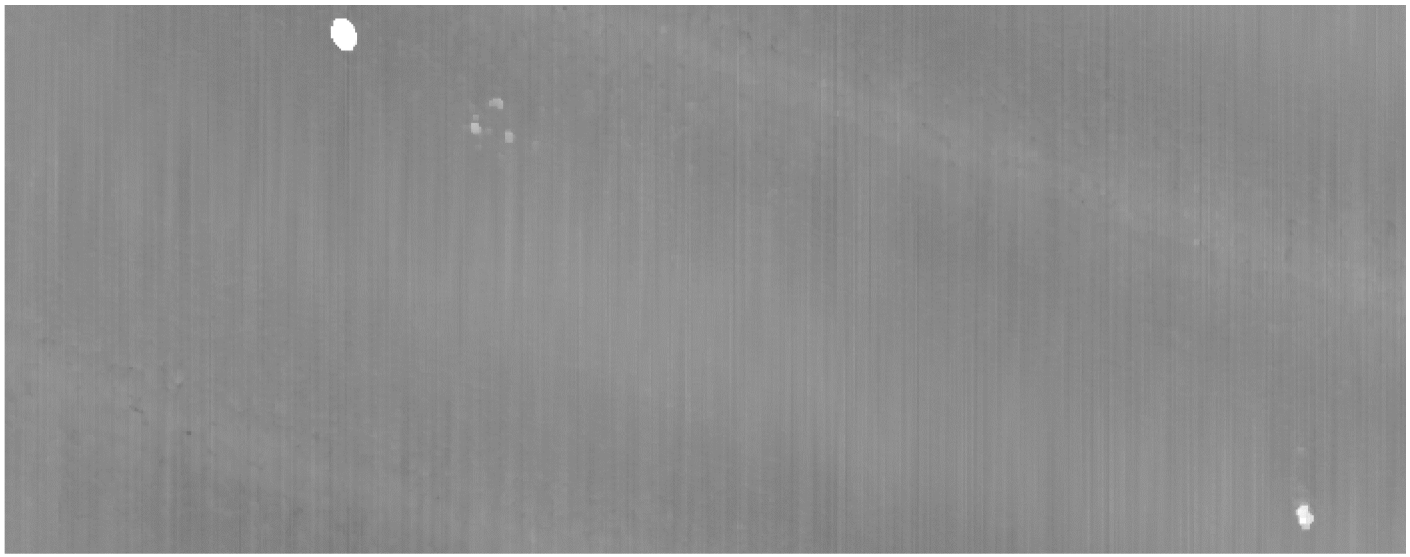




Recherche rapide du centre du tube :

pour les 90 premiers points de mesures (angles de 0 à 90°)

- sélectionner les 3 autres points cardinaux pour définir 2 cordes perpendiculaires
- calculer les deux médiatrices des 2 cordes
- calculer leur intersections
- comptabiliser ce point dans l'espace des centres



Recalage de l’image et filtrage morphologique