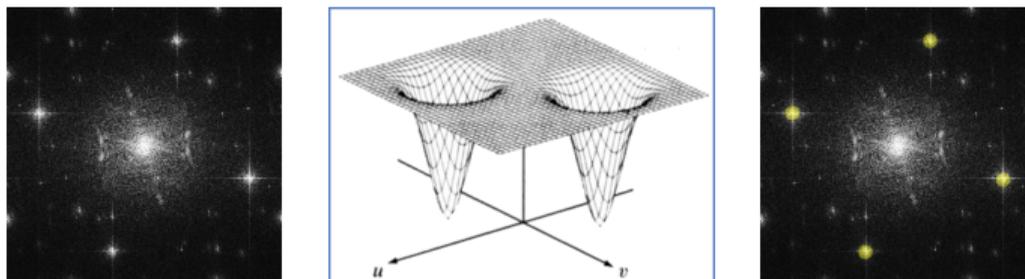


## Partie C — thème 7

### Débruitage (1) : bruit périodique



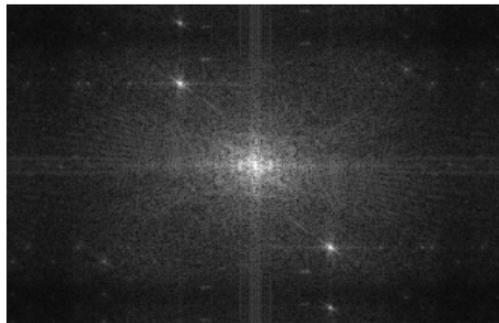
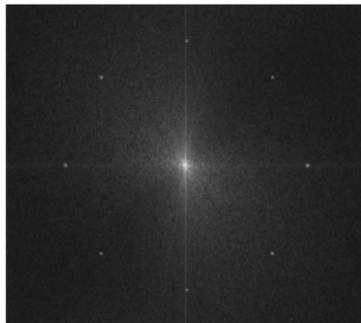
- ▶ famille des méthodes de restauration d'image
- ▶ causes : acquisition, reconstruction, transmission, compression, etc.
- ▶ caractérisation : *périodique* ou aléatoire
- ▶ bruit périodique : traitement fréquentiel

# 1. Caractérisation

- ▶ se présente sous la forme de **trames** régulières (défaut d'acquisition, interférences, tramage d'impression, etc.)

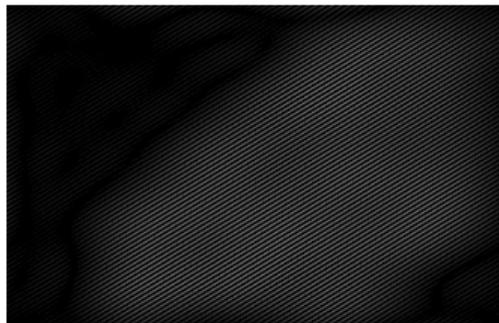
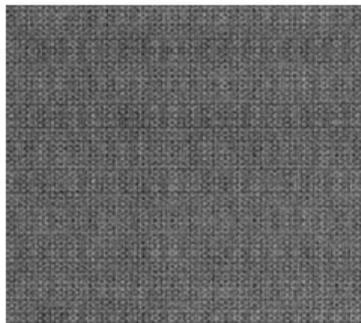


- ▶ caractérisation fréquentielle : fréquences isolées

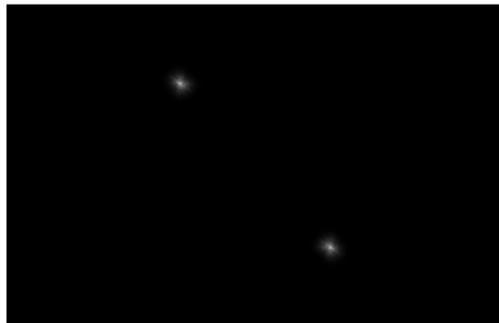
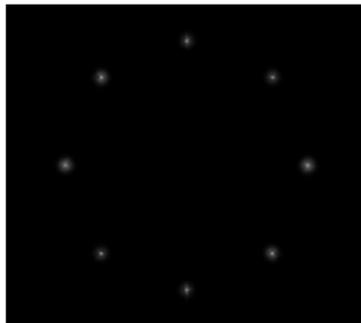


# 1. Caractérisation

- ▶ se présente sous la forme de **trames** régulières (défaut d'acquisition, interférences, tramage d'impression, etc.)



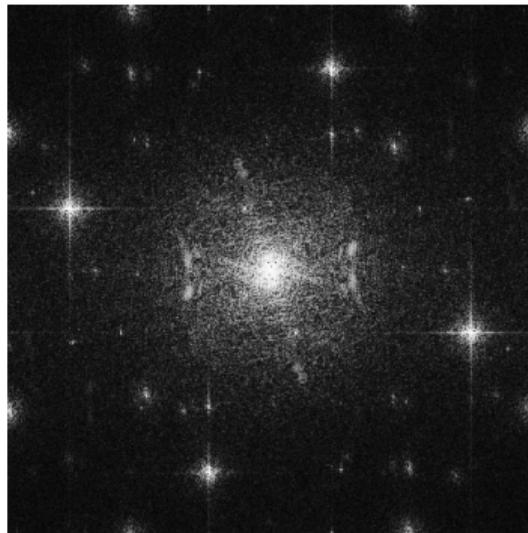
- ▶ caractérisation fréquentielle : fréquences isolées



## 2. Traitement par filtrage fréquentiel

### 2.1. Principe du filtrage

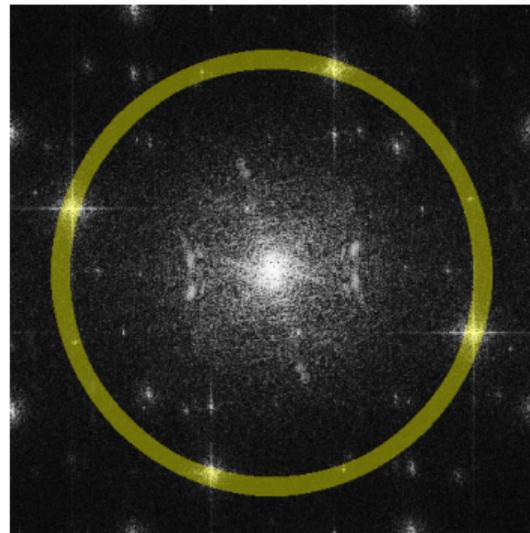
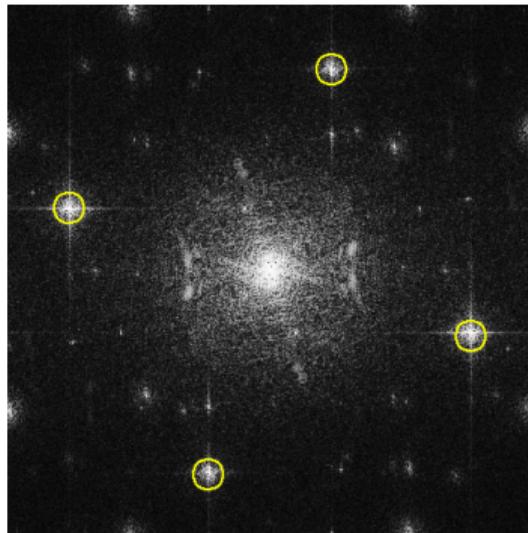
- ▶ identification de fréquences «surabondantes» dans le spectre d'amplitude
- ▶ suppression de ces fréquences
  - ▶ rejet de bande (*band reject*)
  - ▶ rejet d'encoche (*notch filter*)
  - ▶ masque *ad hoc*



## 2. Traitement par filtrage fréquentiel

### 2.1. Principe du filtrage

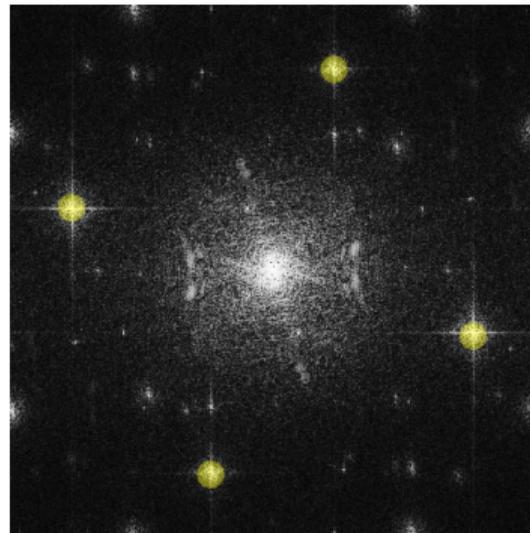
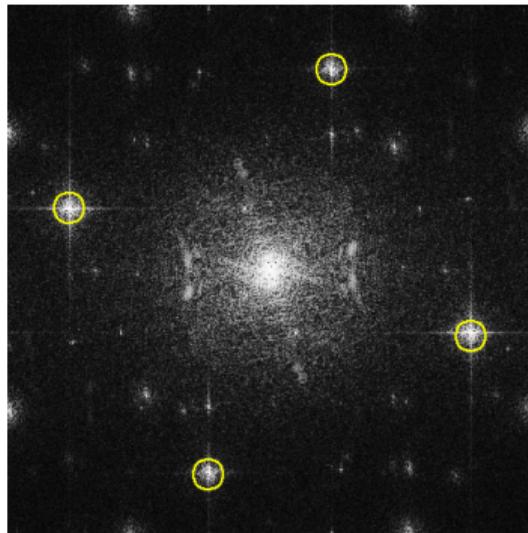
- ▶ identification de fréquences «surabondantes» dans le spectre d'amplitude
- ▶ suppression de ces fréquences
  - ▶ rejet de bande (*band reject*)
  - ▶ rejet d'encoche (*notch filter*)
  - ▶ masque *ad hoc*



## 2. Traitement par filtrage fréquentiel

### 2.1. Principe du filtrage

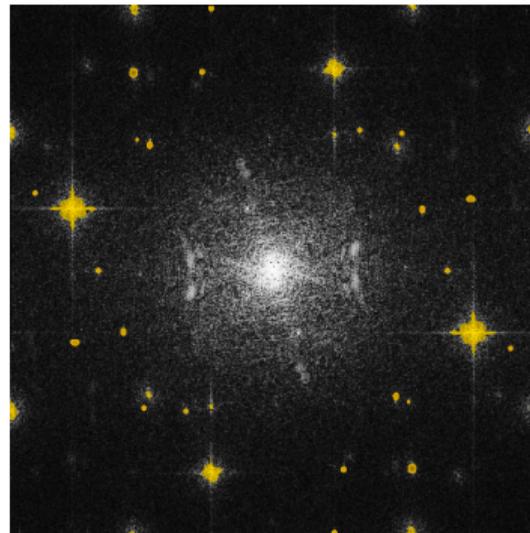
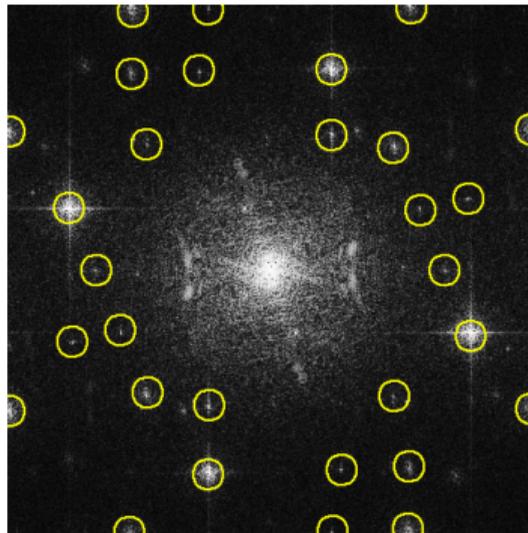
- ▶ identification de fréquences «surabondantes» dans le spectre d'amplitude
- ▶ suppression de ces fréquences
  - ▶ rejet de bande (*band reject*)
  - ▶ rejet d'encoche (*notch filter*)
  - ▶ masque *ad hoc*



## 2. Traitement par filtrage fréquentiel

### 2.1. Principe du filtrage

- ▶ identification de fréquences «surabondantes» dans le spectre d'amplitude
- ▶ suppression de ces fréquences
  - ▶ rejet de bande (*band reject*)
  - ▶ rejet d'encoche (*notch filter*)
  - ▶ masque *ad hoc*

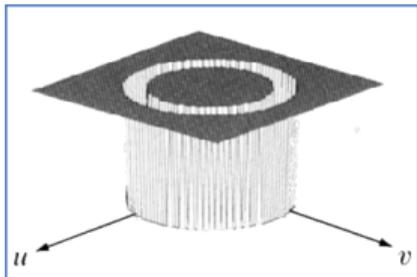


## 2.2. Filtrés à rejet de bande et d'encoche

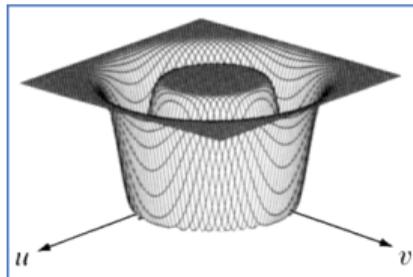
- Rejet de la bande de rayon  $R$  et de largeur  $W$

$$\blacktriangleright I \longrightarrow \mathcal{F}(I) \longrightarrow (A, H) \longrightarrow A' = F \times A \longrightarrow \mathcal{F}^{-1}(A', H) \longrightarrow I'$$

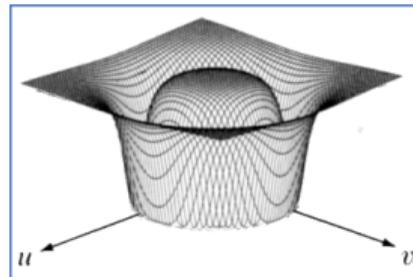
$F(u, v)$  :



*idéal*



*gaussien*

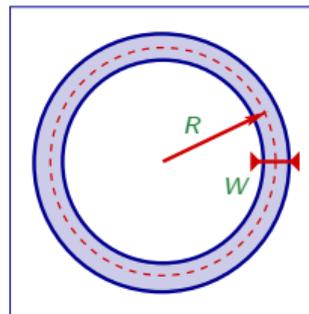


*butterworth*

$$\blacktriangleright (u, v) \longrightarrow D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\blacktriangleright \text{idéal} : F(u, v) = \begin{cases} 0 & \left\{ \begin{array}{l} \text{si } D(u, v) > R - \frac{W}{2} \\ \text{ou } D(u, v) < R + \frac{W}{2} \end{array} \right. \\ 1 & \text{sinon.} \end{cases}$$

$\blacktriangleright$  autres : voir annexe A

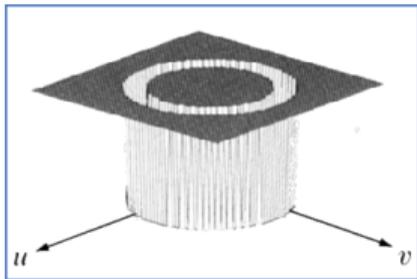


## 2.2. Filtres à rejet de bande et d'encoche

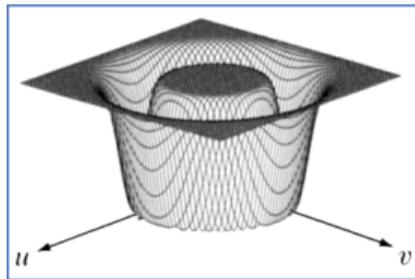
- Rejet de la bande de rayon  $R$  et de largeur  $W$

$$\blacktriangleright I \longrightarrow \mathcal{F}(I) \longrightarrow (A, H) \longrightarrow A' = F \times A \longrightarrow \mathcal{F}^{-1}(A', H) \longrightarrow I'$$

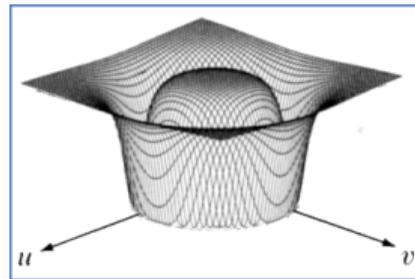
$F(u, v)$  :



*idéal*



*gaussien*

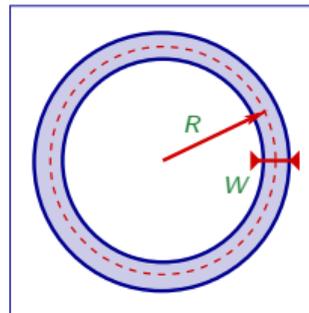


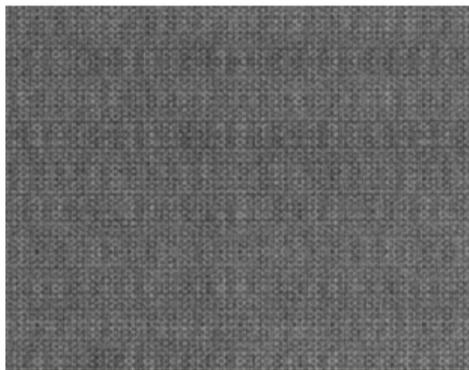
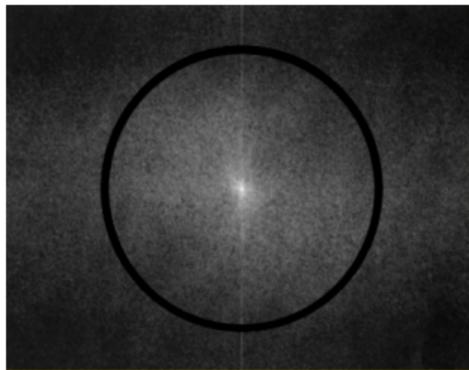
*butterworth*

$$\blacktriangleright (u, v) \longrightarrow D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\blacktriangleright \text{idéal} : F(u, v) = \begin{cases} 0 & \left\{ \begin{array}{l} \text{si } D(u, v) > R - \frac{W}{2} \\ \text{ou } D(u, v) < R + \frac{W}{2} \end{array} \right. \\ 1 & \text{sinon.} \end{cases}$$

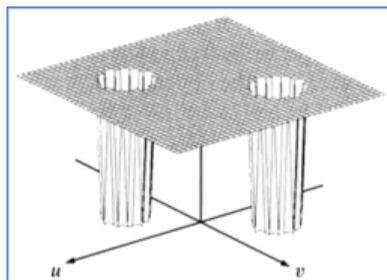
$\blacktriangleright$  autres : voir annexe A



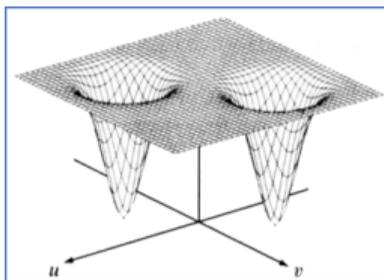


○ Rejet des disques de centre  $(u_0, v_0)$  et  $(-u_0, -v_0)$  et de rayon  $R$

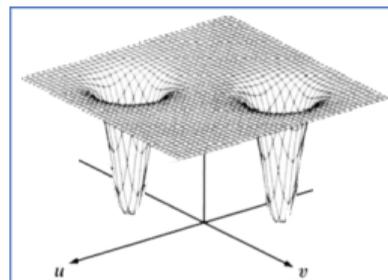
$F(u,v)$  :



*idéal*



*gaussien*



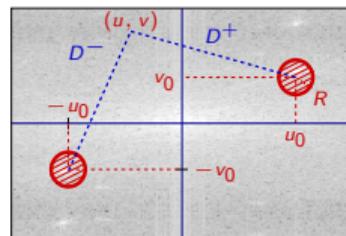
*butterworth*

▶  $D^+(u, v)$  : distance de  $(u, v)$  à  $(u_0, v_0)$

$D^-(u, v)$  : distance de  $(u, v)$  à  $(-u_0, -v_0)$

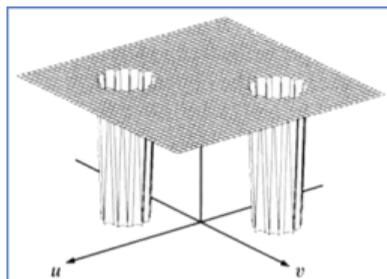
▶ idéal :  $F(u, v) = \begin{cases} 0 & \left\{ \begin{array}{l} \text{si } D^+(u, v) \leq R \\ \text{ou } D^-(u, v) \leq R \end{array} \right. \\ 1 & \text{sinon.} \end{cases}$

▶ autres : voir annexe A

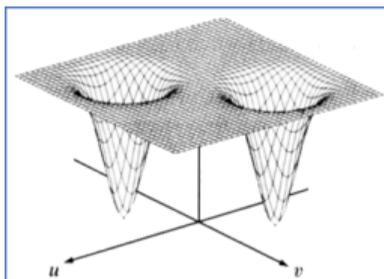


○ Rejet des disques de centre  $(u_0, v_0)$  et  $(-u_0, -v_0)$  et de rayon  $R$

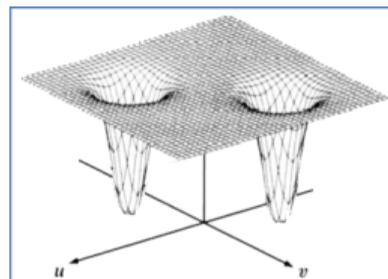
$F(u, v)$  :



*idéal*



*gaussien*

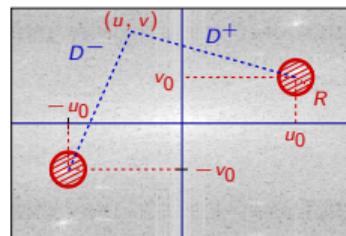


*butterworth*

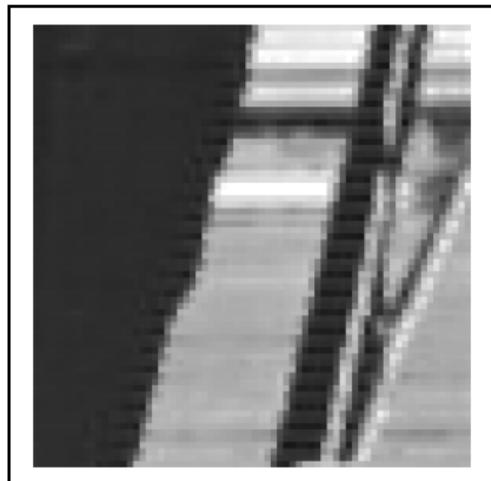
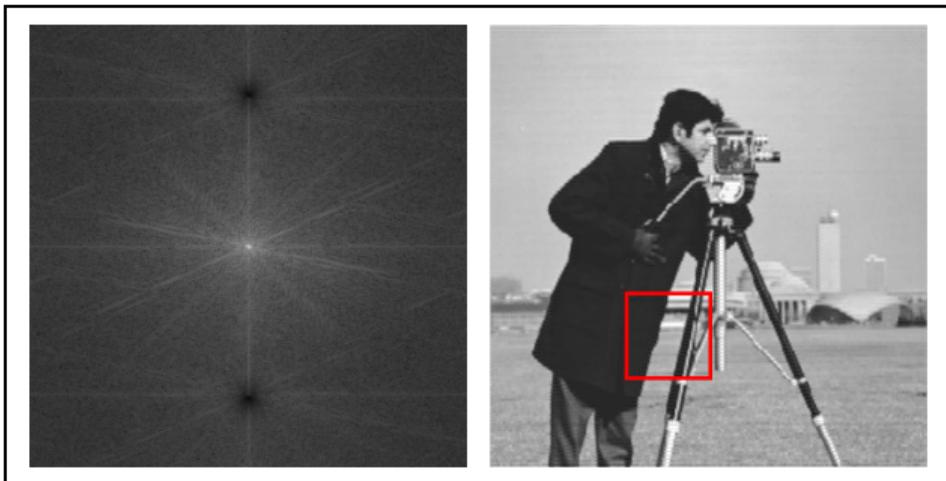
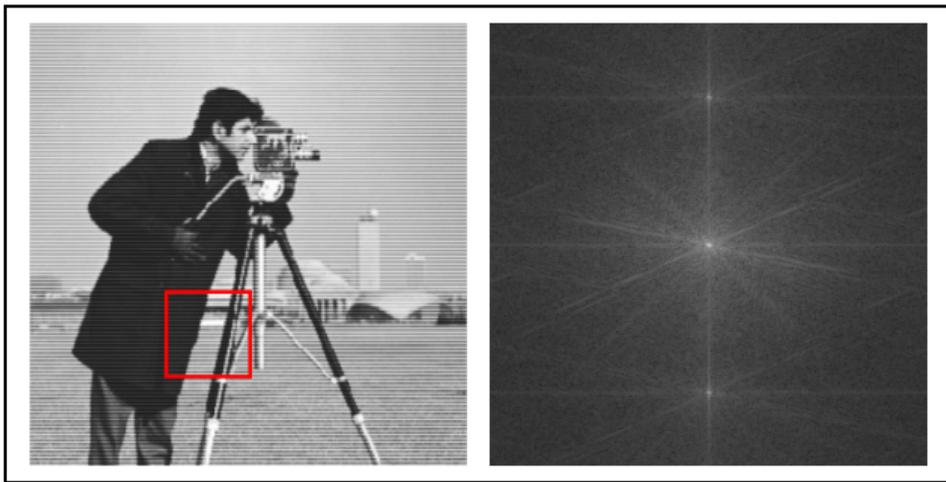
▶  $D^+(u, v)$  : distance de  $(u, v)$  à  $(u_0, v_0)$

$D^-(u, v)$  : distance de  $(u, v)$  à  $(-u_0, -v_0)$

▶ idéal :  $F(u, v) = \begin{cases} 0 & \left\{ \begin{array}{l} \text{si } D^+(u, v) \leq R \\ \text{ou } D^-(u, v) \leq R \end{array} \right. \\ 1 & \text{sinon.} \end{cases}$

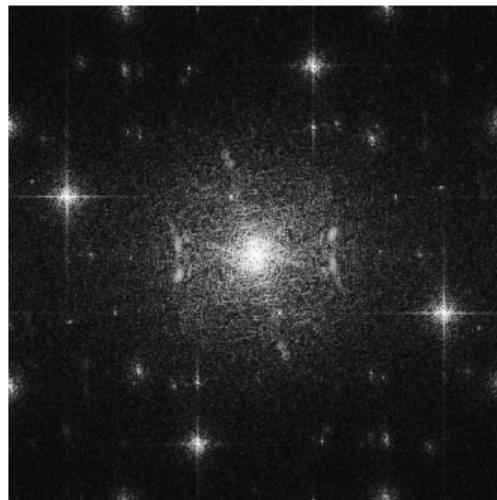


▶ autres : voir annexe A



## 2.3. Filtrage par construction d'un masque ad hoc

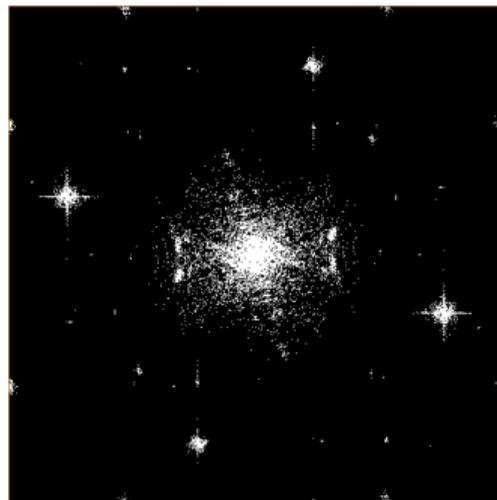
- ▶ construction à partir du spectre d'amplitude
- ▶ **seuillage** : sélection des fréquences les plus élevées
- ▶ **inversion** : fréquences élevées → valeurs nulles du filtre
- ▶ nettoyage morphologique : **érosion**
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ défaut d'un filtre idéal (**échos**) → filtrage **passe-bas**



Exemple : traitement de la numérisation en 600 DPI d'une impression couleur

## 2.3. Filtrage par construction d'un masque ad hoc

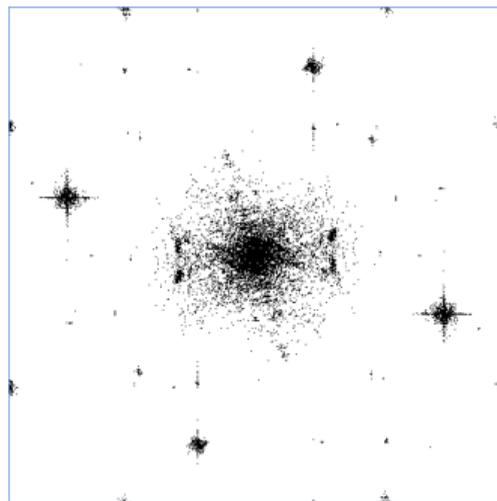
- ▶ construction à partir du spectre d'amplitude
- ▶ **seuillage** : sélection des fréquences les plus élevées
- ▶ **inversion** : fréquences élevées → valeurs nulles du filtre
- ▶ nettoyage morphologique : **érosion**
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ défaut d'un filtre idéal (**échos**) → filtrage **passé-bas**



Exemple : traitement de la numérisation en 600 DPI d'une impression couleur

## 2.3. Filtrage par construction d'un masque ad hoc

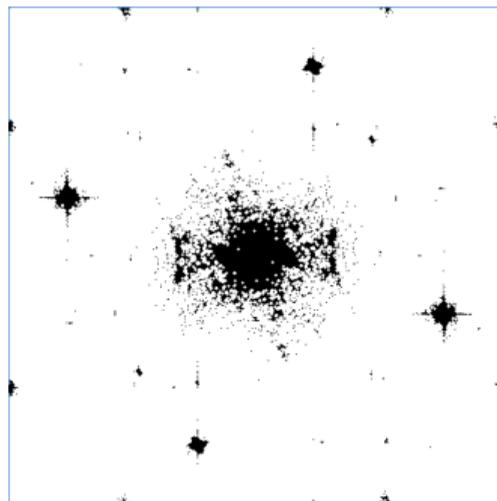
- ▶ construction à partir du spectre d'amplitude
- ▶ **seuillage** : sélection des fréquences les plus élevées
- ▶ **inversion** : fréquences élevées → valeurs nulles du filtre
- ▶ nettoyage morphologique : **érosion**
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ défaut d'un filtre idéal (échos) → filtrage **passe-bas**



Exemple : traitement de la numérisation en 600 DPI d'une impression couleur

## 2.3. Filtrage par construction d'un masque ad hoc

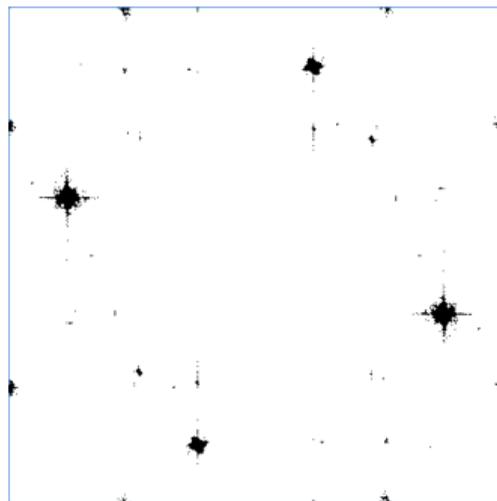
- ▶ construction à partir du spectre d'amplitude
- ▶ **seuillage** : sélection des fréquences les plus élevées
- ▶ **inversion** : fréquences élevées → valeurs nulles du filtre
- ▶ nettoyage morphologique : **érosion**
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ défaut d'un filtre idéal (échos) → filtrage **passe-bas**



Exemple : traitement de la numérisation en 600 DPI d'une impression couleur

## 2.3. Filtrage par construction d'un masque ad hoc

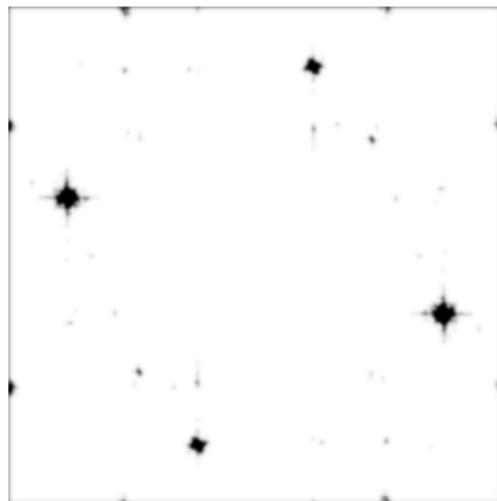
- ▶ construction à partir du spectre d'amplitude
- ▶ **seuillage** : sélection des fréquences les plus élevées
- ▶ **inversion** : fréquences élevées → valeurs nulles du filtre
- ▶ nettoyage morphologique : **érosion**
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ défaut d'un filtre idéal (**échos**) → filtrage **passe-bas**



Exemple : traitement de la numérisation en 600 DPI d'une impression couleur

## 2.3. Filtrage par construction d'un masque ad hoc

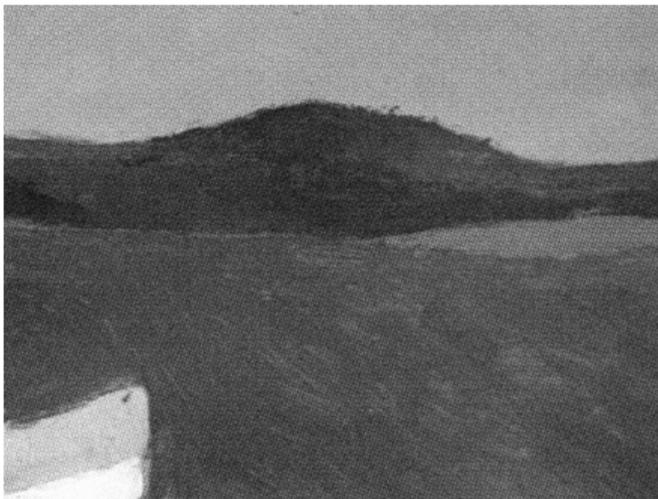
- ▶ construction à partir du spectre d'amplitude
- ▶ **seuillage** : sélection des fréquences les plus élevées
- ▶ **inversion** : fréquences élevées → valeurs nulles du filtre
- ▶ nettoyage morphologique : **érosion**
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ défaut d'un filtre idéal (**échos**) → filtrage **passe-bas**



Exemple : traitement de la numérisation en 600 DPI d'une impression couleur



rouge

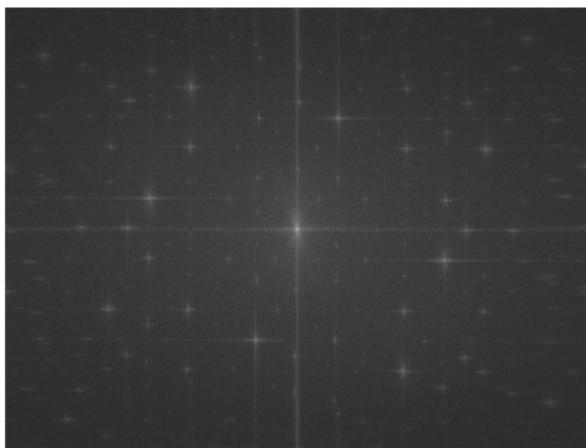


vert

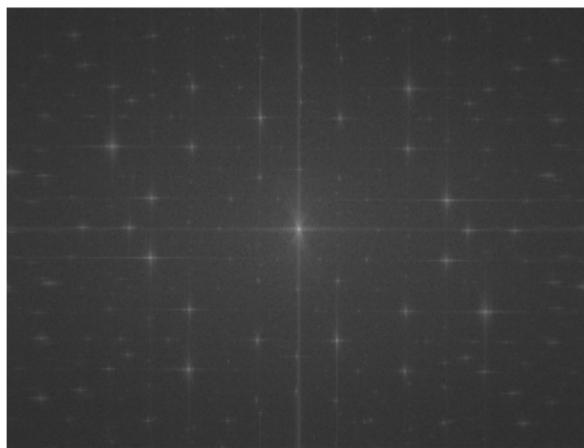


bleu

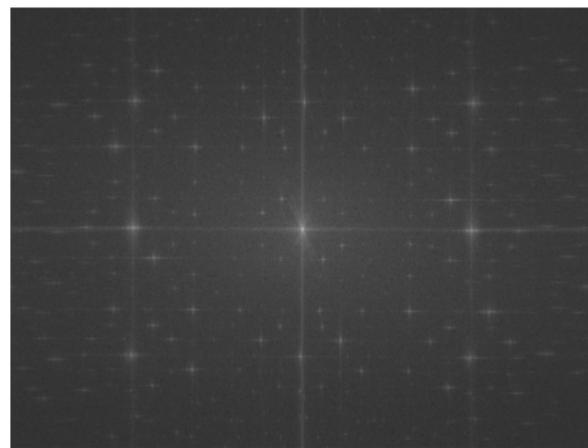
- Calcul des spectres d'amplitudes des différents canaux



$AS(I_r)$



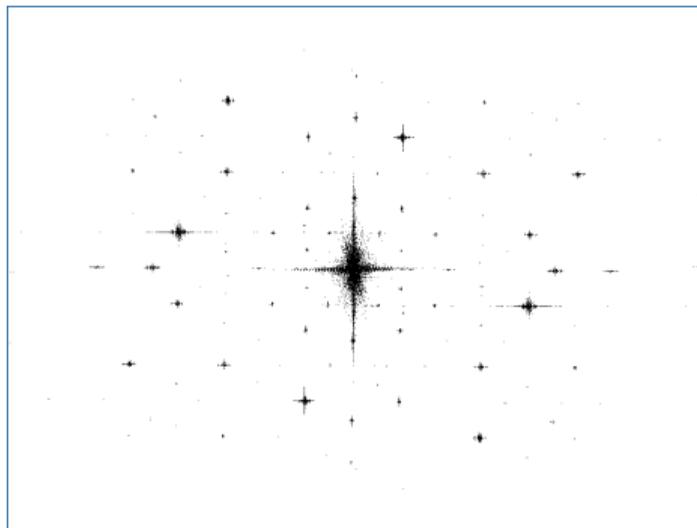
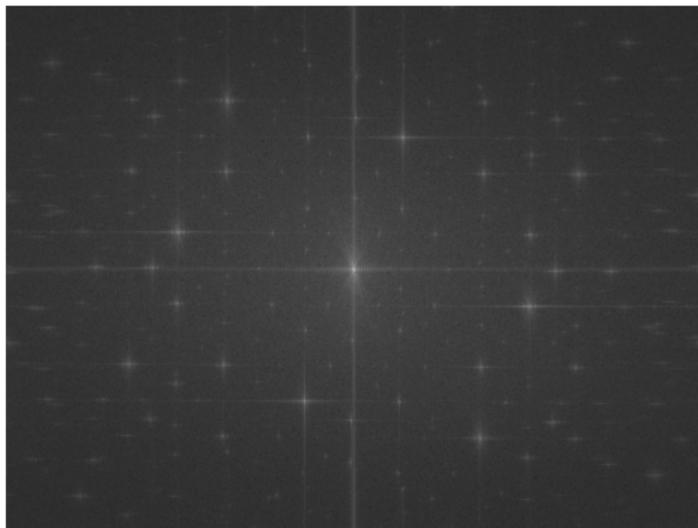
$AS(I_g)$



$AS(I_b)$

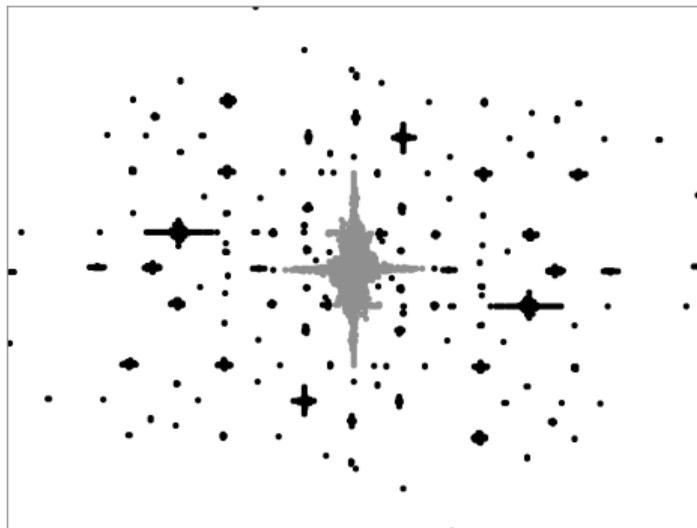
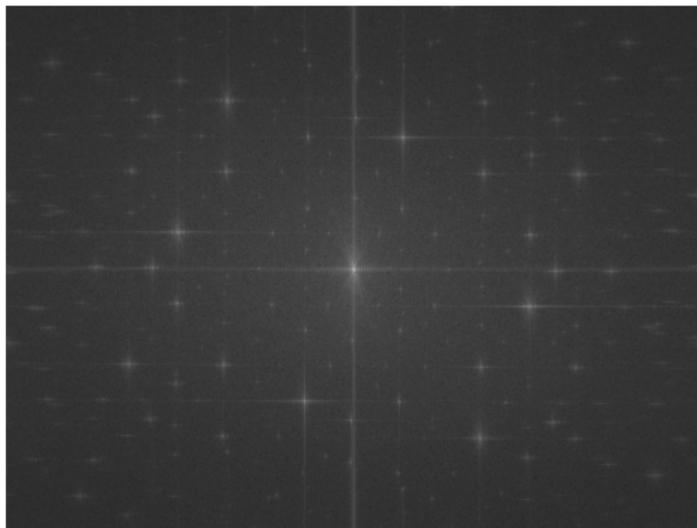
○ Construction du masque  $M_r$  du canal rouge

- ▶ *seuillage de l'image du spectre d'amplitude autour du mode de l'histogramme*
- ▶ *« nettoyage » du masque par érosion*
- ▶ *suppression de la partie centrale*
- ▶ *lissage gaussien (éviter les échos d'un filtre idéal)*



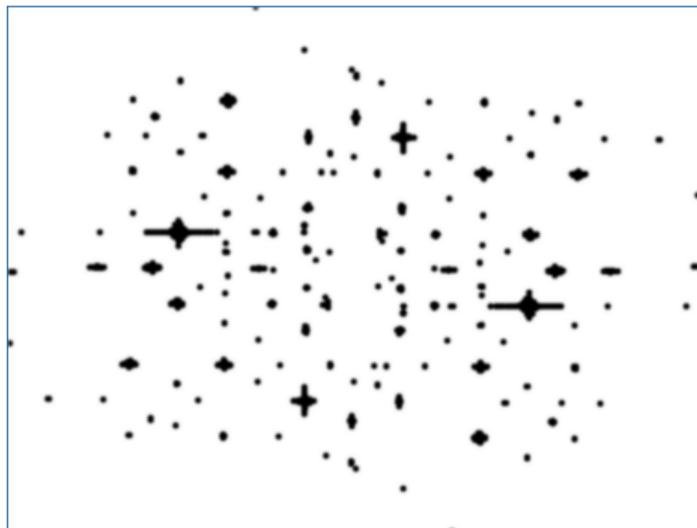
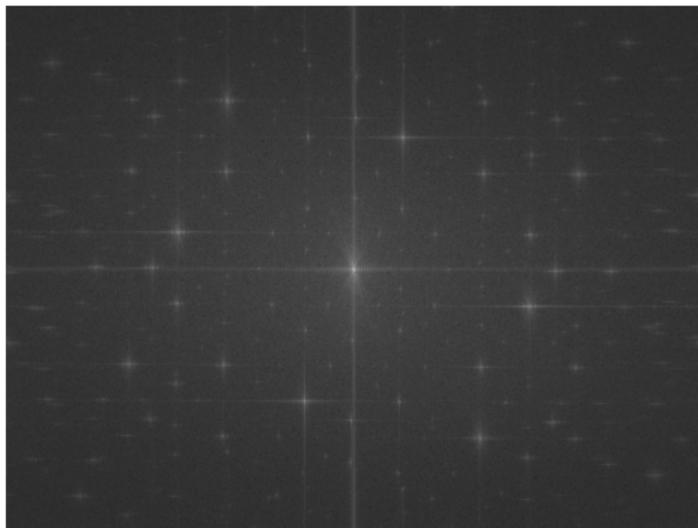
○ Construction du masque  $M_r$  du canal rouge

- ▶ seuillage de l'image du spectre d'amplitude autour du mode de l'histogramme
- ▶ « nettoyage » du masque par érosion
- ▶ suppression de la partie centrale
- ▶ lissage gaussien (éviter les échos d'un filtre idéal)

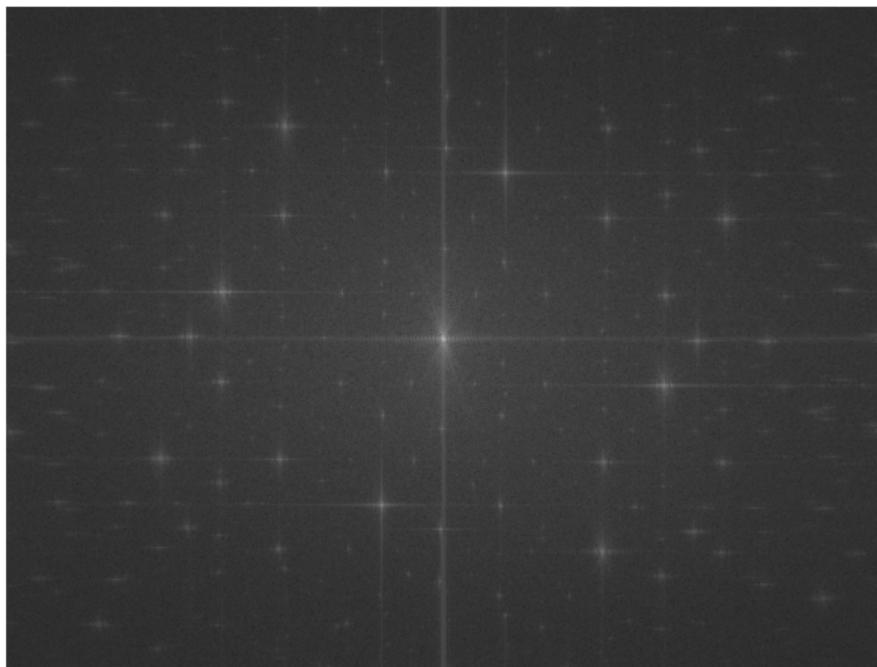


○ Construction du masque  $M_r$  du canal rouge

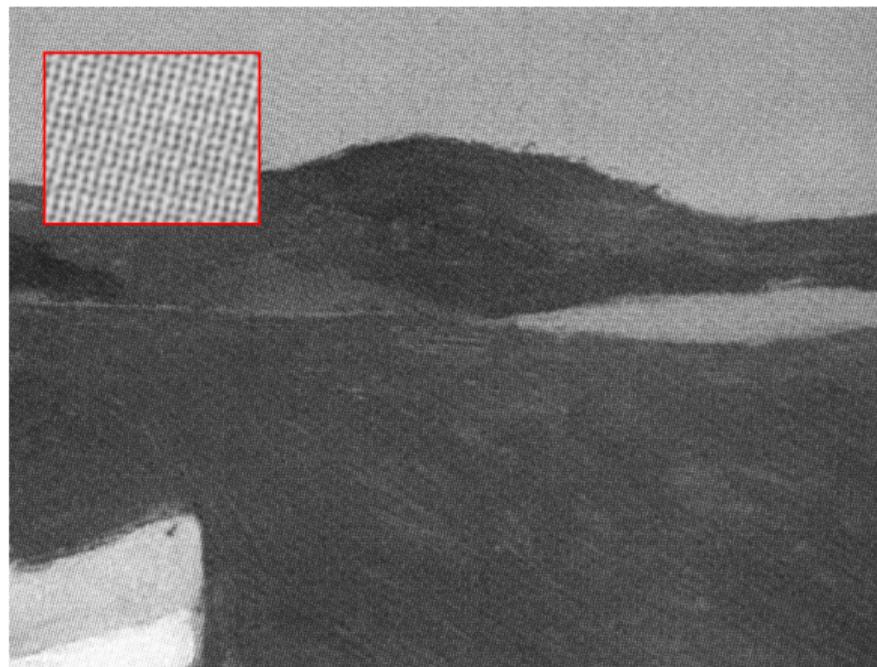
- ▶ *seuillage de l'image du spectre d'amplitude autour du mode de l'histogramme*
- ▶ *« nettoyage » du masque par érosion*
- ▶ *suppression de la partie centrale*
- ▶ *lissage gaussien (éviter les échos d'un filtre idéal)*



- Application du masque  $M_r$  sur  $AS(I_r)$

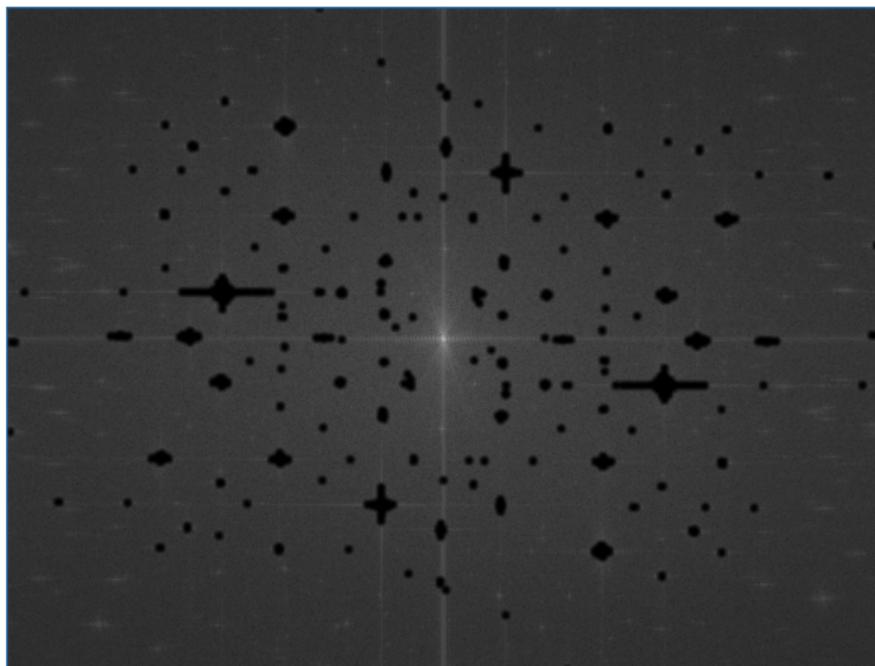


$AS(I_r)$

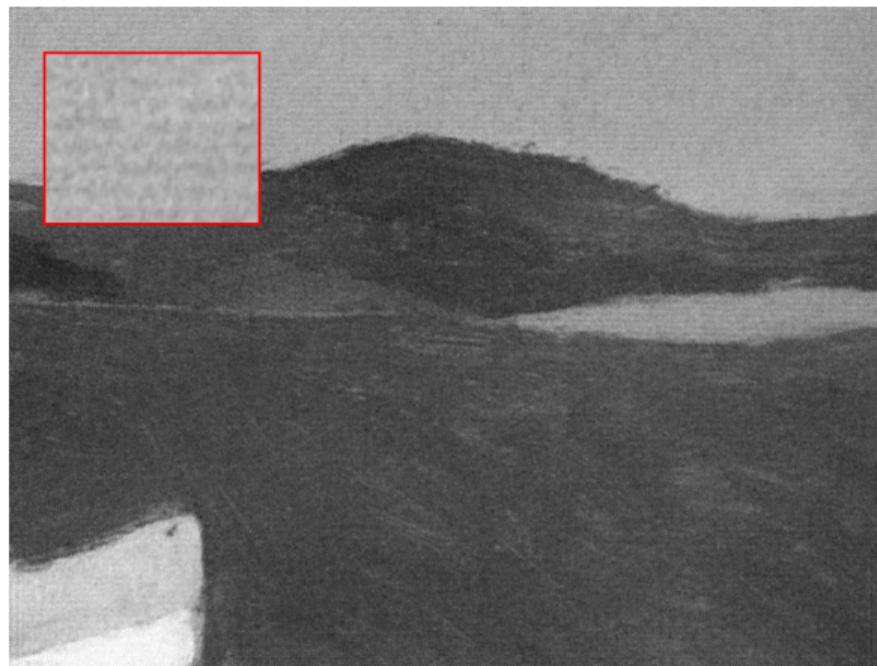


$I_r$

- Application du masque  $M_r$  sur  $AS(I_r)$

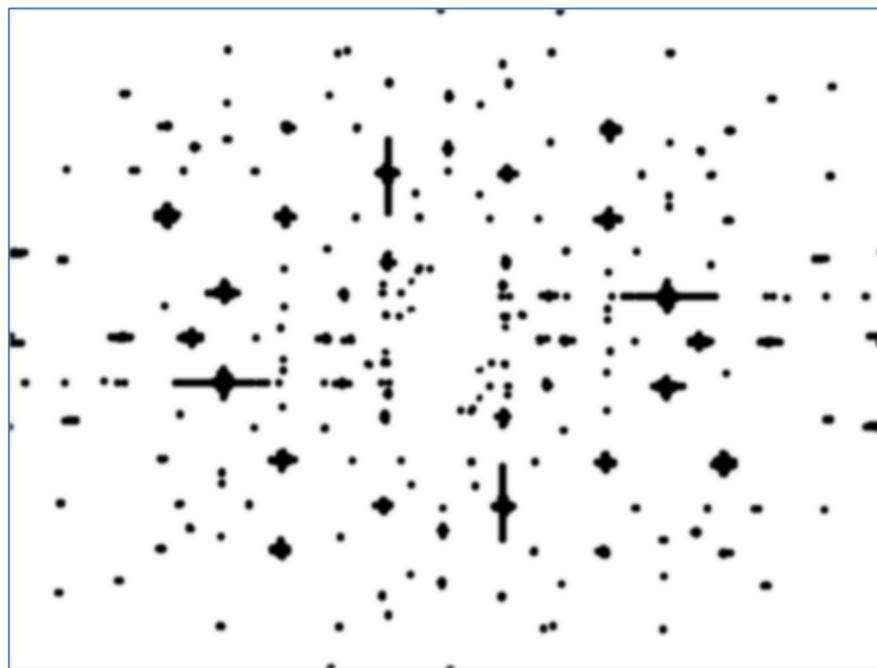


$AS(I_r) \times M_r$

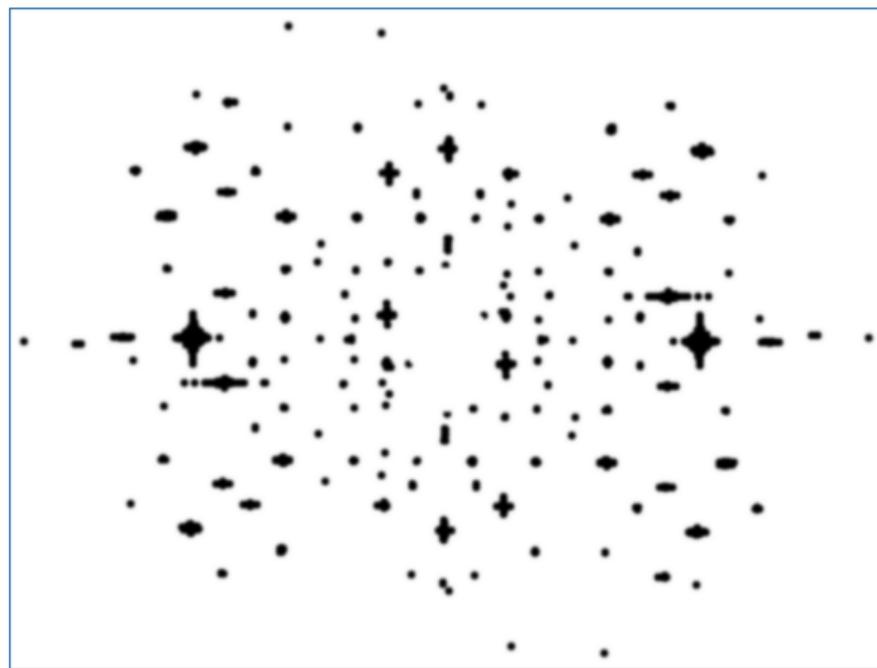


$\mathcal{F}^{-1}(AS(I_r) \times M_r)$

○ Traitement des canaux verts et bleus

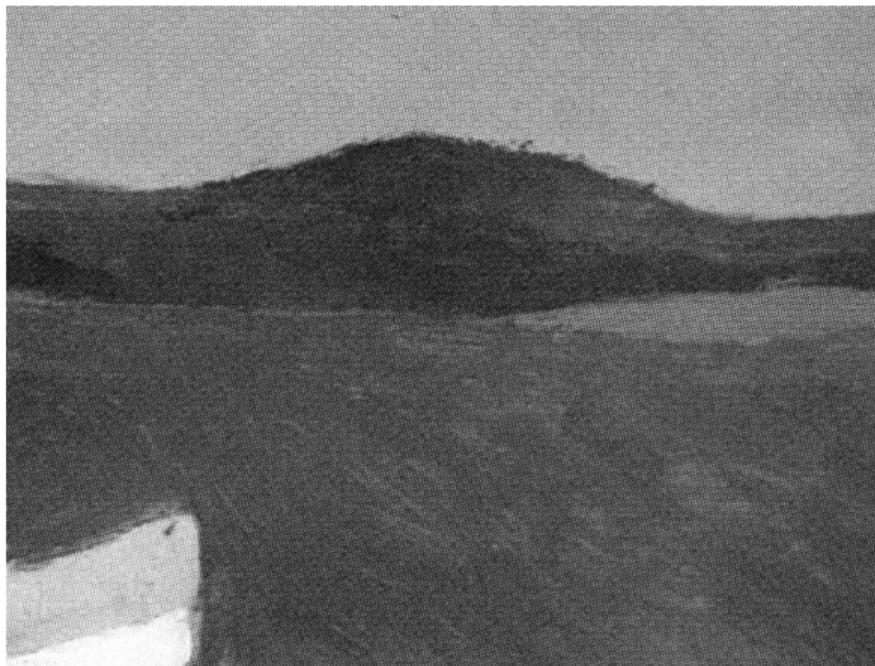


$M_g$

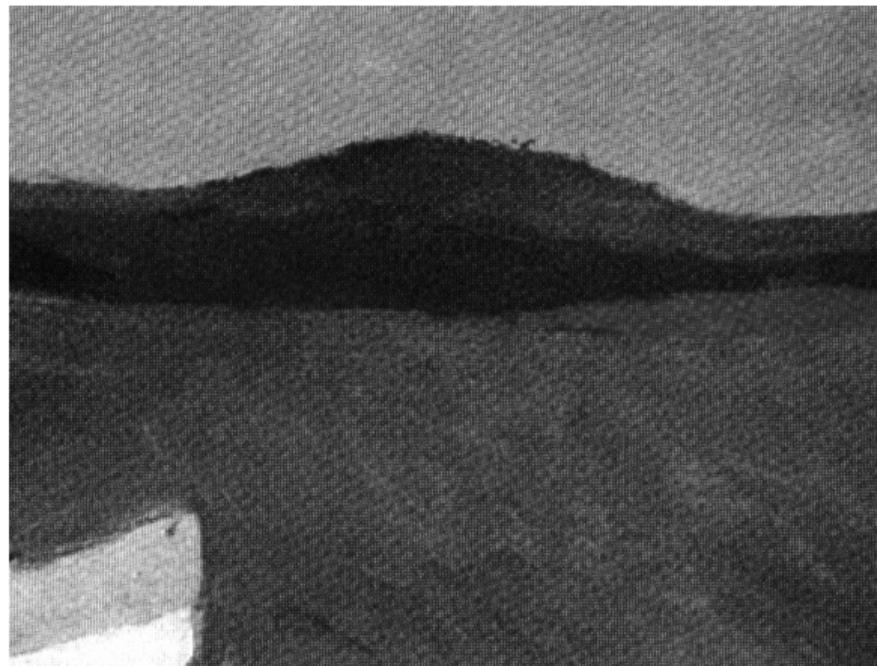


$M_b$

○ Traitement des canaux verts et bleus

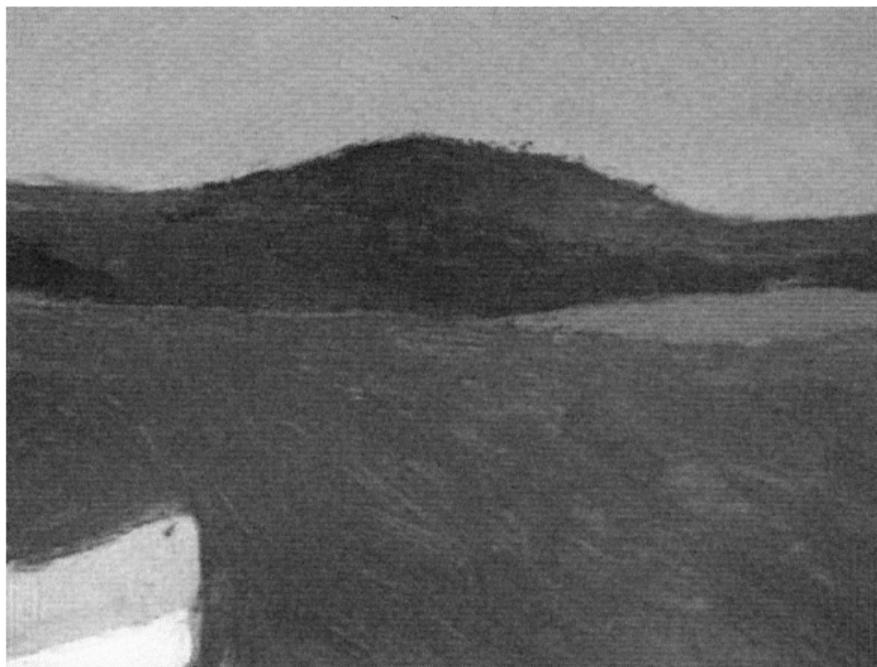


$I_g$



$I_b$

○ Traitement des canaux verts et bleus



$$\mathcal{F}^{-1}(AS(I_g) \times M_g)$$



$$\mathcal{F}^{-1}(AS(I_b) \times M_b)$$

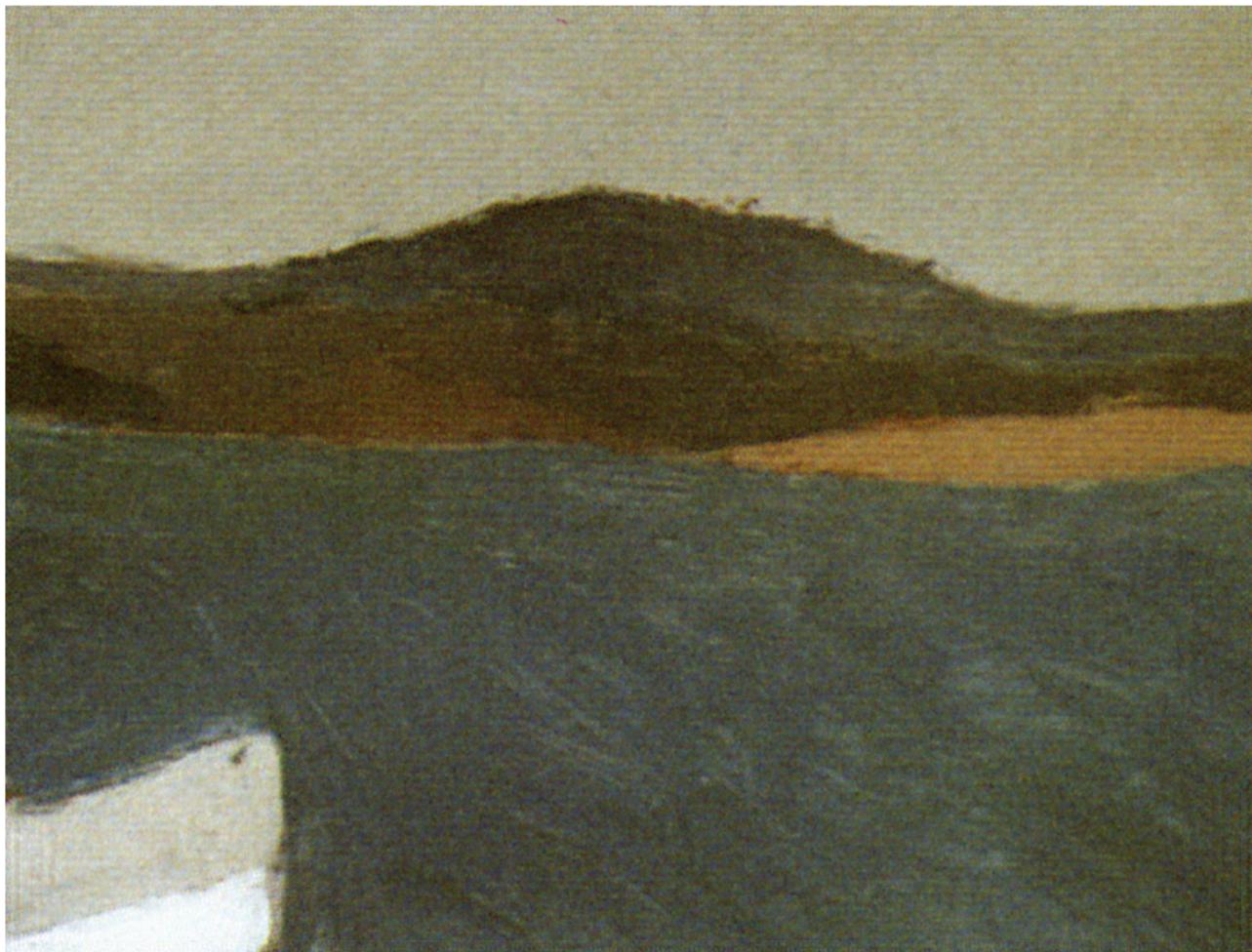
○ **Recombinaison des canaux filtrés**

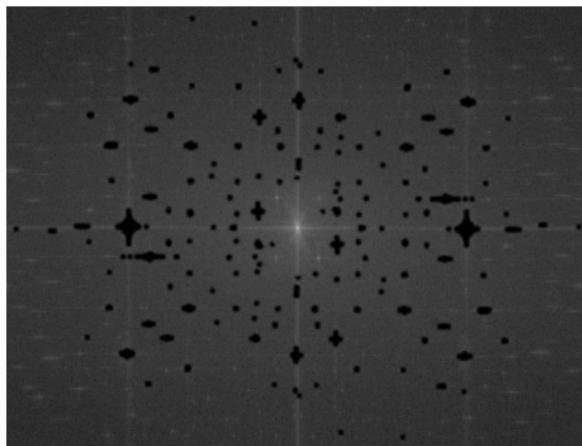
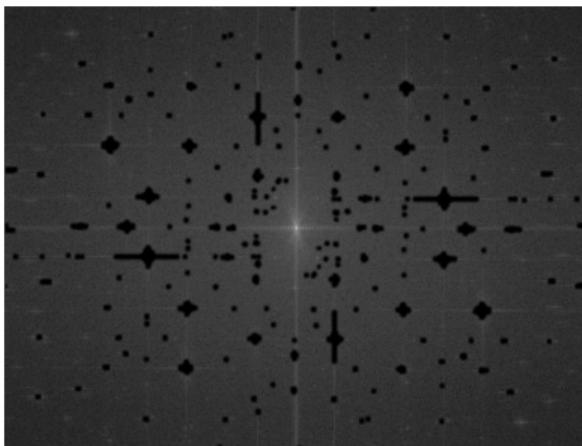
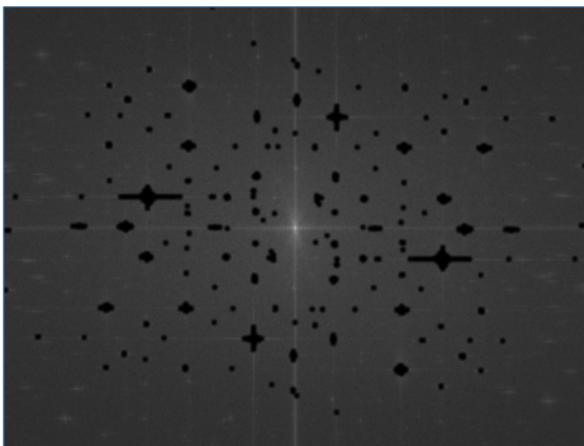
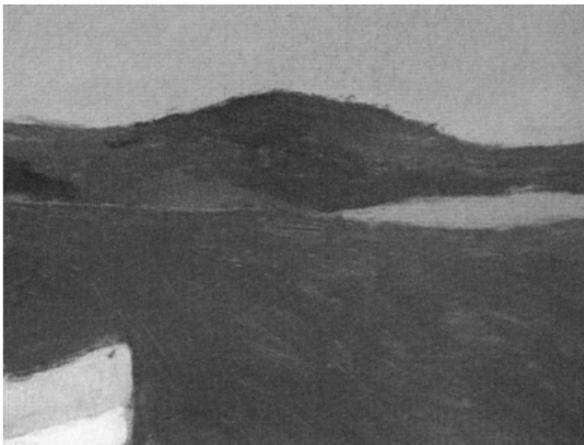
- ▶ supprime la trame d'impression quadrichromie
- ▶ révèle la trame du papier
- ▶ itération du traitement en recherchant les pics associés à la trame du papier



○ **Recombinaison des canaux filtrés**

- ▶ supprime la trame d'impression quadrichromie
- ▶ révèle la trame du papier
- ▶ itération du traitement en recherchant les pics associés à la trame du papier

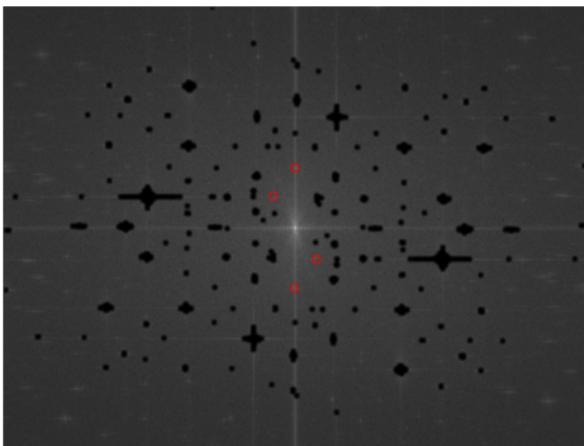
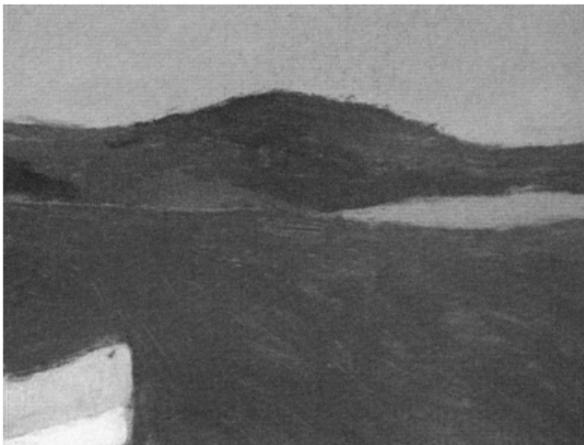




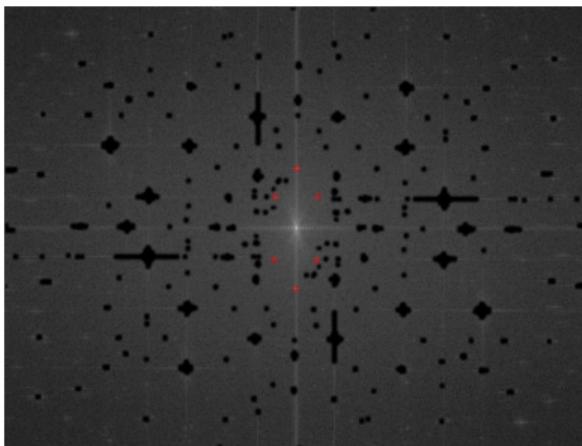
*canal R*

*canal G*

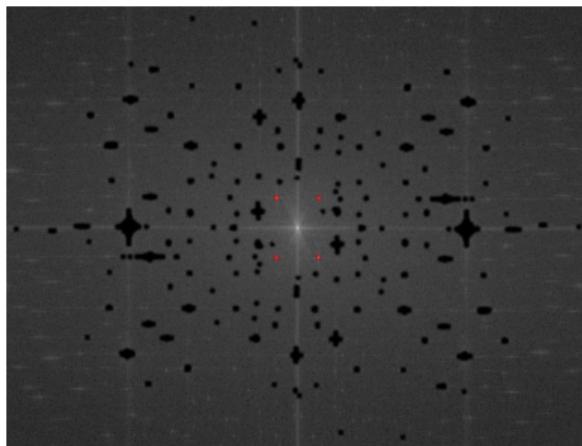
*canal B*



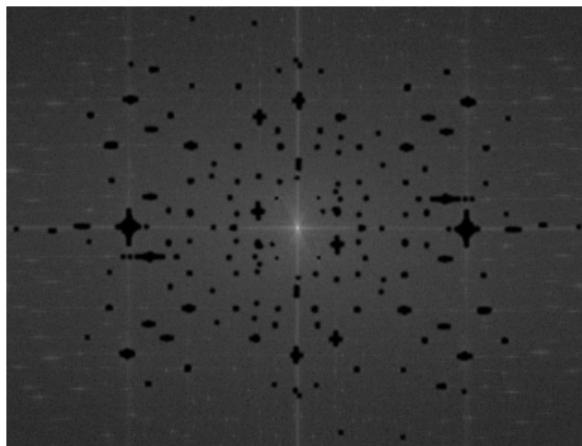
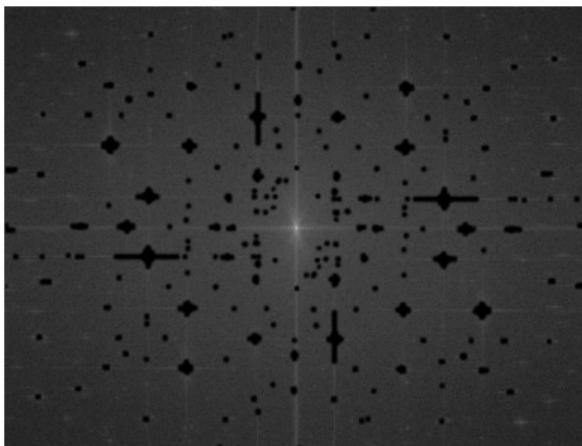
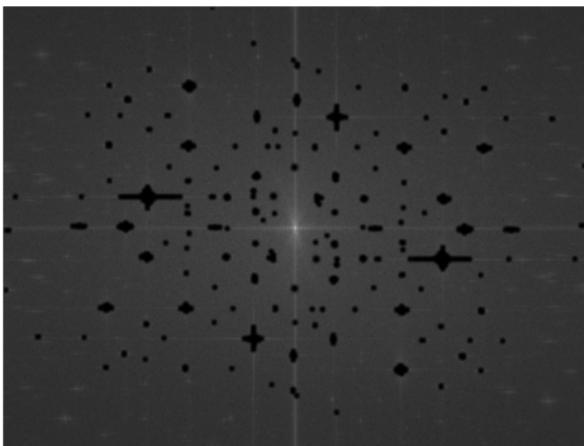
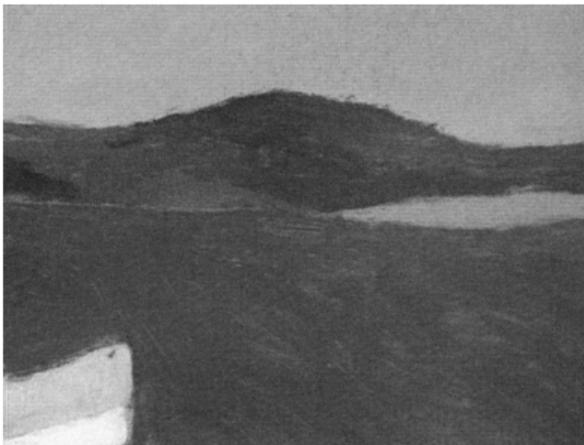
*canal R*



*canal G*



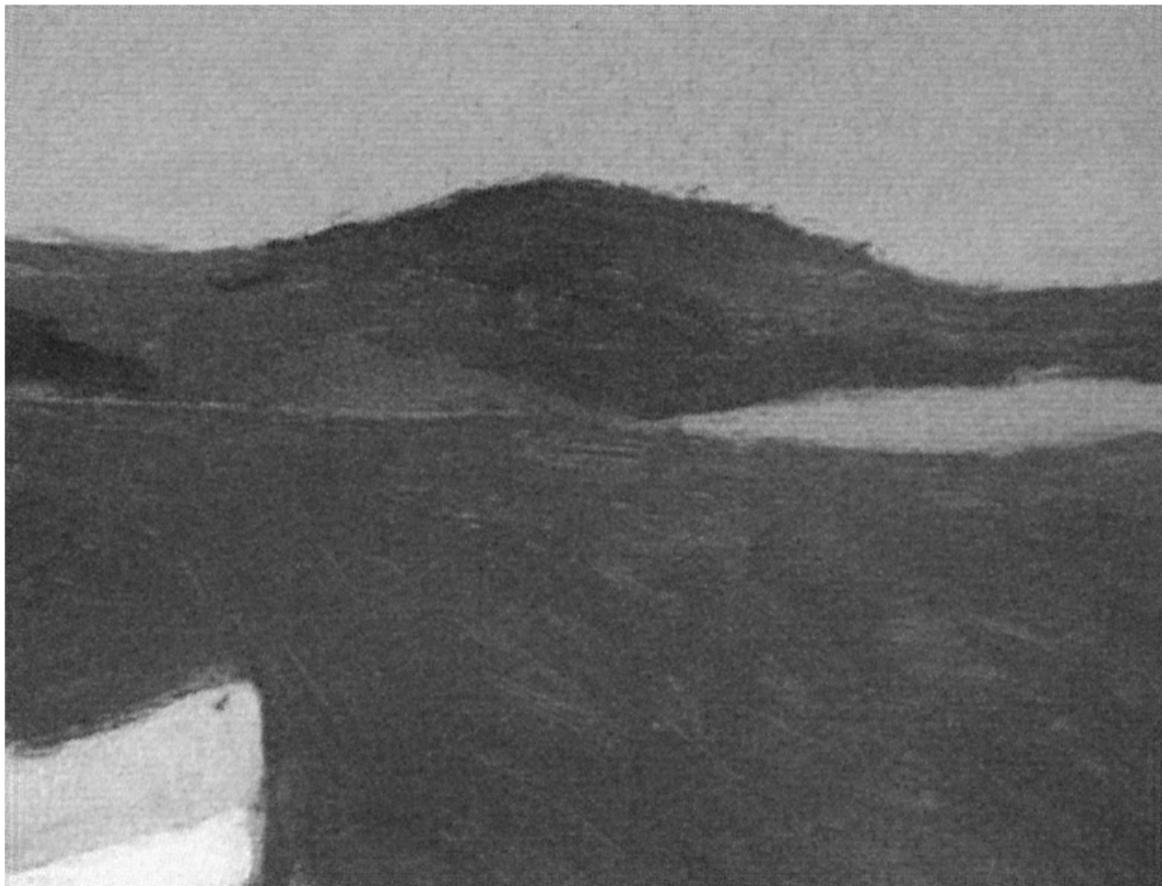
*canal B*



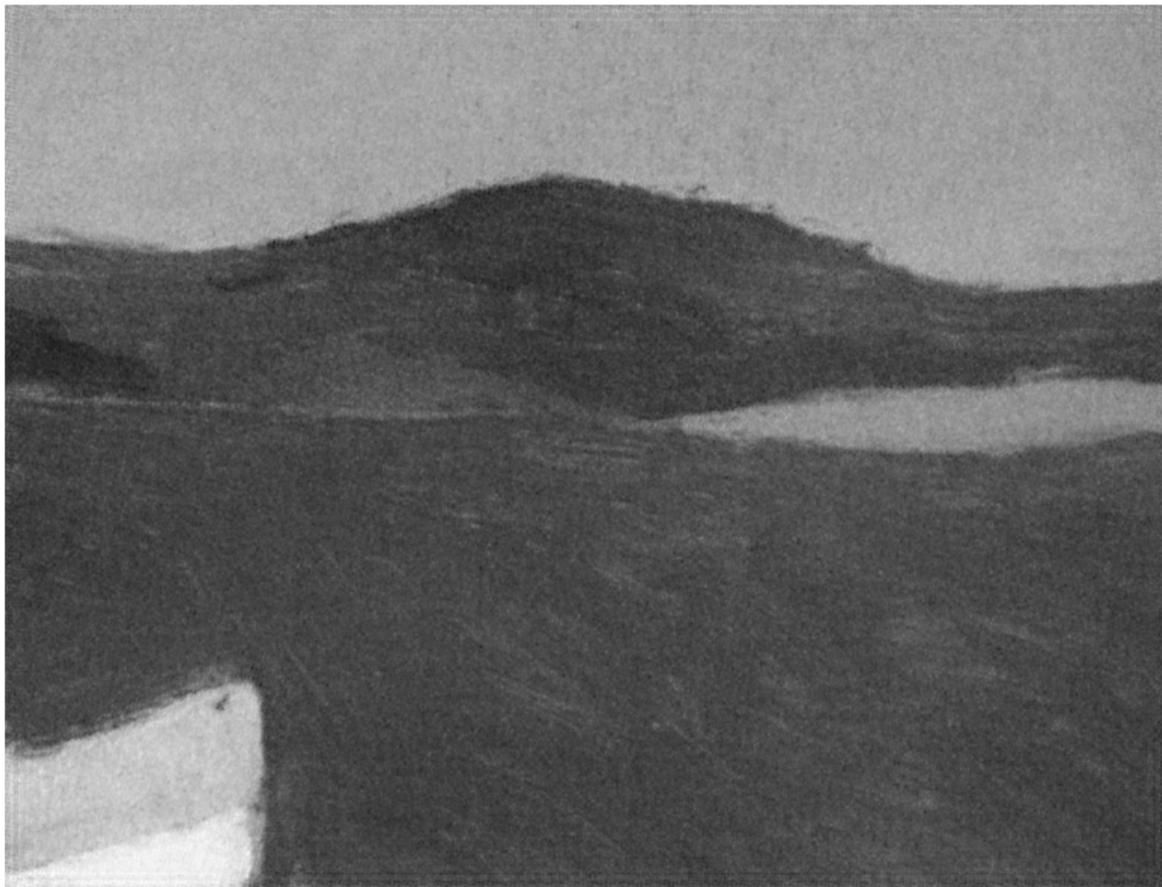
*canal R*

*canal G*

*canal B*



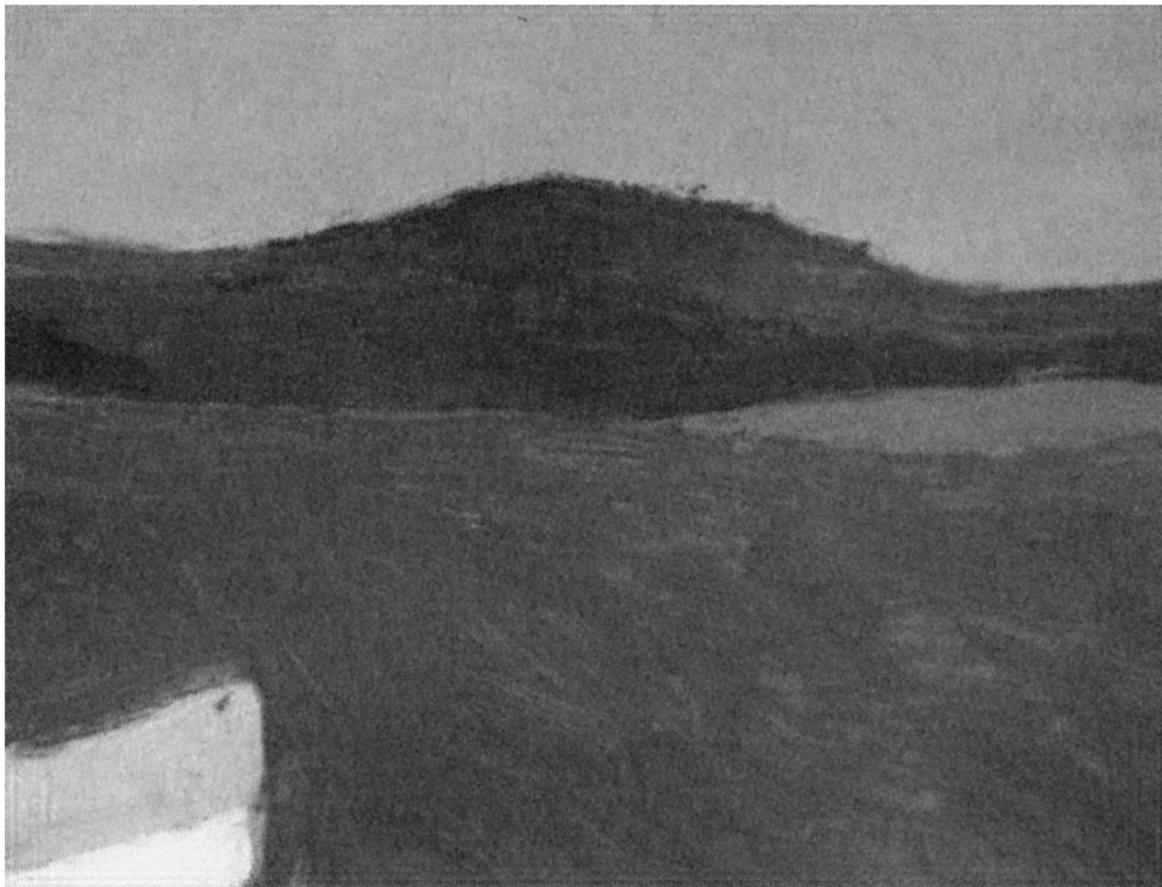
premier filtrage du canal R



second filtrage du canal R



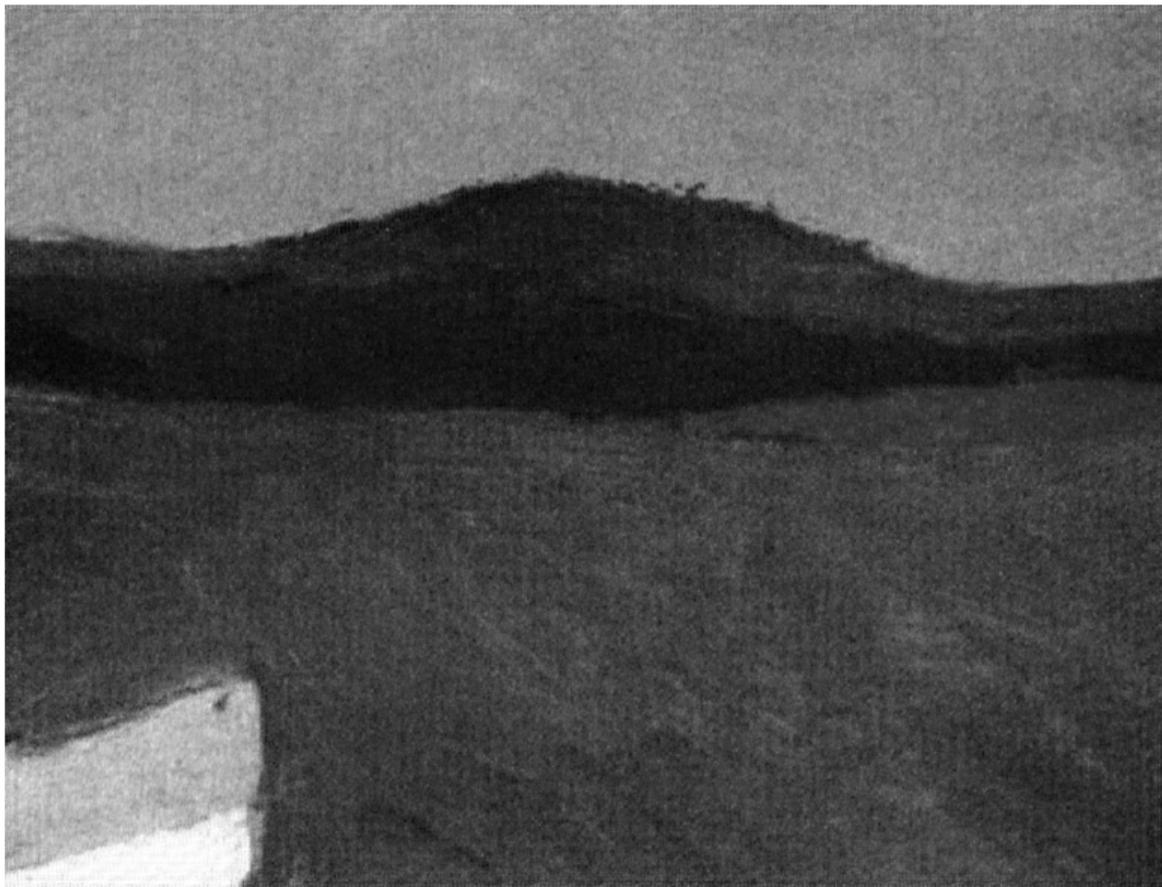
premier filtrage du canal G



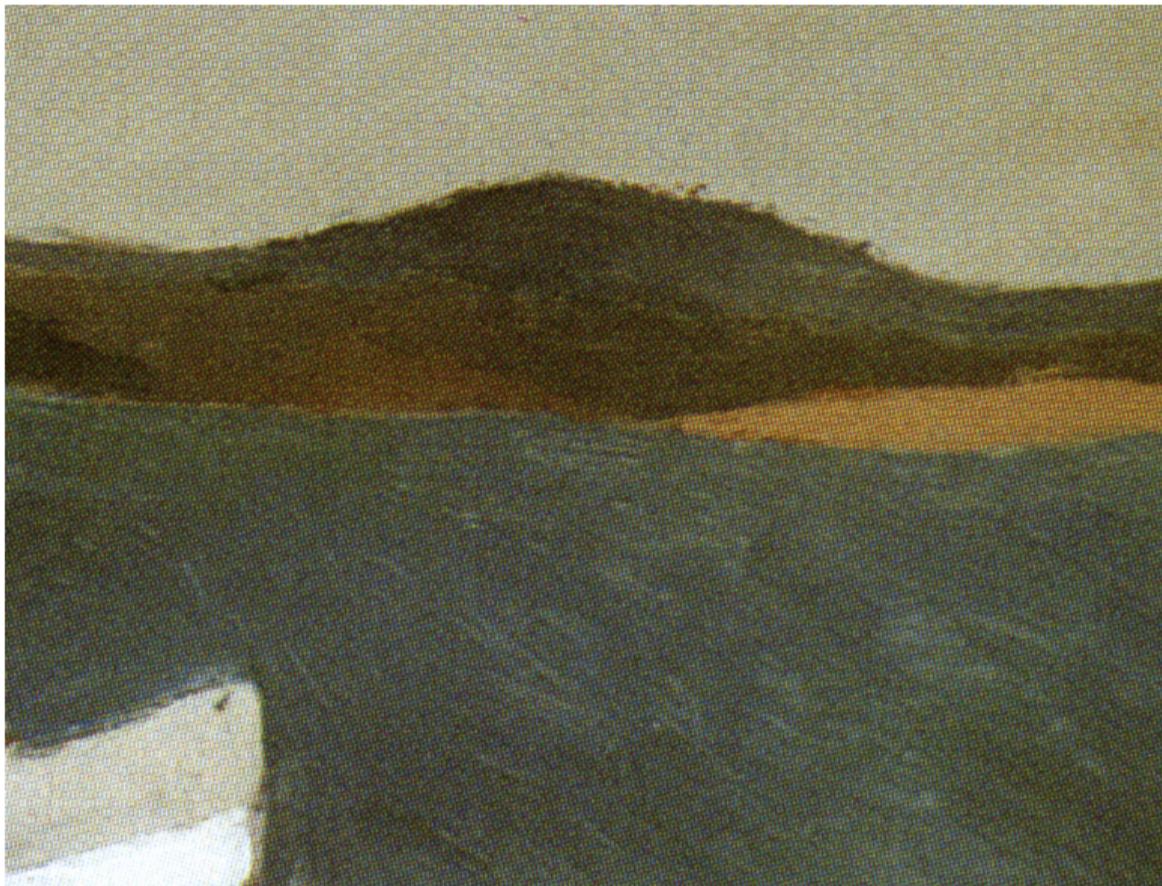
second filtrage du canal G



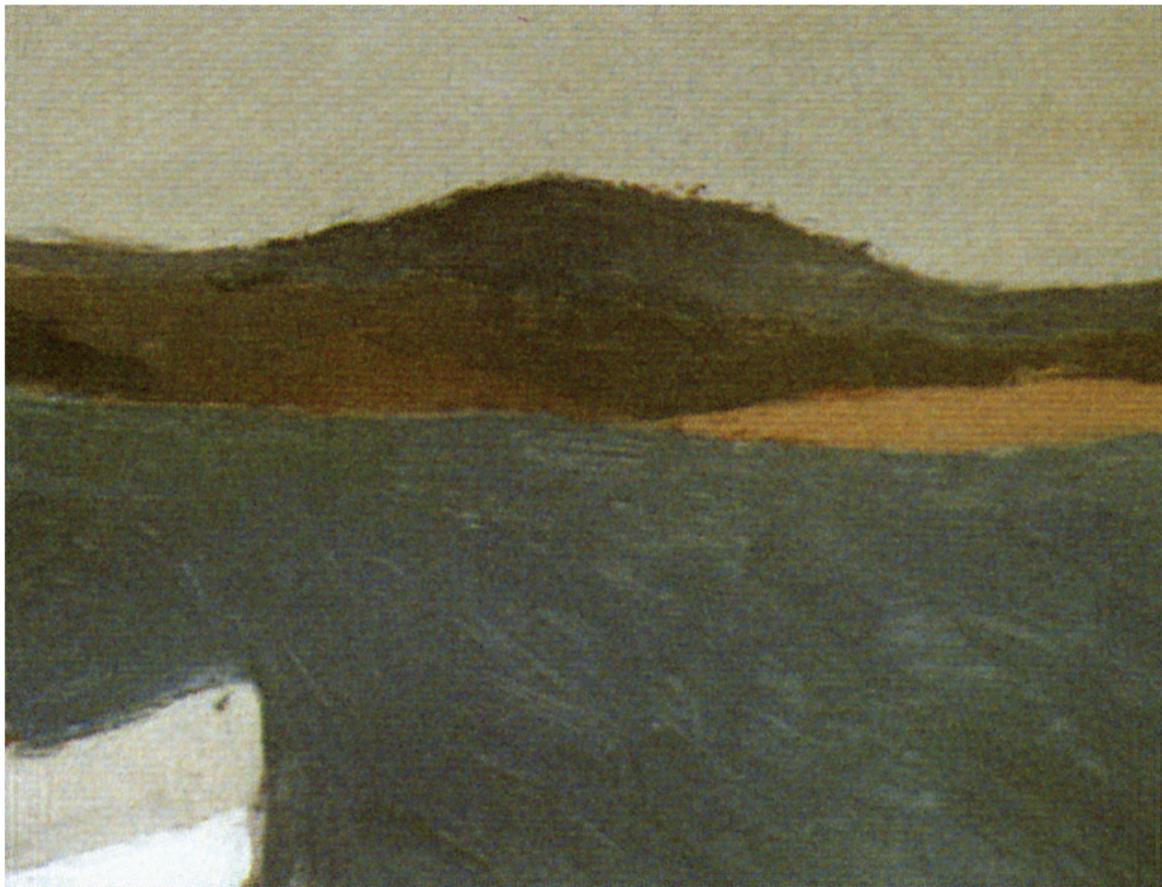
premier filtrage du canal B



second filtrage du canal B



recombinaison des canaux filtrés : image originale



recombinaison des canaux filtrés : premier filtrage



recombinaison des canaux filtrés : second filtrage



comparaison avec un filtrage gaussien

# ANNEXE A

Filtres à rejet de bande et d'encoche

## 2.3. Filtrés à rejet de bande

- Rejet de la bande de **rayon**  $R$  et de **largeur**  $W$

- ▶ idéal

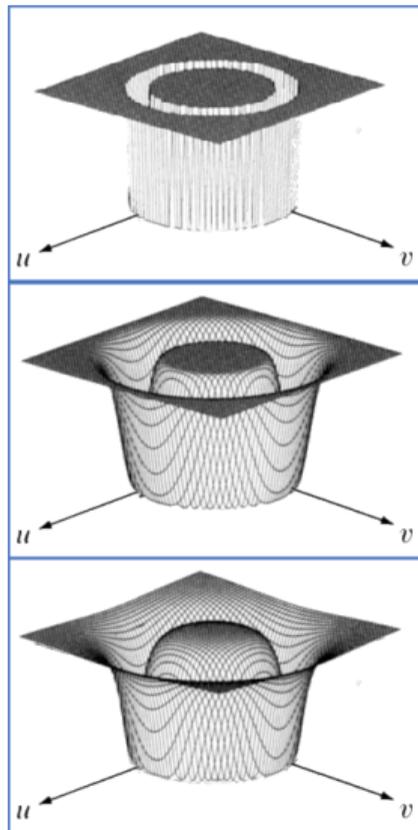
$$F(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{si } R - \frac{W}{2} < D(u, v) < R + \frac{W}{2} \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

- ▶ gaussien

$$F(u, v) = 1 - e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{D^2(u, v) - R^2}{D(u, v)W} \right)^2}$$

- ▶ butterworth

$$F(u, v) = \frac{1}{1 + \left( \frac{D(u, v)W}{D^2(u, v) - R^2} \right)^{2n}}$$



## ○ Filtre à rejet d'encoches

- ▶ rejet des fréquences dans un **disque** de centre  $(u_0, v_0)$  (resp.  $(-u_0, -v_0)$ ) et de rayon  $R$
- ▶  $D^+(u, v)$  (resp.  $D^-(u, v)$ ) : distance de  $(u, v)$  à  $(u_0, v_0)$  (resp. à  $(-u_0, -v_0)$ )

▶ idéal : 
$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \left\{ \begin{array}{l} \text{si } D^+(u, v) \leq R \\ \text{ou } D^-(u, v) \leq R \end{array} \right. \\ 1 & \text{sinon.} \end{cases}$$

▶ gaussien : 
$$H(u, v) = \left(1 - e^{-\frac{D^+(u,v)^2}{2R^2}}\right) \times \left(1 - e^{-\frac{D^-(u,v)^2}{2R^2}}\right)$$

▶ butterworth : 
$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{D^+(u,v)}\right)^{2n}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{D^-(u,v)}\right)^{2n}}$$

