TRAITEMENT D'IMAGE POUR LE PROTOTYPE DU RFQ SPIRAL2

Alain C France, O. Piquet

SOMMAIRE

OBJECTIF

Design du RFQ

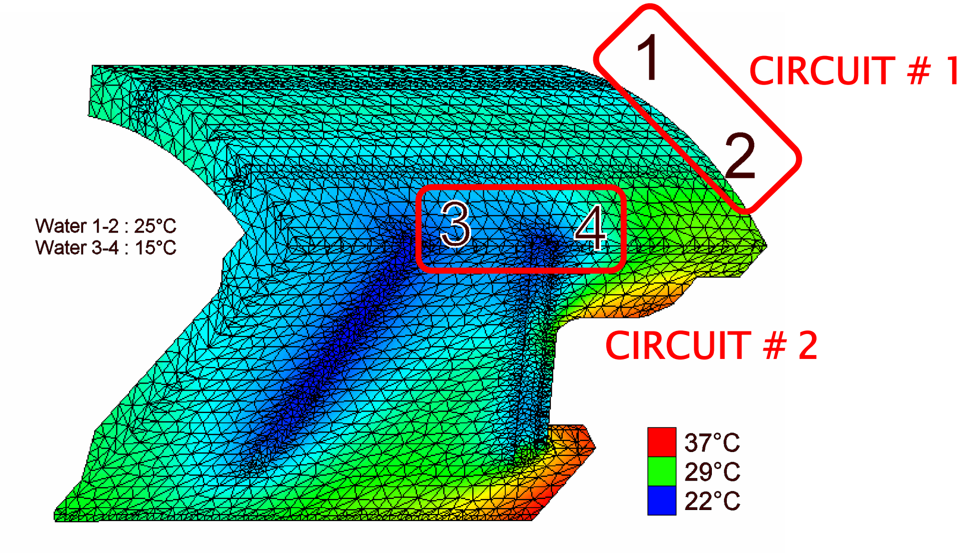
spécifications issues de la dynamique de faisceau

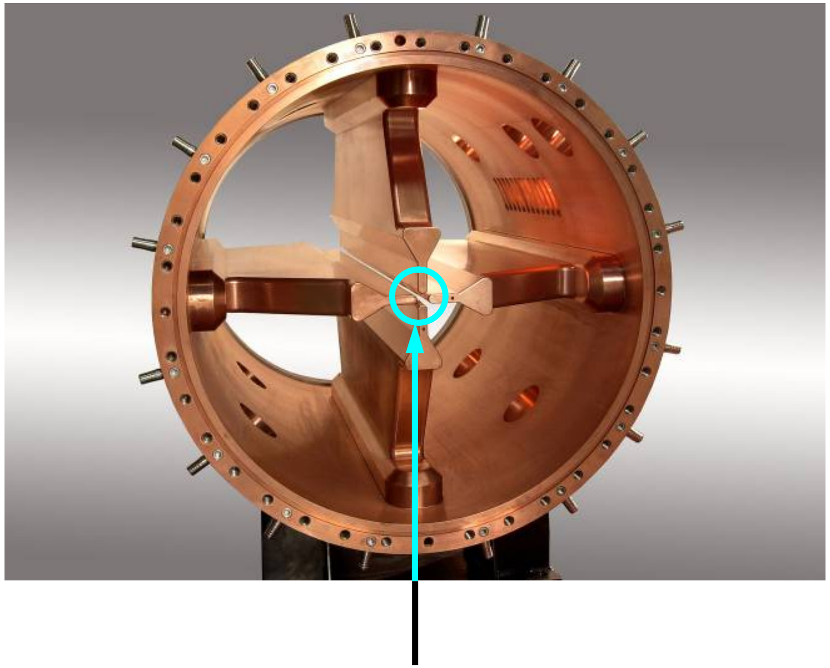
▼

design de la cavité à température ambiante

▼

compensation des déformations induites par le dépôt de puissance RF au moyen de 2 circuits de refroidissement indépendants

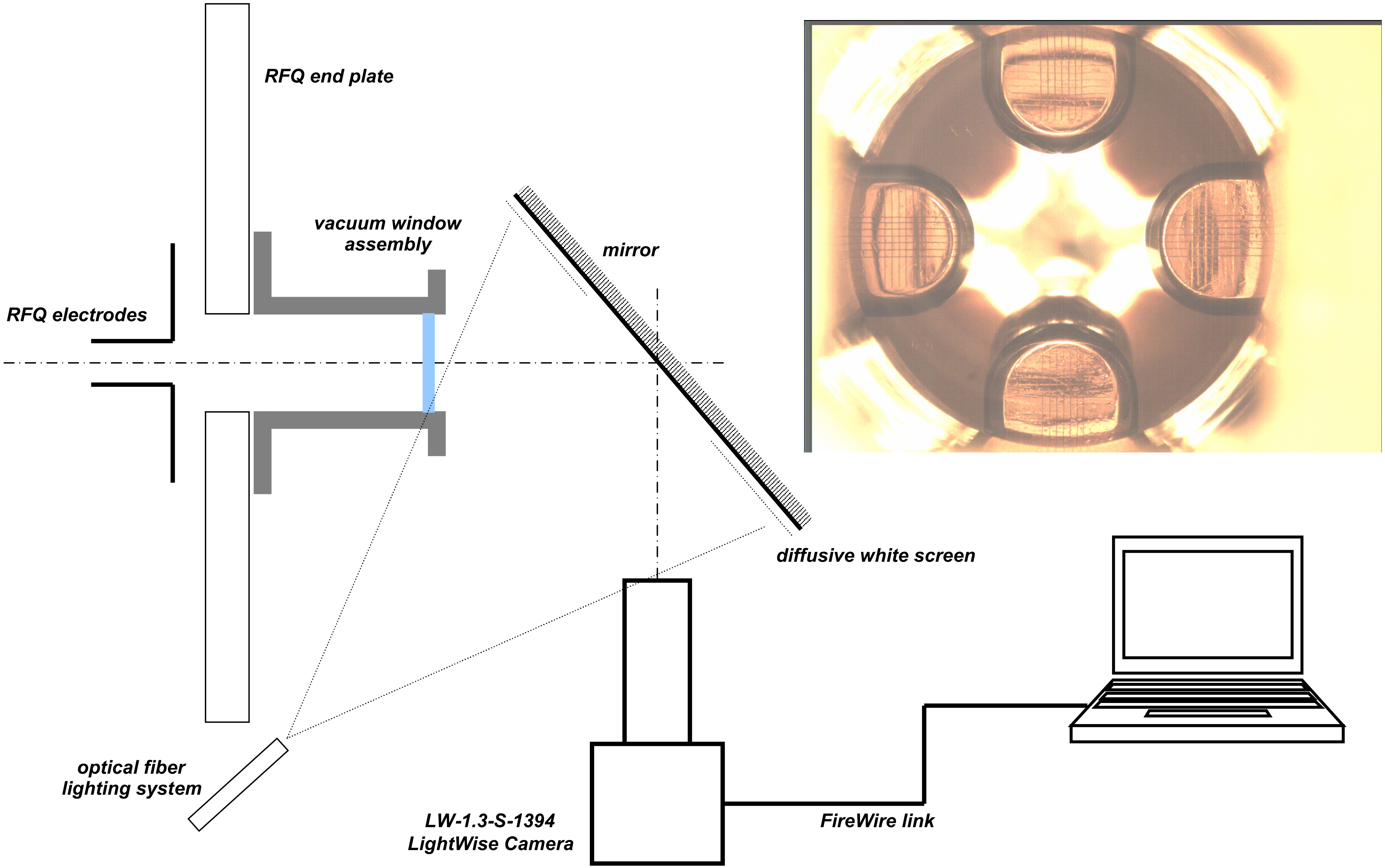




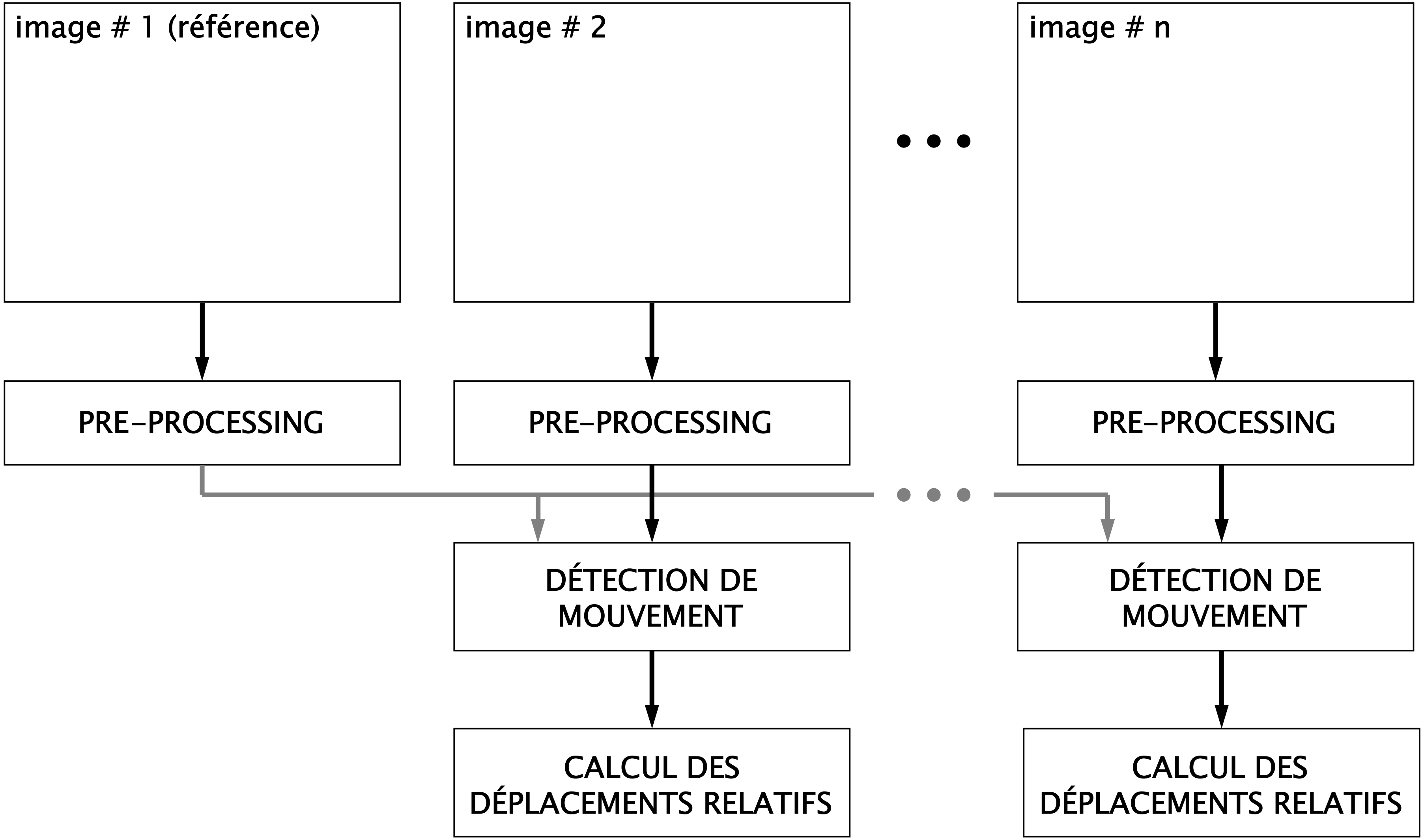
But des essais

mesurer les mouvements des électrodes dans la zone axiale en fonction de la densité de puissance RF et des températures des deux circuits d'eau.

MONTAGE EXPÉRIMENTAL

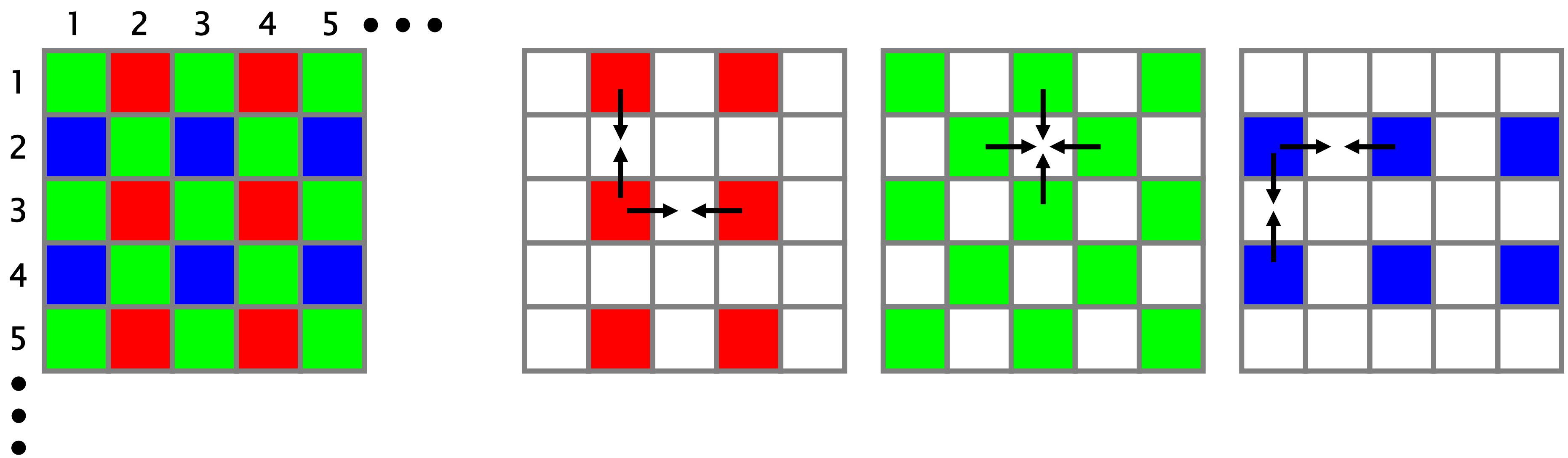


PRINCIPE DES MESURES



IMAGES NUMÉRIQUES DÉLIVRÉES PAR LES CAMÉRAS

mosaïque Bayer ⟹ pixels R, G, B : valeurs = 0 ... 255 (ex. 8 bits)



algorithme de démosaïquage:

- interpolation bilinéaire entre voisins: rapide mais peu satisfaisant
- traitement complémentaire (en général linéaire) basé sur les variations locales de R, G, B
- embarqué dans la caméra

EXEMPLES DE DÉMOSAÏQUAGE

image test originale

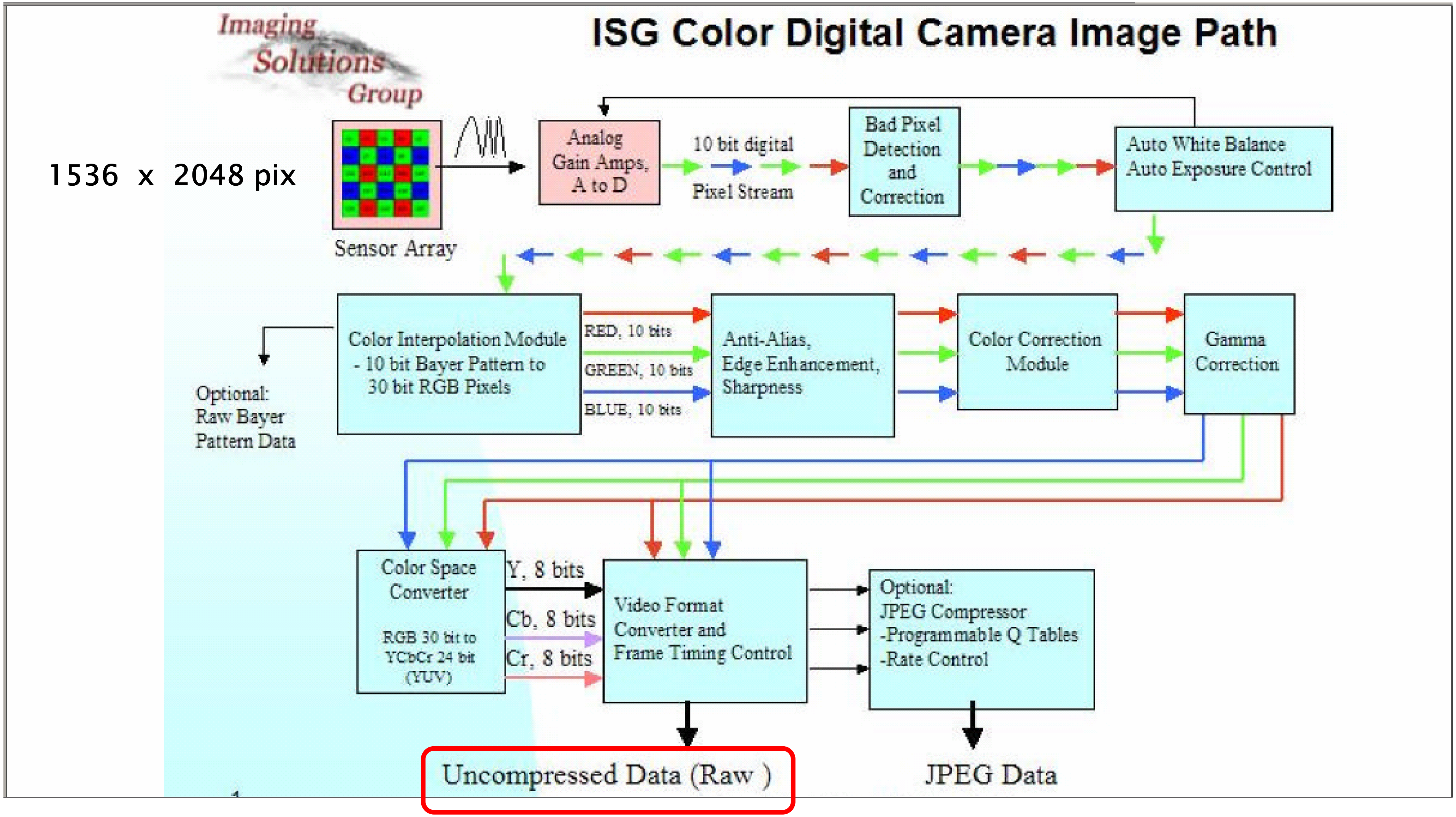
interpolation bilinéaire

interpolation bilinéaire + corrections

référence: HS Malvar & al., *High quality linear interpolation for demosaicing of Bayer-patterned color images*, Microsoft Research.

EXEMPLE DE LA CAMÉRA UTILISÉE

1536 x 2048 pix

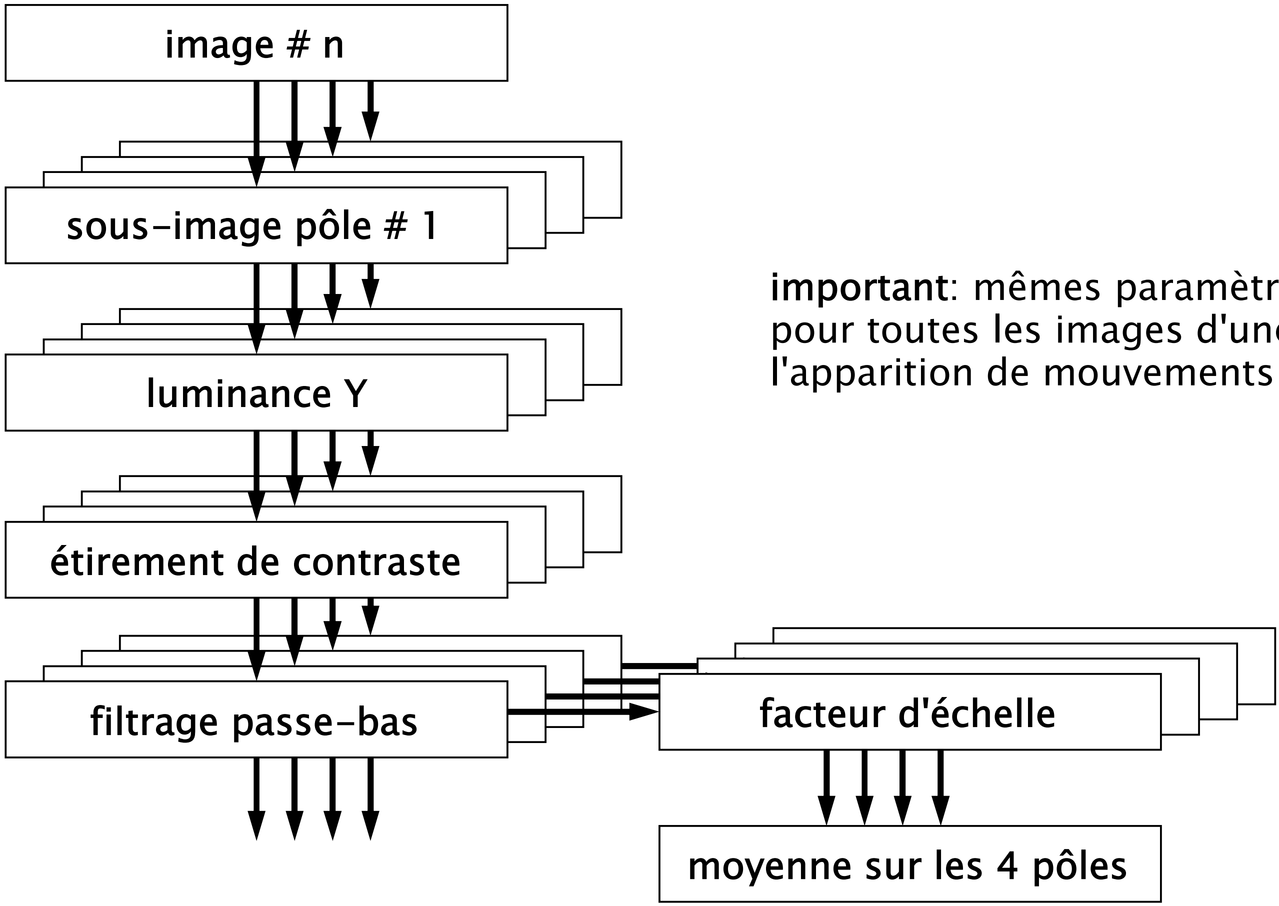


ALGORITHMES DE DÉTECTION DE MOUVEMENT

• tous basés sur la luminance Y(i,j) – la chrominance ne portant pas a priori d'information particulière sur le mouvement

Algorithmes	Information délivrée	Propriétés
I – jacobien (gradient) de la luminance	translations en {X,Y}	• très sensible aux mouvements sub-pixel • méthodes itératives complexes en cas de mouvements multi-pixel
II – inter-corrélation + localisation du pic par interpolation	translations en {X,Y}	• bonnes sensibilité et robustesse • partition de l'image pour éliminer les fausses corrélations et estimer la précision
III – détection de bord (jacobien et hessien de la luminance) + reconnaissance de forme	translations en {X,Y} et rotations	• très sensible aux mouvements sub- et multi-pixel • reconnaissance de forme complexe si des défauts de surface survivent à la détection de bord

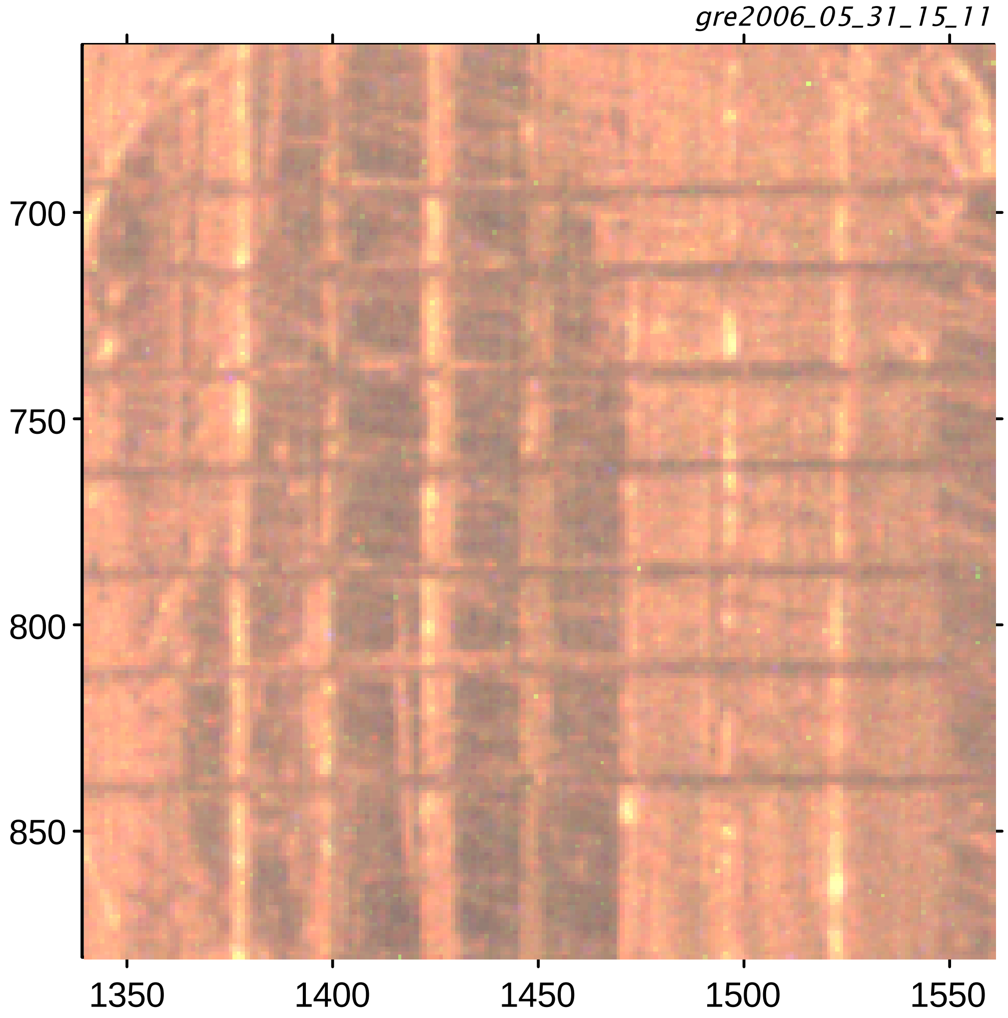
PRE-PROCESSING

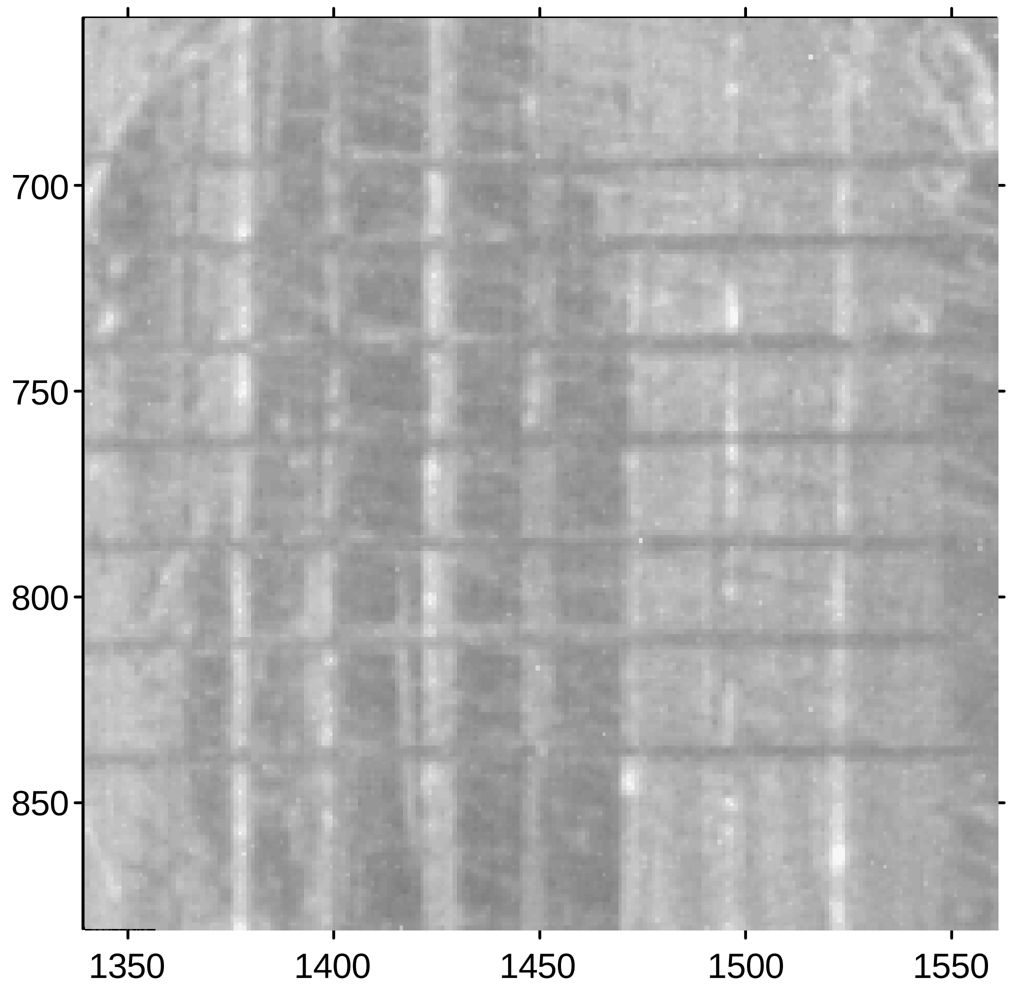


important: mêmes paramètres de traitement pour toutes les images d'une série pour éviter l'apparition de mouvements artificiels

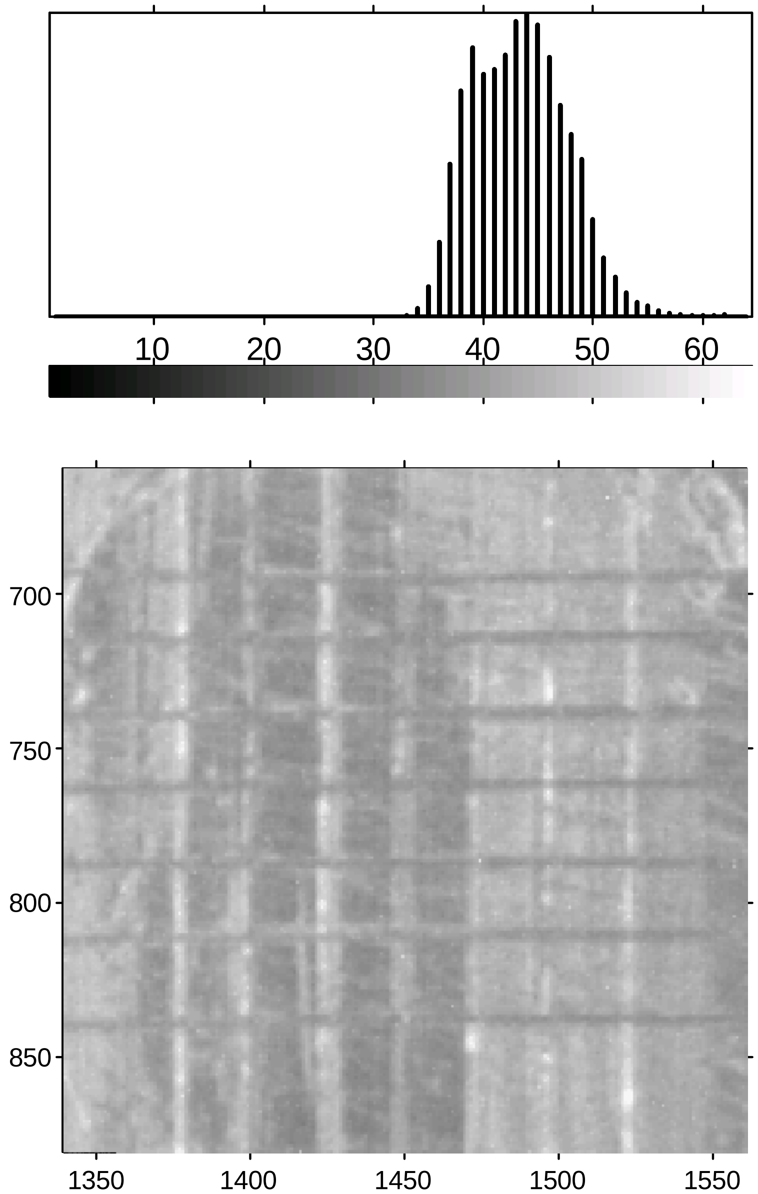
CALCUL DE LA LUMINANCE

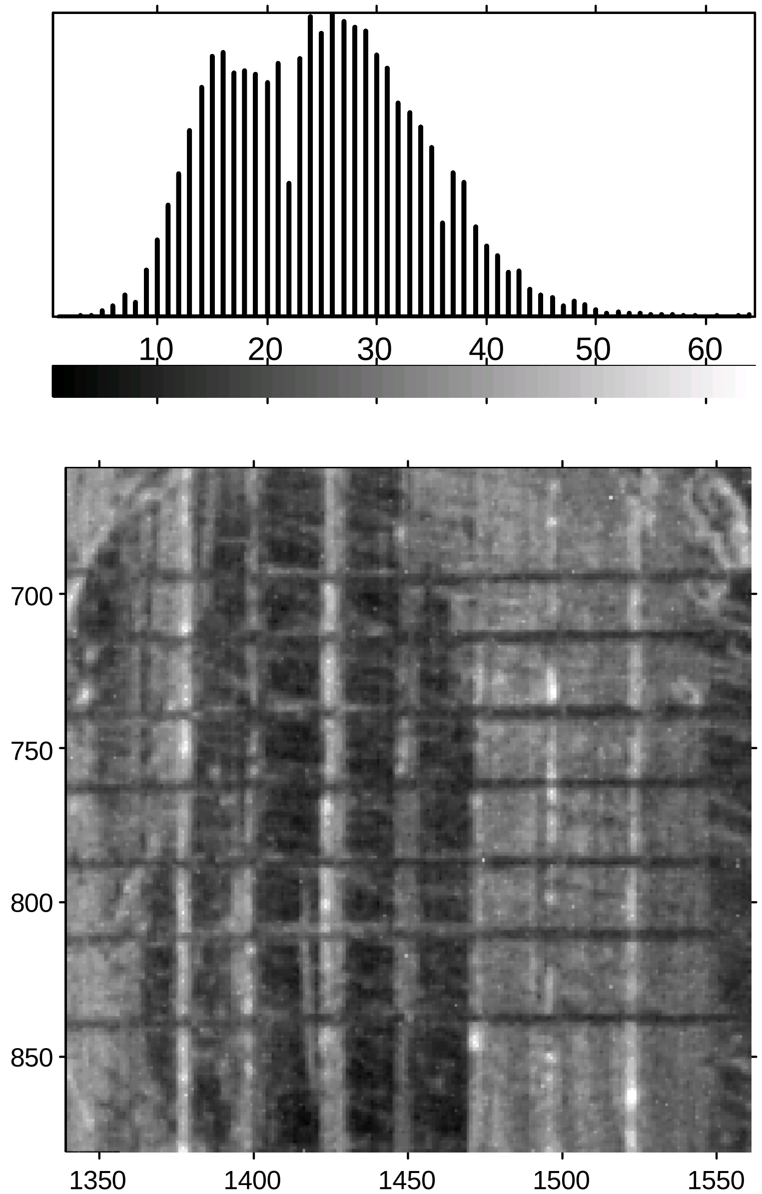
définition: $Y = 0.30\ R + 0.59\ G + 0.11\ B$





ÉTIREMENT DE CONTRASTE





FILTRAGE LINÉAIRE

- fonction de transfert

$$B_{i\,,\,j} = \sum_{p=1}^{P} \sum_{q=1}^{Q} A_{i+p-1\,,\; j+q-1} \cdot F_{p\,,\,q}$$

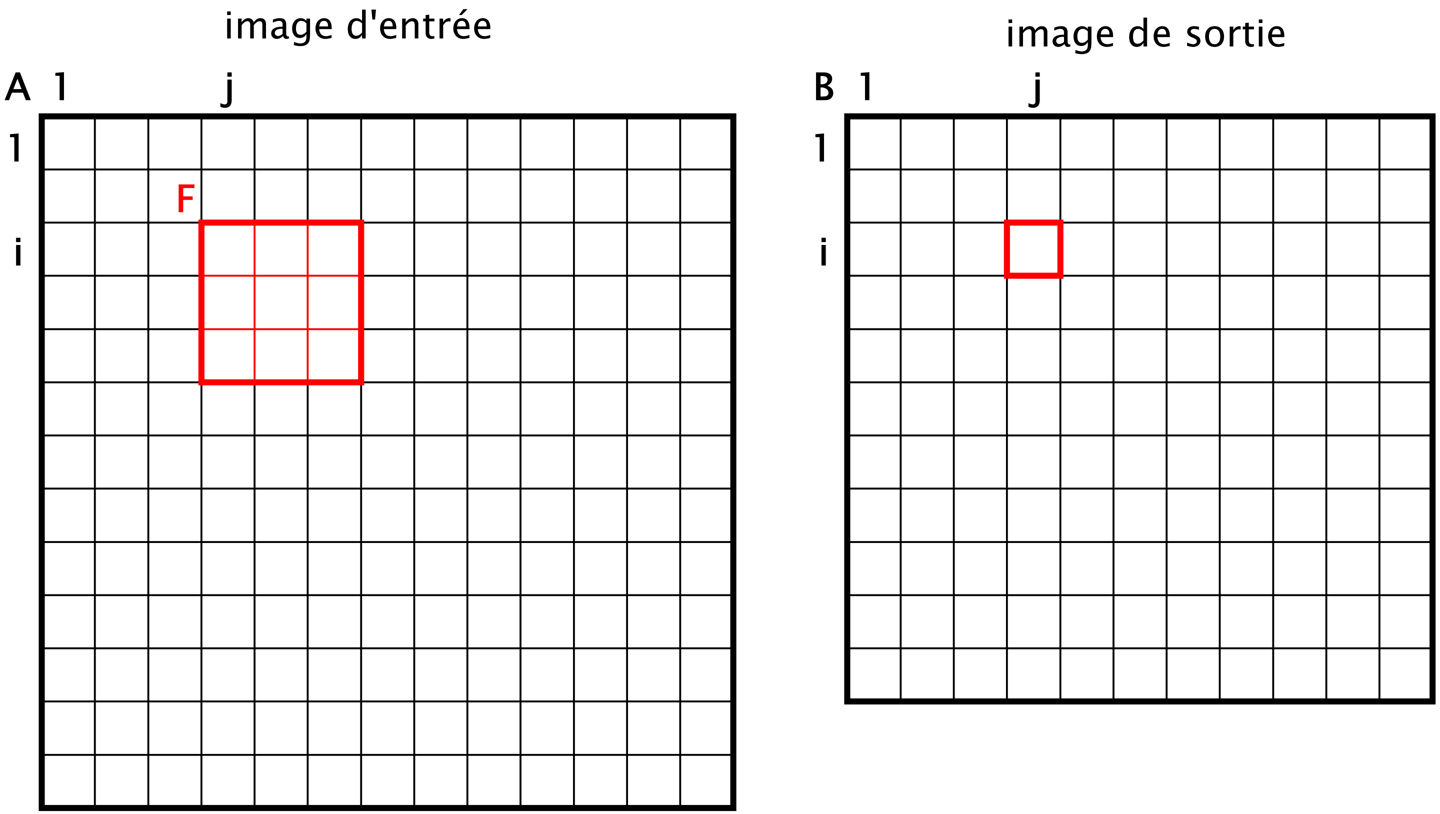
- coordonnées vert. et horiz.

$$I_B(i) = I_A(i) + P\,/\,2$$

$$J_B(j) = J_A(j) + Q\,/\,2$$

- normalisation

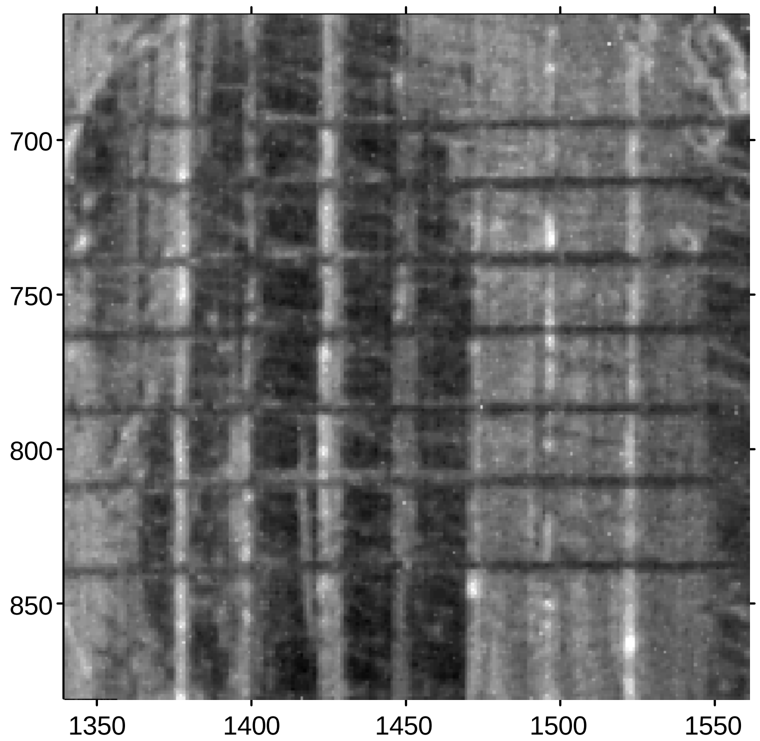
$$\sum_{p=1}^{P} F_{p\,,\,q} \leq 1$$

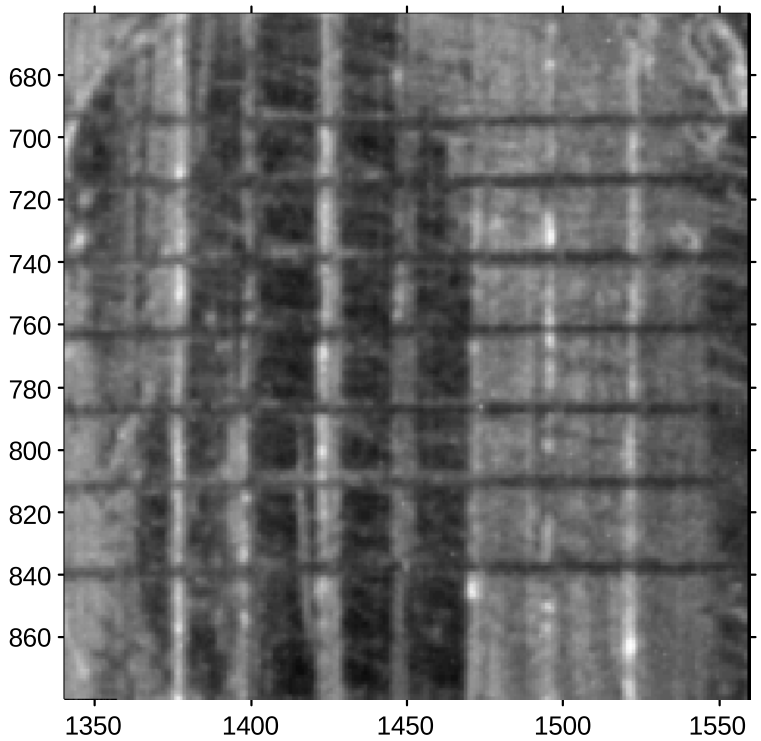


FILTRE GAUSSIEN PASSE-BAS

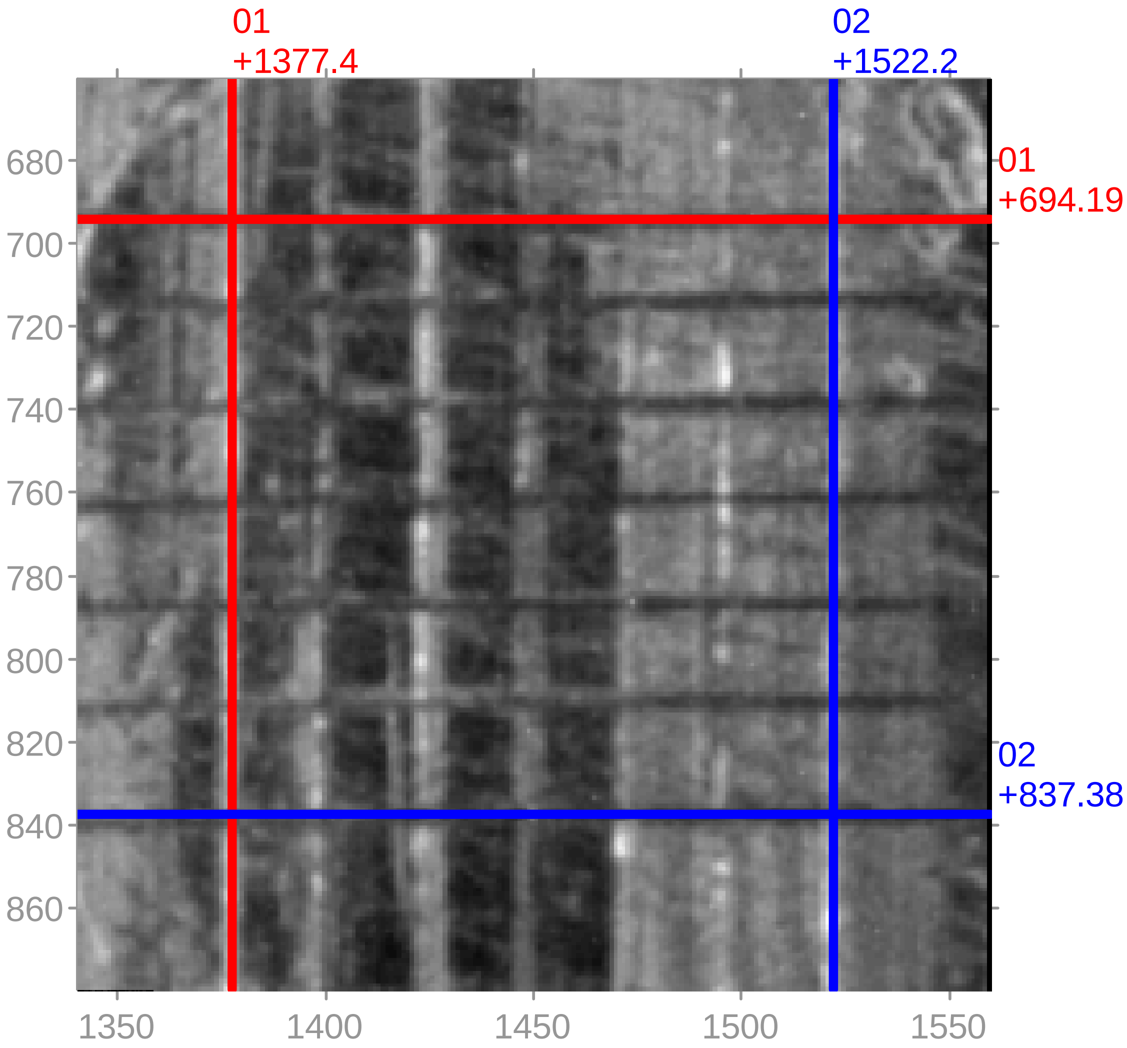
$\sigma_H = \sigma_V = 0.6$ pix

$$F = \begin{vmatrix} 0.02768 & 0.11101 & 0.02768 \\ 0.11101 & 0.44521 & 0.11101 \\ 0.02768 & 0.11101 & 0.02768 \end{vmatrix}$$





FACTEUR D'ÉCHELLE



- grille 4 x 4 mm
- dimensions de la grille en pixel

  W = 145 pix

  H = 143 pix

  $\rightarrow$ 1 pix $\equiv$ 27. 8 $\pm$ 0.2 μm

JACOBIEN ET HESSIEN DE LA LUMINANCE

- développement de Taylor de la luminance Y(x,y) à l'ordre (M,N):

$$Y(x,y) = Y(0,0) + \sum_{j=0}^{N} \sum_{\substack{i=0 \\ i+j \neq 0}}^{M} \frac{1}{j!}\frac{1}{i!} Y_{x^j y^i} x^j y^i \qquad (1)$$

- jacobien J et hessien H : $Y(x,y) = Y(0,0) + J^t \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x & y \end{vmatrix} H \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \ldots$

$$J = \begin{vmatrix} Y_x \\ Y_y \end{vmatrix} \qquad H = \begin{vmatrix} Y_{xx} & Y_{xy} \\ Y_{xy} & Y_{yy} \end{vmatrix}$$

- estimation par un filtre linéaire de masque 2P+1 x 2Q+1 : l'équation (1) sur le masque donne (2P+1)(2Q+1)−1 équations, que l'on résout au sens des moindres carrés

EXEMPLES DE MASQUES

• masque 3 x 3 ; ordre (2,2)

$$F_x = \frac{1}{6}\begin{vmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} \qquad F_{xy} = \frac{1}{4}\begin{vmatrix} +1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} \qquad F_{xx} = \frac{1}{5}\begin{vmatrix} +1 & -2 & +1 \\ +3 & -6 & +3 \\ +1 & -2 & +1 \end{vmatrix}$$

• masque 5 x 5 ; ordre (2,2)

$$F_x = \frac{1}{50}\begin{vmatrix} -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \\ -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \\ -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \\ -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \\ -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \end{vmatrix} \qquad F_{xy} = \frac{1}{100}\begin{vmatrix} +4 & +2 & 0 & -2 & -4 \\ +2 & +1 & 0 & -1 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \\ -4 & -2 & 0 & +2 & +4 \end{vmatrix}$$

$$F_{xx} = \frac{1}{945}\begin{vmatrix} +28 & -23 & -40 & -23 & +28 \\ +58 & +7 & -10 & +7 & +58 \\ +68 & +17 & -350 & +17 & +68 \\ +58 & +7 & -10 & +7 & +58 \\ +28 & -23 & -40 & -23 & +28 \end{vmatrix}$$

• masque 5 x 5 ; ordre (3,3)

$$F_x = \frac{1}{420}\begin{vmatrix} +31 & -44 & 0 & +44 & +31 \\ -5 & -62 & 0 & +62 & +5 \\ -17 & -68 & 0 & +68 & +17 \\ -5 & -62 & 0 & +62 & +5 \\ +31 & -44 & 0 & +44 & +31 \end{vmatrix} \qquad F_{xy} = \frac{1}{100}\begin{vmatrix} +4 & +2 & 0 & -2 & -4 \\ +2 & +1 & 0 & -1 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -1 & 0 & +1 & +2 \\ -4 & -2 & 0 & +2 & +4 \end{vmatrix}$$

$$F_{xx} = \frac{1}{945}\begin{vmatrix} +28 & -23 & -40 & -23 & +28 \\ +58 & +7 & -10 & +7 & +58 \\ +68 & +17 & -350 & +17 & +68 \\ +58 & +7 & -10 & +7 & +58 \\ +28 & -23 & -40 & -23 & +28 \end{vmatrix}$$

$$F_{xxx} = \frac{1}{10}\begin{vmatrix} -1 & +2 & 0 & -2 & +1 \\ -1 & +2 & 0 & -2 & +1 \\ -1 & +2 & 0 & -2 & +1 \\ -1 & +2 & 0 & -2 & +1 \\ -1 & +2 & 0 & -2 & +1 \end{vmatrix} \qquad F_{xxy} = \frac{1}{70}\begin{vmatrix} -4 & +2 & +4 & +2 & -4 \\ -2 & +1 & +2 & +1 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +2 & -1 & -2 & -1 & +2 \\ +4 & -2 & -4 & -2 & +4 \end{vmatrix}$$

ALGORITHME I – PRINCIPE DE LA DÉTECTION DE MOUVEMENT

- développement au premier ordre de la luminance Y(x,y) :

$$Y(j+u, i+v) = Y(j,i) + J^t \begin{vmatrix} u \\ v \end{vmatrix} \qquad J = \begin{vmatrix} \partial Y(j,i) / \partial x \\ \partial Y(j,i) / \partial y \end{vmatrix}$$

- mouvement {u,v} de l'image #n par rapport à l'image #1:

$$Y^n(x, y) = Y^1(x - u, y - v)$$

- estimation du mouvement sur un groupe de pixels $[J_1, J_2] \times [I_1, I_2]$:

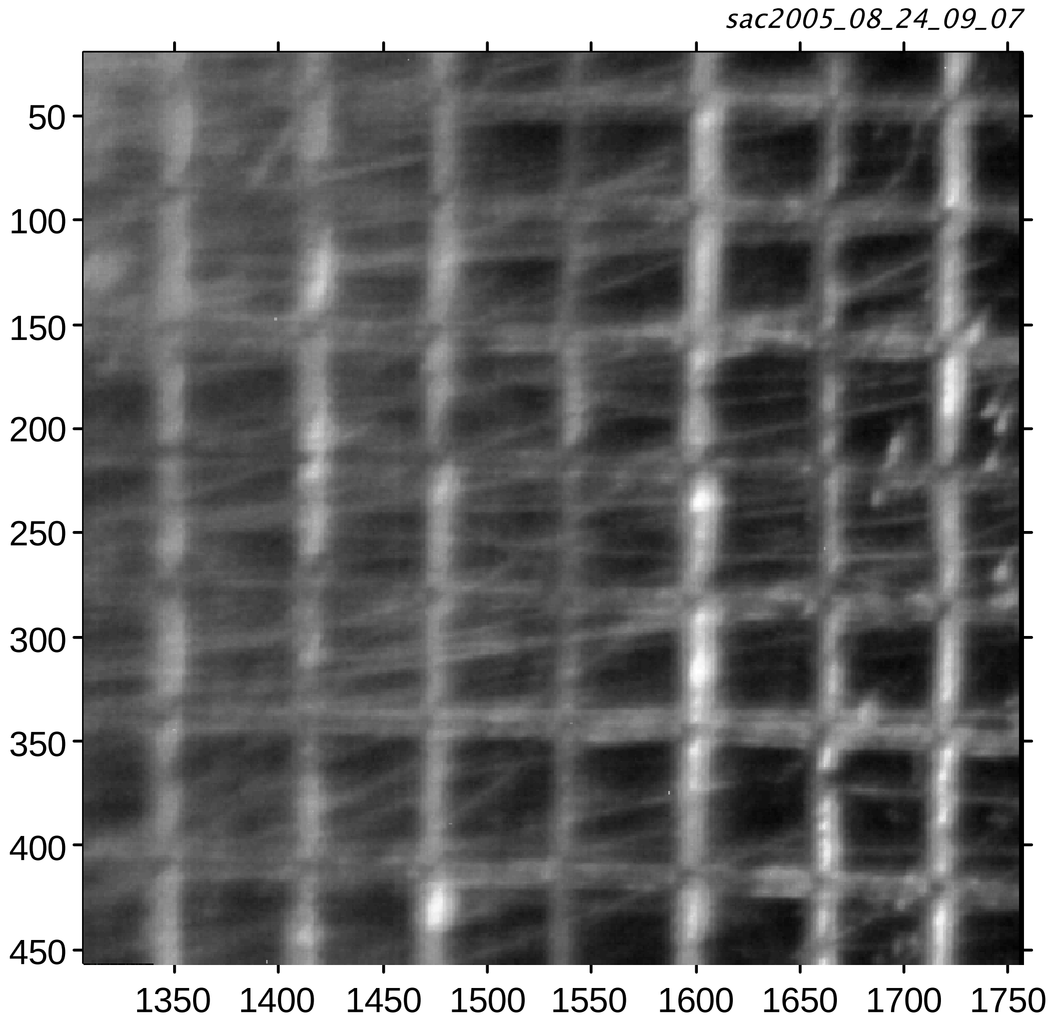
$$Y^n(j,i) = Y^1(j,i) - J_x^1(j,i) \,.\, u - J_y^1(j,i) \,.\, v, \qquad I_1 \le i \le I_2, \quad J_1 \le j \le J_2,$$

  que l'on résout au sens des moindres carrés.

- sélection des pixels – J_{min} élimine les zones où Y ne varie pas et J_{max} élimine les pixels de bruit isolés :

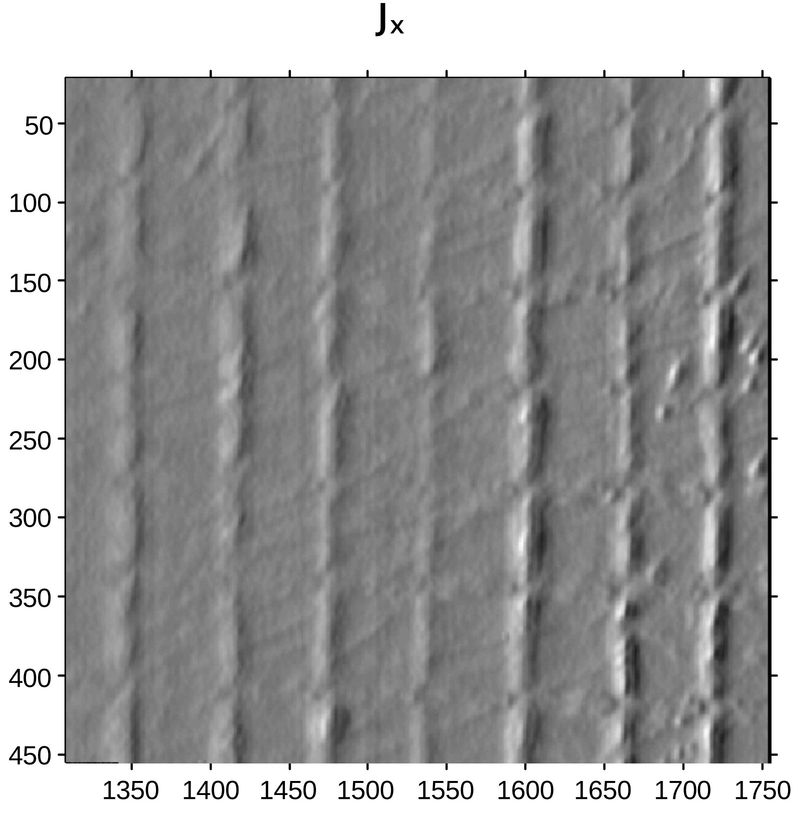
$$J_{min} \le \left\| J^1 \right\| \le J_{max}$$

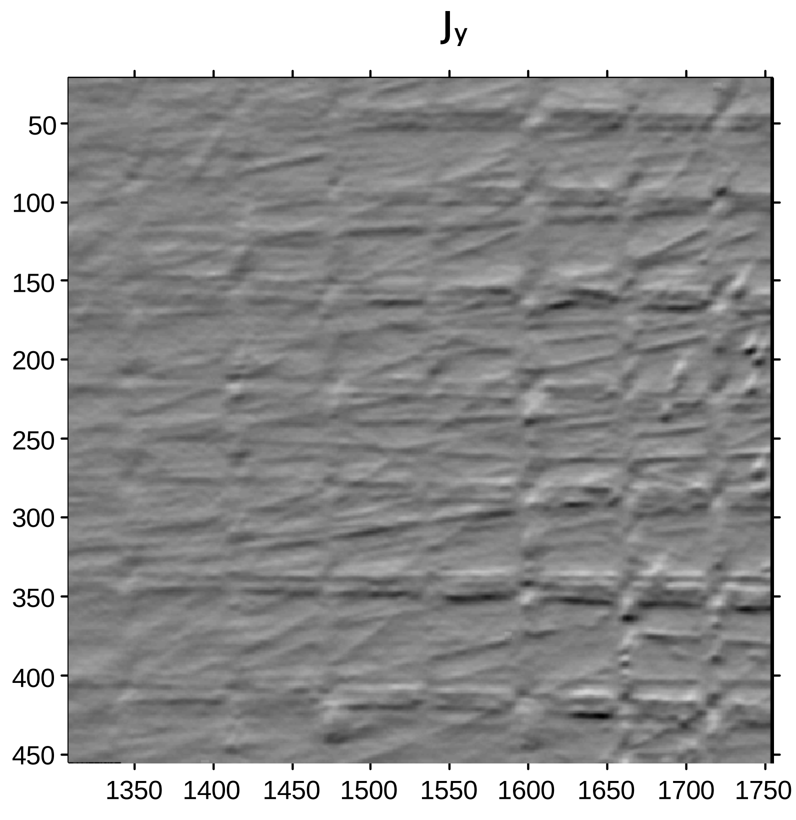
ALGORITHME I – EXEMPLE



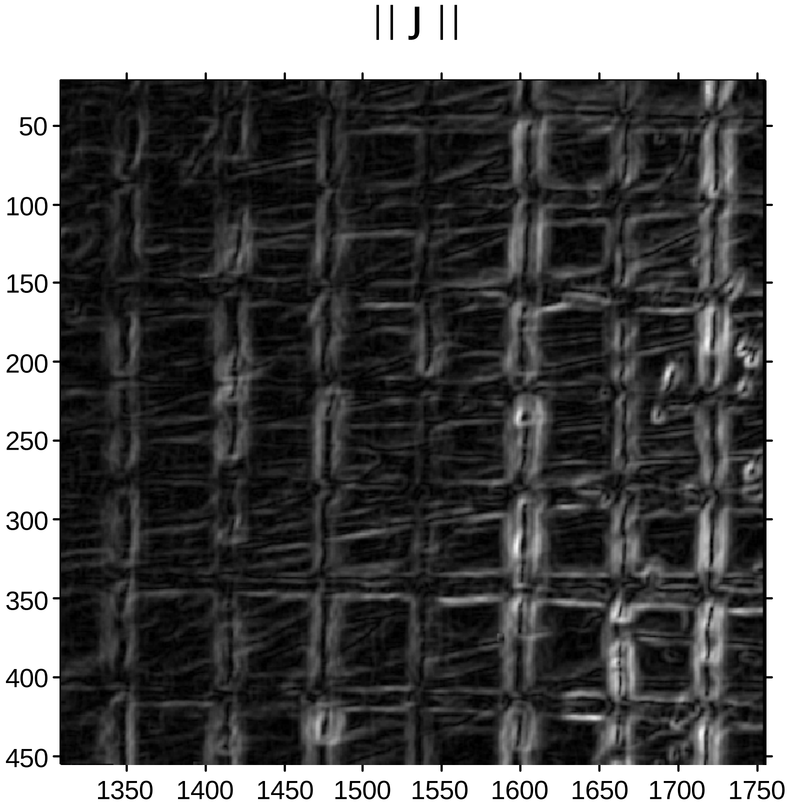
ALGORITHME I – COMPOSANTES DU JACOBIEN

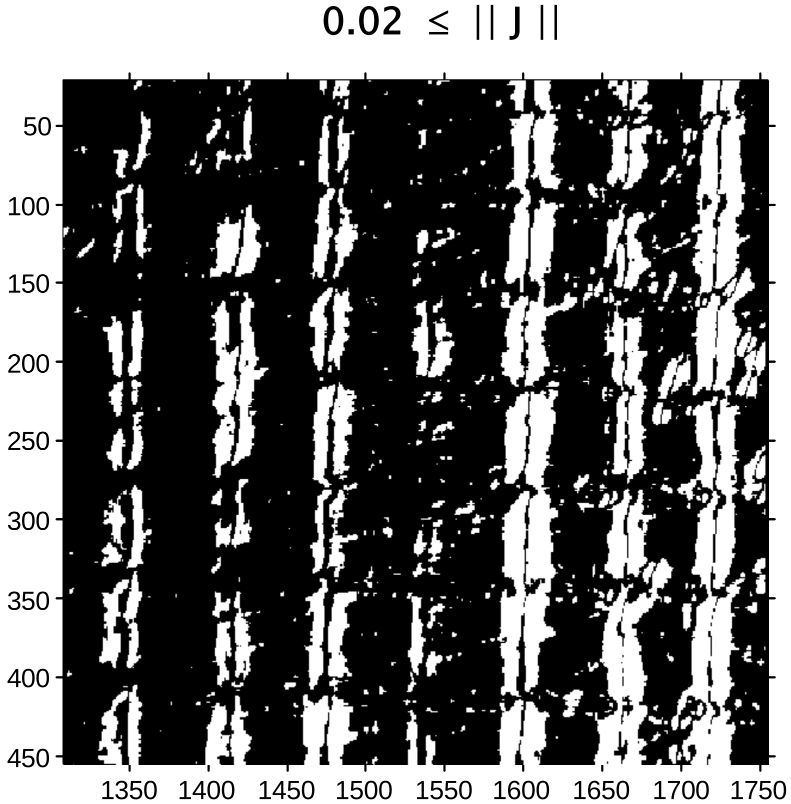
masque 5 x 5 ; ordre (2,2)



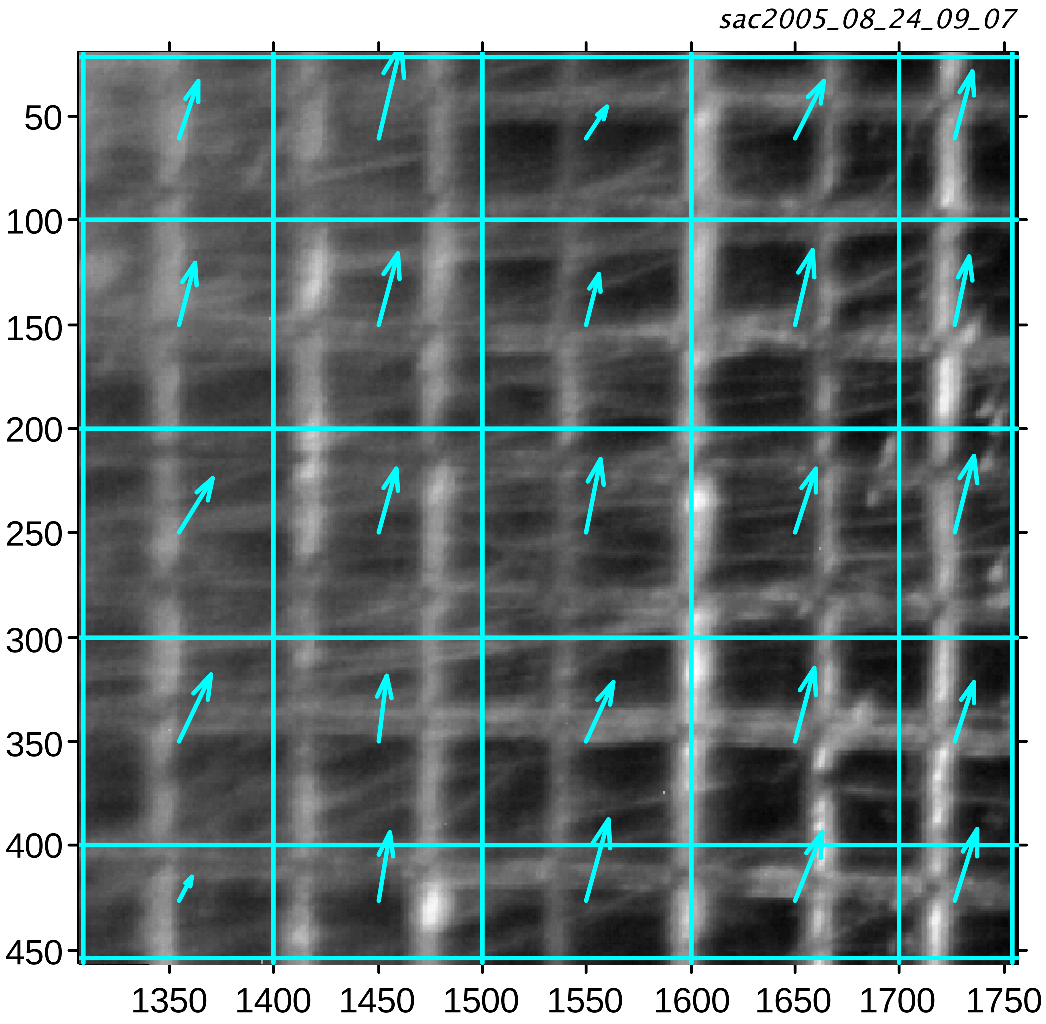


ALGORITHME I – SÉLECTION DES PIXELS

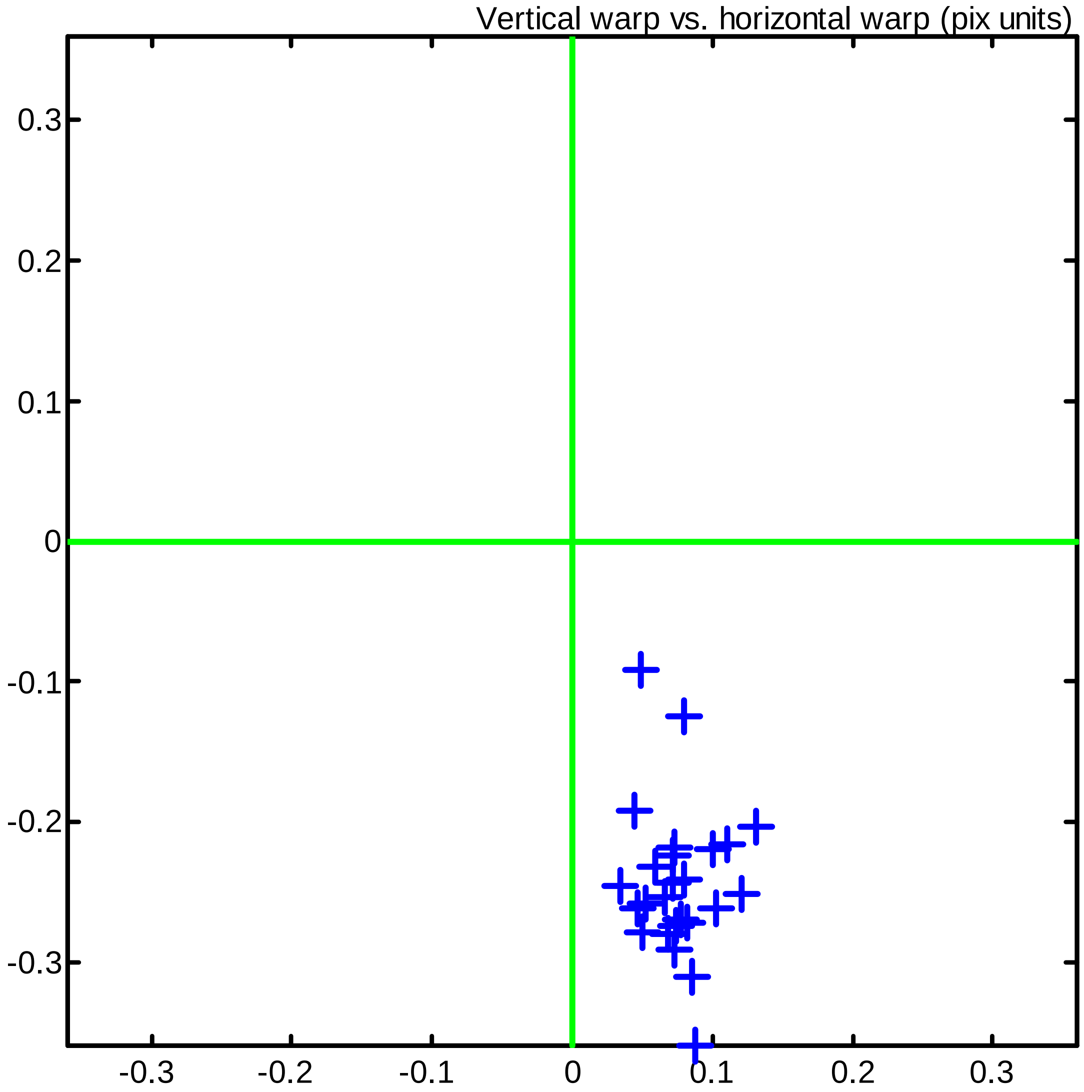




ALGORITHME I – CHAMP DE DÉPLACEMENT



ALGORITHME I – STATISTIQUES



- mouvement moyen estimé (pix)

  $\langle u \rangle = +0.0757$

  $\langle v \rangle = -0.2427$

- écart-types de la partition 5 x 5

  $\sigma(u) = 0.024$

  $\sigma(v) = 0.054$

- écarts-types de l'estimation (pix)

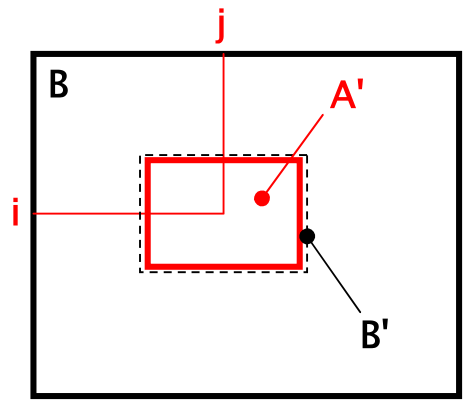
  $\sigma(\langle u \rangle) = 0.0048$

  $\sigma(\langle v \rangle) = 0.0188$

ALGORITHME II – LE CORRÉLATEUR

- on cherche dans une "grande" image A, la ou les zones ressemblant "le plus" à une image de référence B

- idée: utiliser les propriétés du produit scalaire dans $\mathbb{R}^n$:
  $||a|| = 1, \; ||b||=1 \quad \rightarrow \quad -1 \leq a^t b \leq +1$, et : $a^t b = 1$ ssi $a = b$.



- soit B la "grande" image, et A l'image de référence de dimension (2P+1)(2Q+1); le coefficient d'inter-corrélation de A et B est défini par :

$$\chi_{i,j} = \sum_{p=-P}^{p=+P} \sum_{q=-Q}^{q=+Q} A'_{p,q} \; B'_{i+p,j+q}$$

où A' et B' sont normées (norme euclidienne dans $\mathbb{R}^n$) et à moyenne nulle:

$$\langle A \rangle = \frac{1}{(2P+1)(2Q+1)} \sum_{p=-P}^{p=+P} \sum_{q=-Q}^{q=+Q} A_{p,q} \qquad A' = \frac{A - \langle A \rangle}{\left\| A - \langle A \rangle \right\|_2}$$

$$\langle B \rangle_{i,j} = \frac{1}{(2P+1)(2Q+1)} \sum_{p=-P}^{p=+P} \sum_{q=-Q}^{q=+Q} B_{i+p,j+q} \qquad B'_{i+p,j+q} = \frac{B_{i+p,j+q} - \langle B \rangle_{i,j}}{\sqrt{\sum_{m=-P}^{m=+P} \sum_{n=-Q}^{n=+Q} \left(B_{i+m,j+n} - \langle B \rangle_{i,j}\right)^2}}$$

ALGORITHME II - L'INTERPOLATEUR

- **idée**: développer χ au voisinage du pic de corrélation localisé en {u,v} :

$$\chi(x, y) = a(x - u)^2 + b(y - v)^2 + c(x - u)(y - v) + d$$

- **calcul de a, b, c, d, u, v**: le développement de χ en fonction de {x,y} est:

$$\chi(x, y) = g_1x^2 + g_2y^2 + g_3xy + g_4x + g_5y + g_6$$

on utilise les sorties du corrélateur $\chi(j,i)$ dans un domaine $[J_1,J_2] \times [I_1,I_2]$ pour estimer les g_n au sens des moindres carrés. À partir des g_n on obtient:

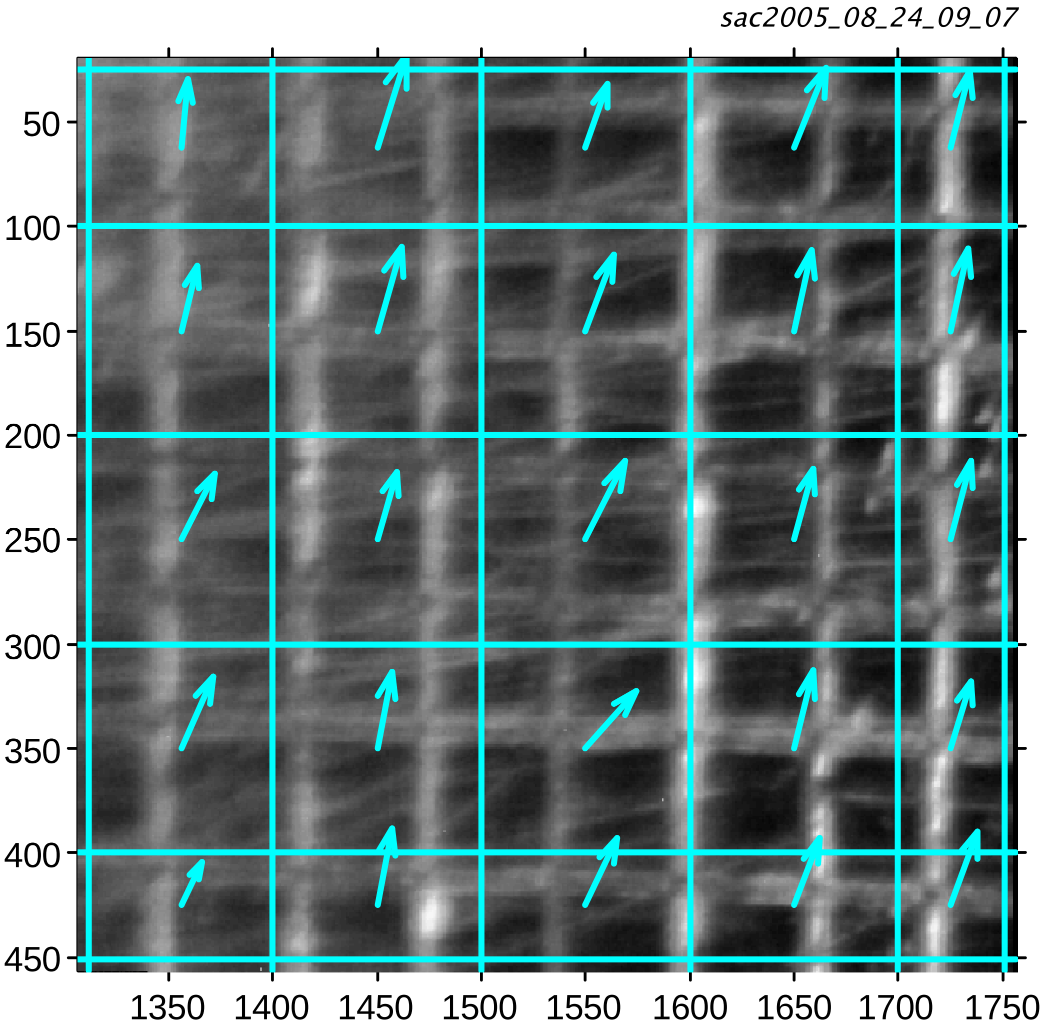
$$a = g_1; \quad b = g_2; \quad c = g_3; \quad \begin{vmatrix} -a & -c \\ -c & -b \end{vmatrix} \begin{vmatrix} u \\ v \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} g_4 \\ g_5 \end{vmatrix}; \quad d = -\tfrac{1}{2} g_4 u - \tfrac{1}{2} g_5 v - g_6$$

- **élimination des faux extrema** : le hessien de χ est : $H = \begin{vmatrix} g_1 & \frac{1}{2} g_3 \\ \frac{1}{2} g_3 & g_2 \end{vmatrix}$

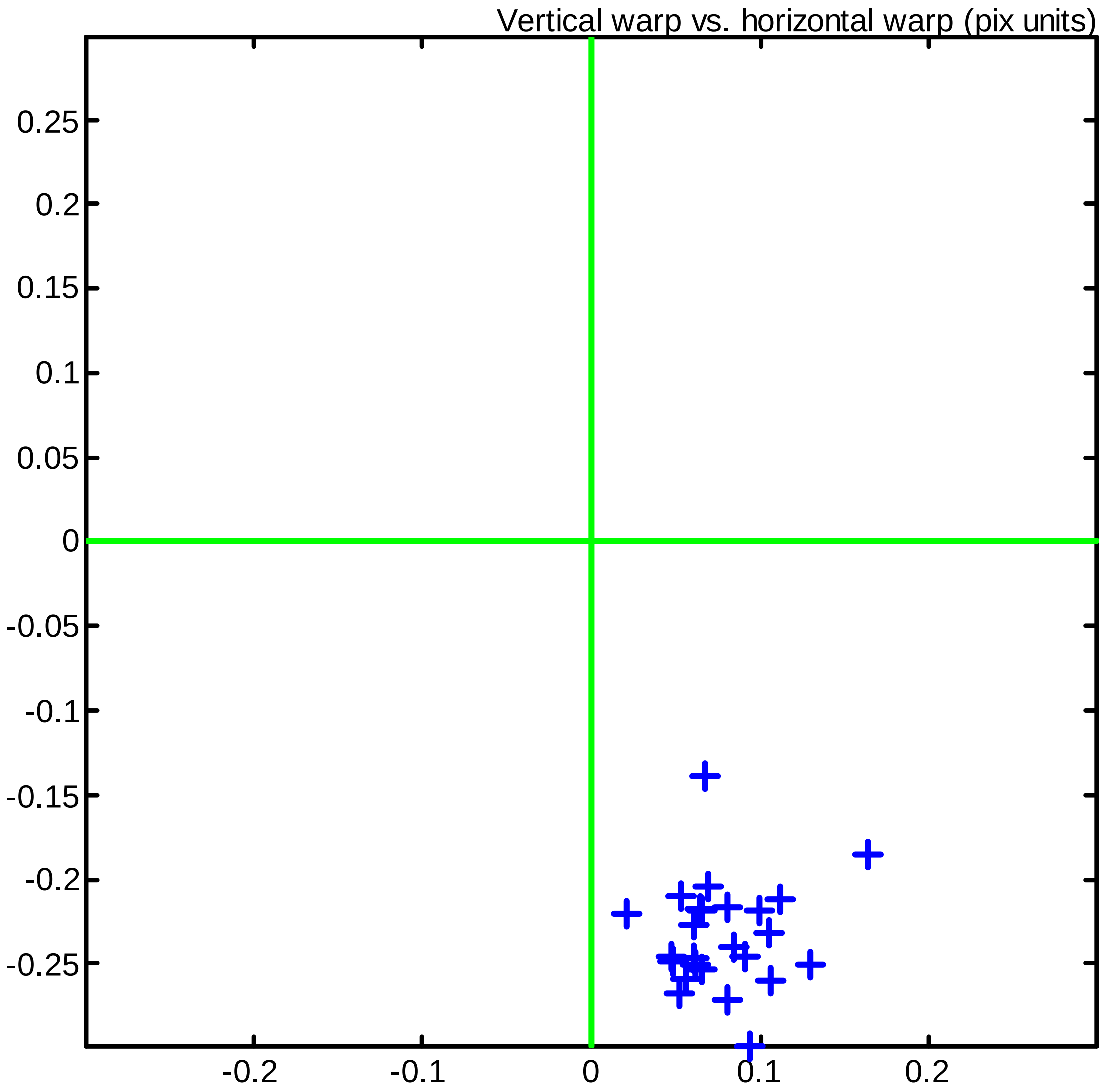
ses valeurs propres λ_1 et λ_2 sont solution de : $\lambda^2 - (g_1 + g_2)\lambda + g_1 g_2 - \frac{1}{4} g_3^2$

et les extréma ne satisfaisant pas $\lambda_1 < 0$ et $\lambda_2 < 0$ sont éliminés.

ALGORITHME II – CHAMP DE DÉPLACEMENT



ALGORITHME II – STATISTIQUES



- mouvement moyen estimé (pix)

  $\langle u \rangle = +0.07775$

  $\langle v \rangle = -0.2337$

- écart-types de la partition 5 x 5

  $\sigma(u) = 0.0303$

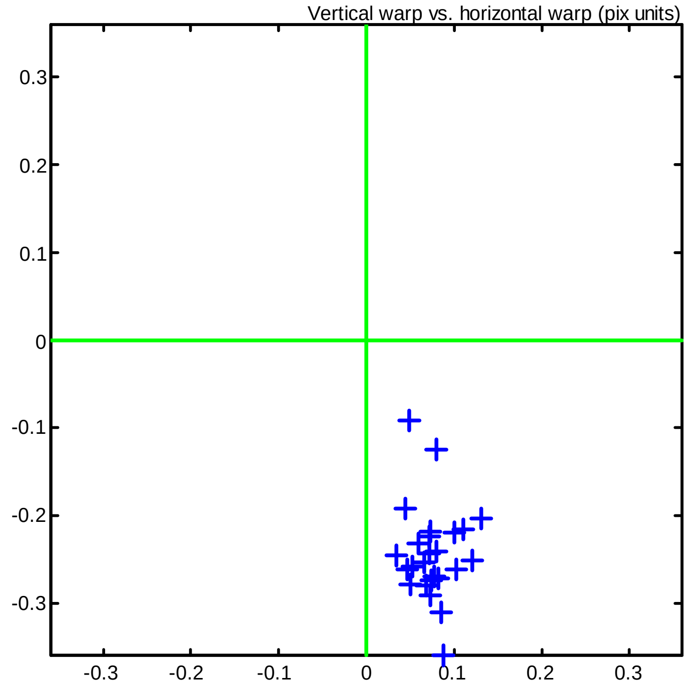
  $\sigma(v) = 0.0319$

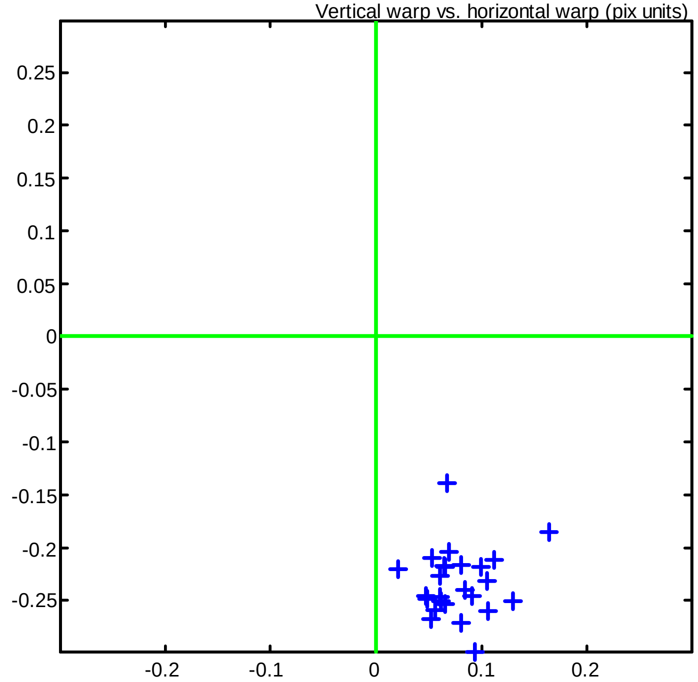
- écarts-types de l'estimation (pix)

  $\sigma(\langle u \rangle) = 0.0061$

  $\sigma(\langle v \rangle) = 0.0064$

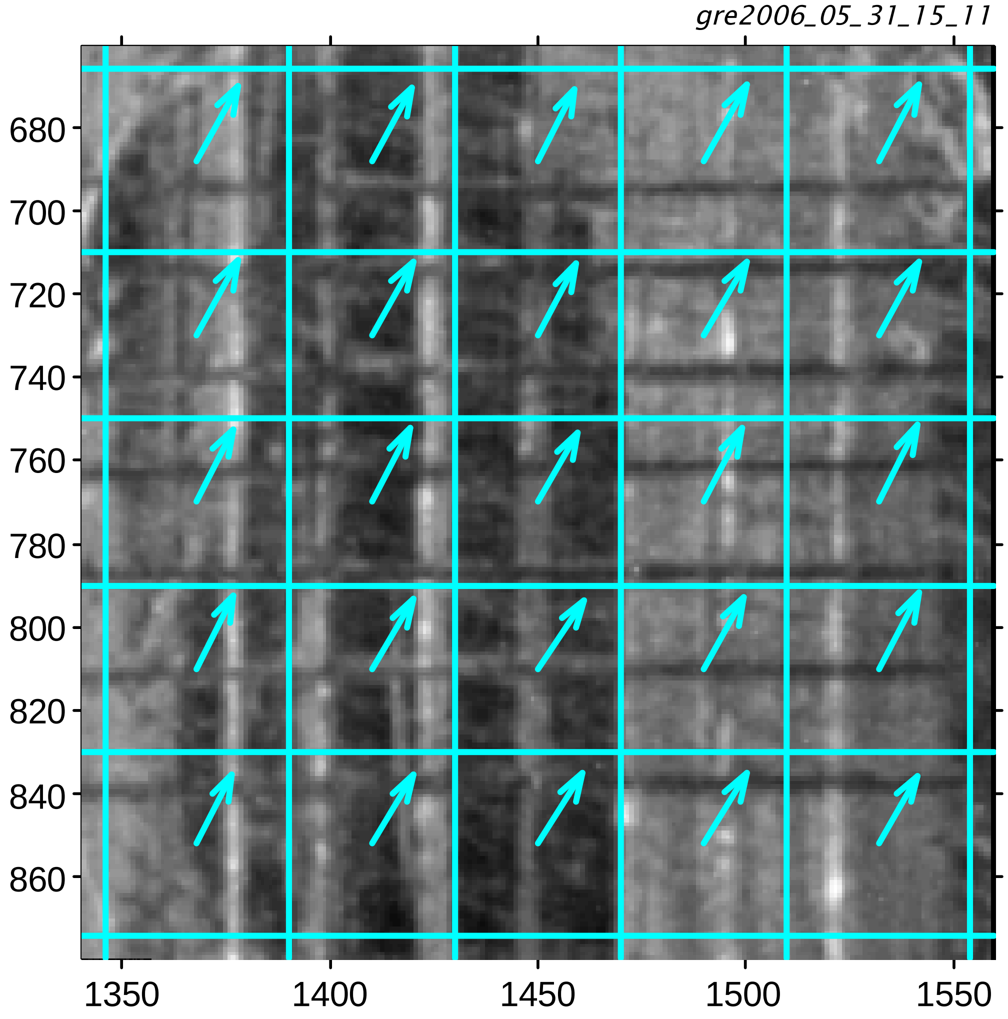
COMPARAISON DES ALGORITHMES I ET II



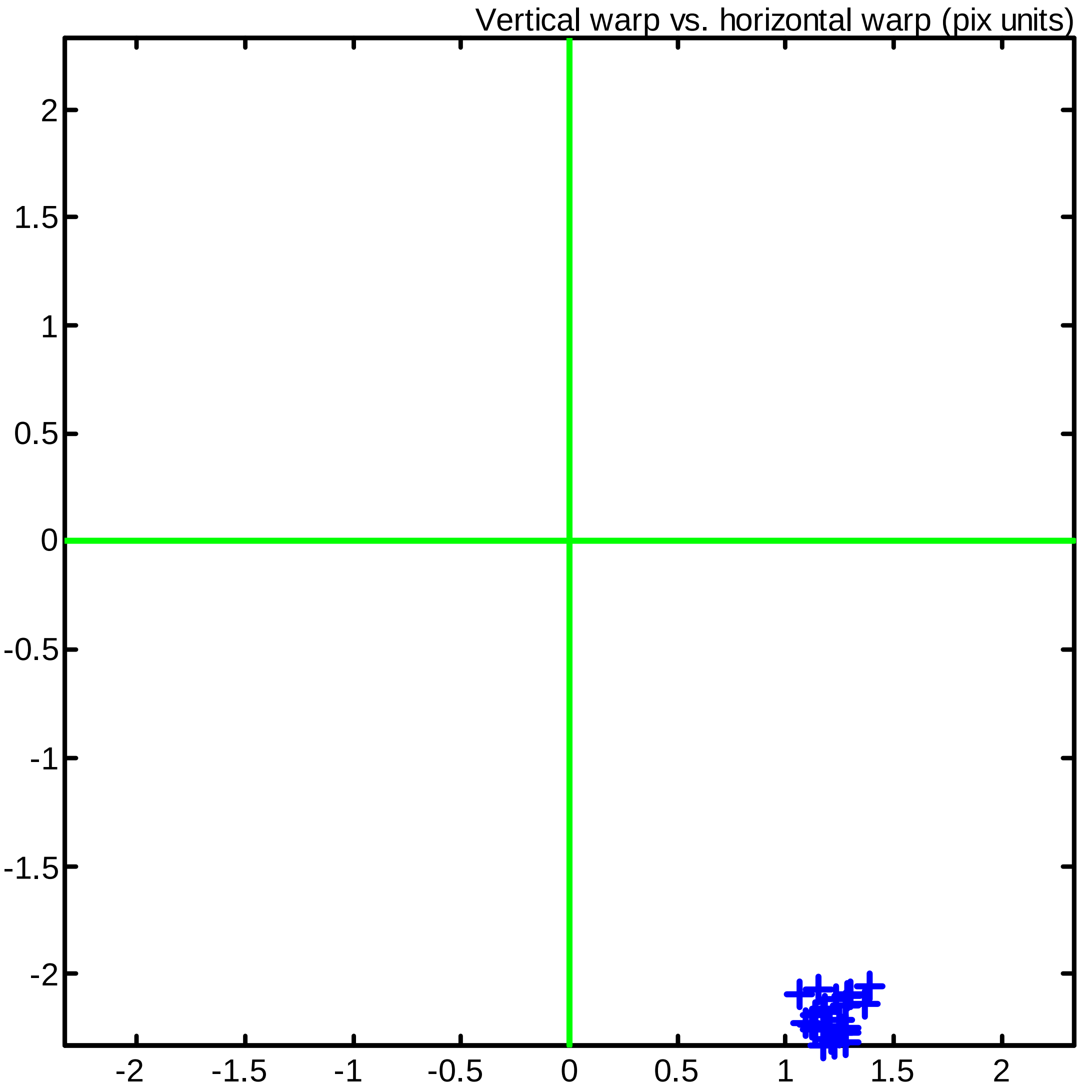


	(I)	(II)
$\langle u \rangle$	$+0.0757$	$+0.07775$
$\langle v \rangle$	-0.2427	-0.2337
$\sigma(u)$	0.024	0.0303
$\sigma(v)$	0.054	0.0319

ALGORITHME II – EXEMPLE DE MOUVEMENT MULTI-PIXEL



ALGORITHME II – MOUVEMENT MULTI-PIXEL; STATISTIQUES



- mouvement moyen estimé (pix)

  $\langle u \rangle = +1.2206$

  $\langle v \rangle = -2.2027$

- écart-types de la partition 5 x 5

  $\sigma(u) = 0.0795$

  $\sigma(v) = 0.0829$

- écarts-types de l'estimation (pix)

  $\sigma(\langle u \rangle) = 0.016$

  $\sigma(\langle v \rangle) = 0.017$

ALGORITHME III – GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

- **idée**: représenter la fonction de luminance par un difféomorphisme de $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ dans $\mathbb{R}^3$, et étudier les propriétés locales de la surface:

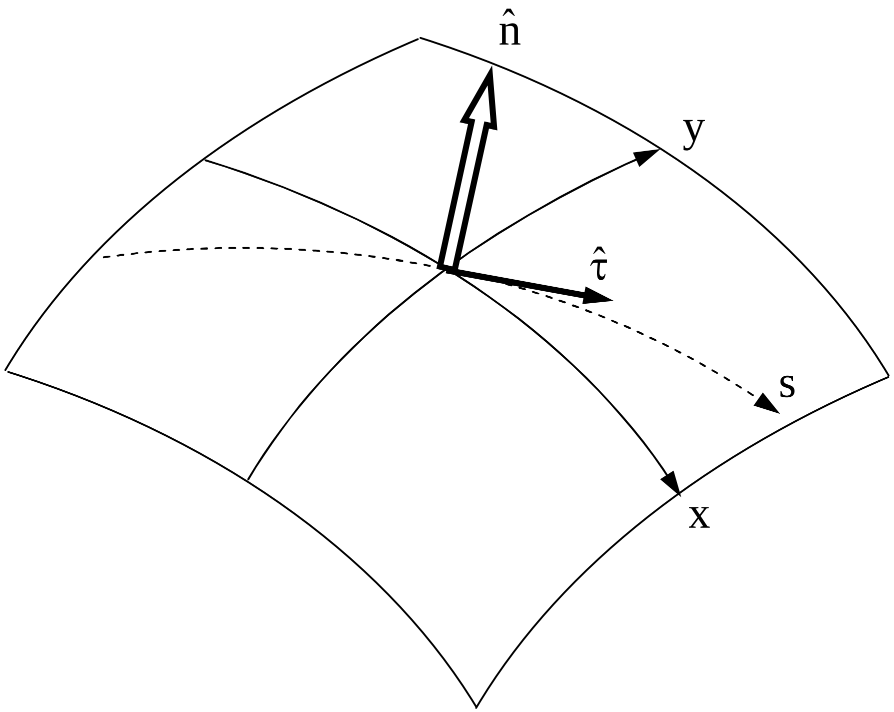
$$\{x, y\} \to a(x, y) := \begin{vmatrix} x \\ y \\ Y(x, y) \end{vmatrix}$$

- un extrémum local est atteint lorsque le jacobien J de Y est nul. La nature de l'extrémum est décrit par les valeurs propres λ_1, λ_2 du hessien H de Y:

$$J = \begin{vmatrix} Y_x \\ Y_y \end{vmatrix} \qquad H = \begin{vmatrix} Y_{xx} & Y_{xy} \\ Y_{xy} & Y_{yy} \end{vmatrix} \qquad \lambda^2 - tr(H)\,\lambda + det(H) = 0 \qquad |\lambda_1| \geq |\lambda_2|$$

minimum local strict	$\lambda_1 > 0$	$\lambda_2 > 0$	$det(H) > 0$	$tr(H) > 0$
vallée locale	$\lambda_1 > 0$	$\lambda_2 = 0$	$det(H) = 0$	$tr(H) > 0$
maximum local strict	$\lambda_1 < 0$	$\lambda_2 < 0$	$det(H) > 0$	$tr(H) < 0$
ridge local	$\lambda_1 < 0$	$\lambda_2 = 0$	$det(H) = 0$	$tr(H) < 0$
point selle	$\lambda_1 > 0$	$\lambda_2 < 0$	$det(H) < 0$	
	ou $\lambda_1 < 0$	$\lambda_2 > 0$		
plat local	$\lambda_1 = 0$	$\lambda_2 = 0$	$det(H) = 0$	$tr(H) = 0$

ALGORITHME III – COURBURES LOCALES



- arc paramétré : $s \to k \coloneqq \left| \begin{matrix} k^x(s) \\ k^y(s) \\ Y[k^x(s), k^y(s)] \end{matrix} \right|$

- vecteur normal : $\hat{n}$ • vecteur tangent : $\hat{\tau}$

- courbure normale : $\chi_n \coloneqq \langle \hat{n}, k_{ss} \rangle$

- théorème d'Euler : $\chi_2 \le \chi_n \le \chi_1 \quad \forall \hat{\tau}$

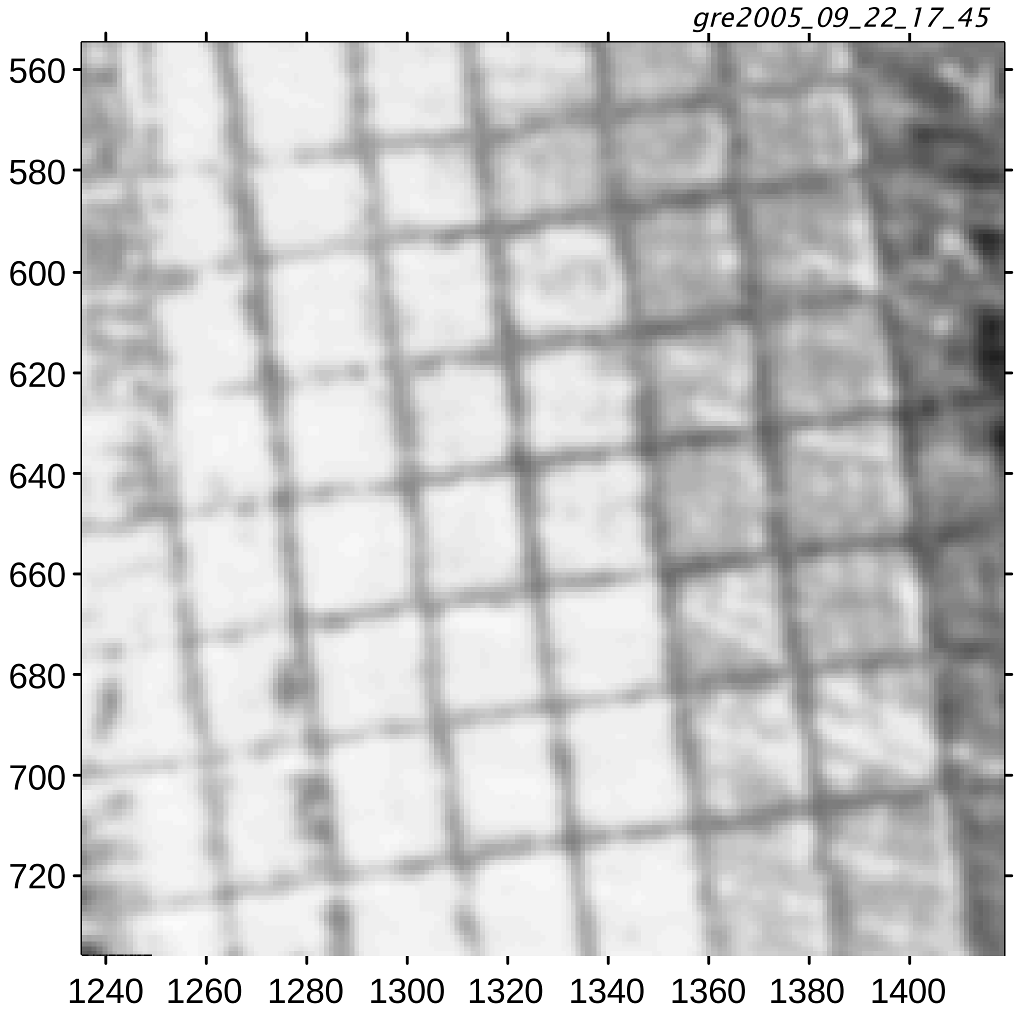
$$\chi^2 - 2\chi_m \chi + \chi_G = 0$$

- courbure de Gauss : $\chi_G \coloneqq \chi_1 \chi_2$

- courbure moyenne : $\chi_m \coloneqq \frac{1}{2}(\chi_1 + \chi_2)$

$$\boxed{\chi_G = \frac{\det(H)}{\left(1 + \|J\|^2\right)^2} \qquad \chi_m = \frac{\mathrm{tr}(H) - J^t R^t_{\pi/2} H R_{\pi/2} J}{\left(1 + \|J\|^2\right)^{3/2}}}$$

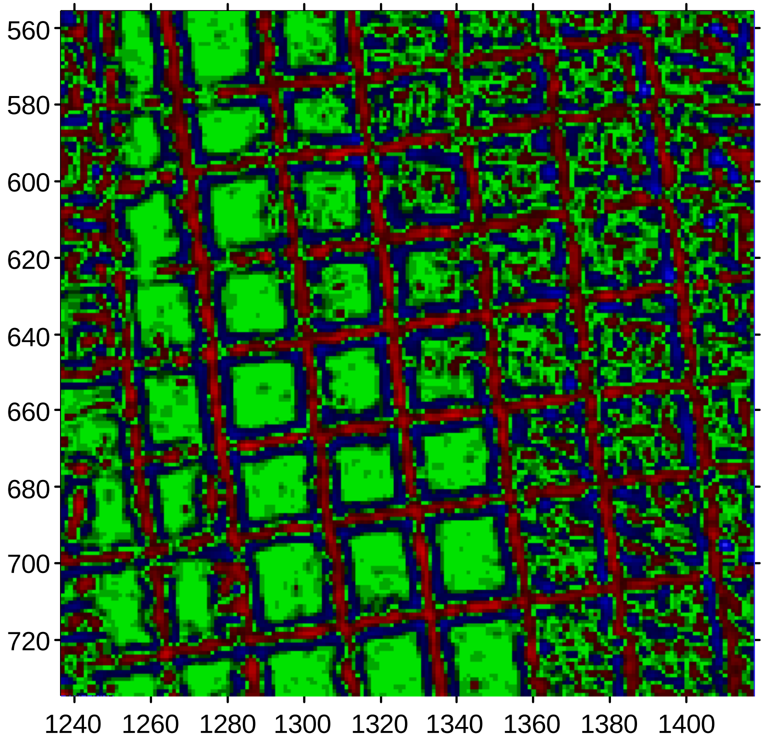
ALGORITHME III – IMAGE DE DÉPART



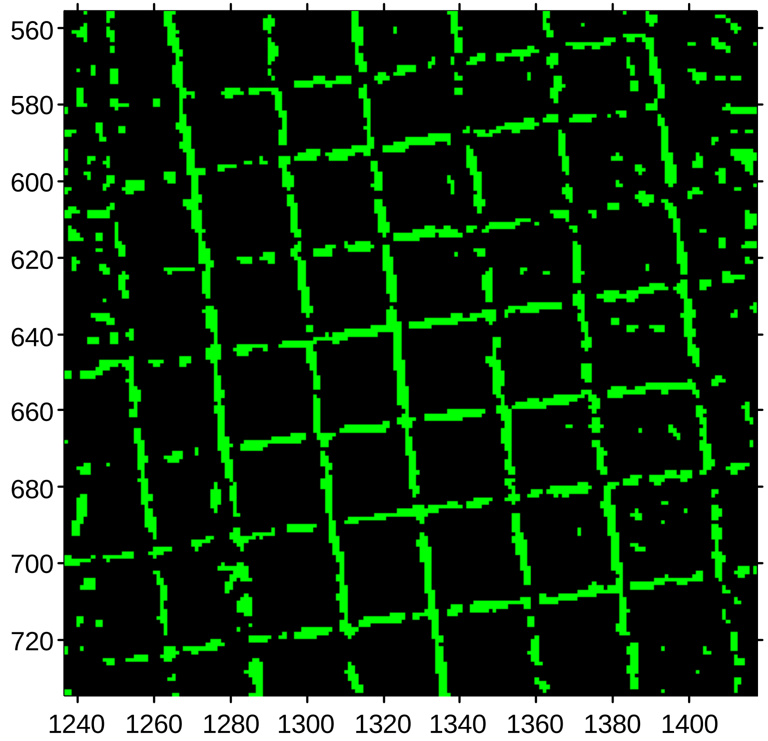
ALGORITHME III – DÉTECTION DE BORD (1)

maximum local de la trace du hessien

tr(H)



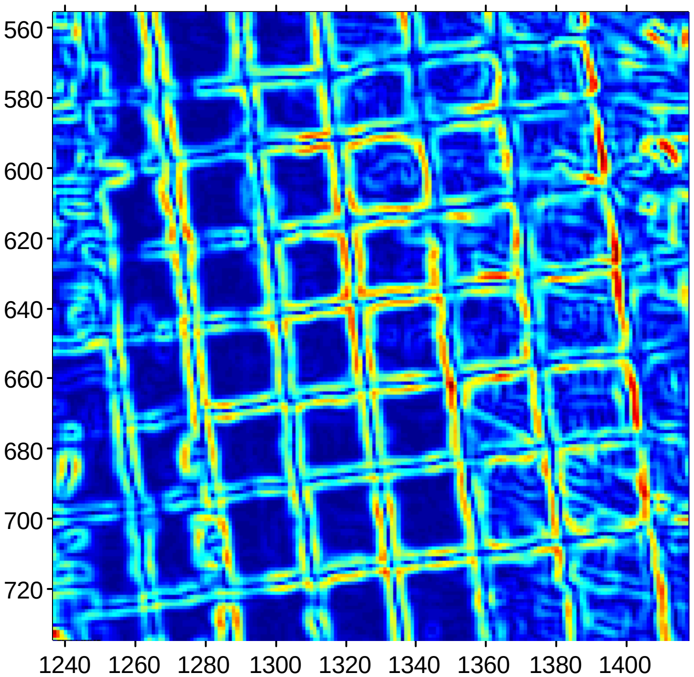
tr(H) ≥ 0.04



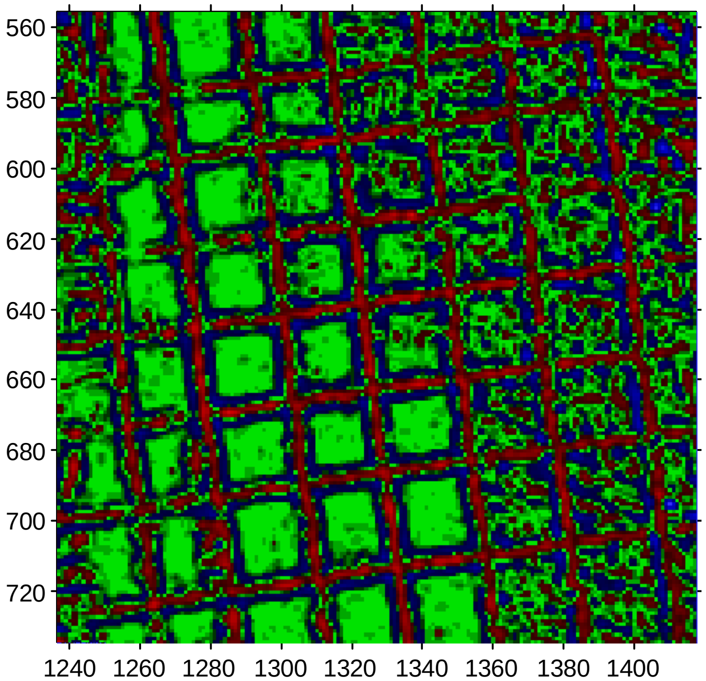
ALGORITHME III – DÉTECTION DE BORD (2)

zéro local de la trace du hessien dans les zones de fort gradient

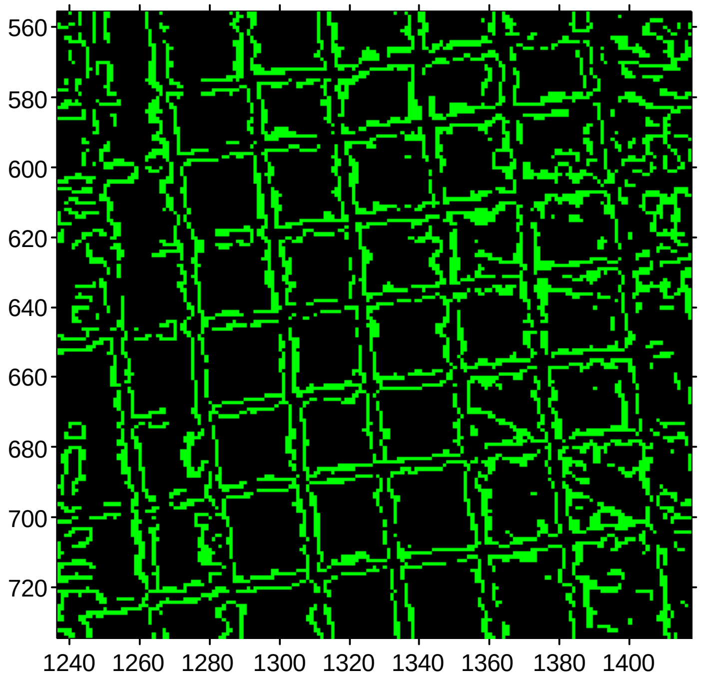
|| J ||



tr(H)



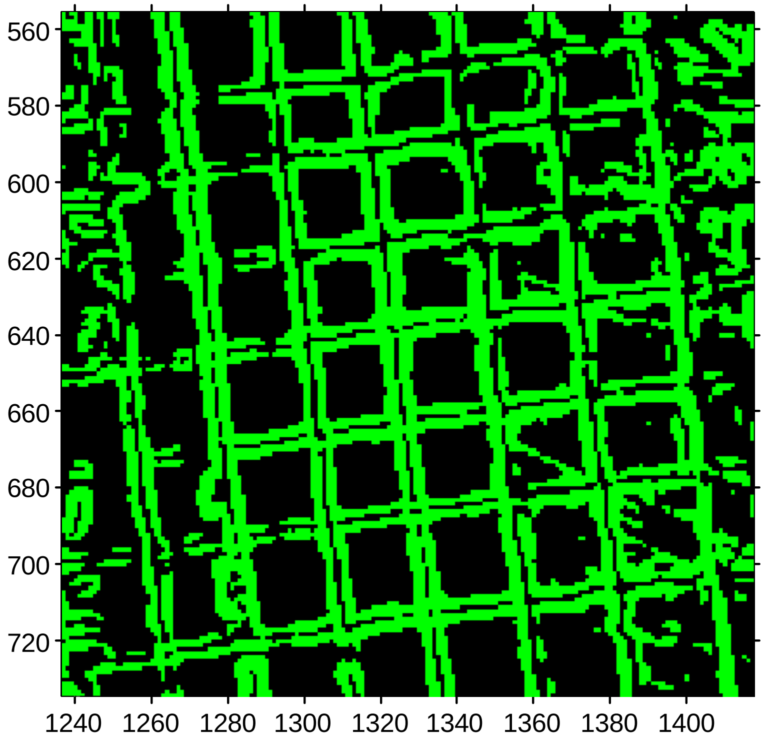
|| J || ≥ 0.04
&
| tr(H) | ≤ +0.03

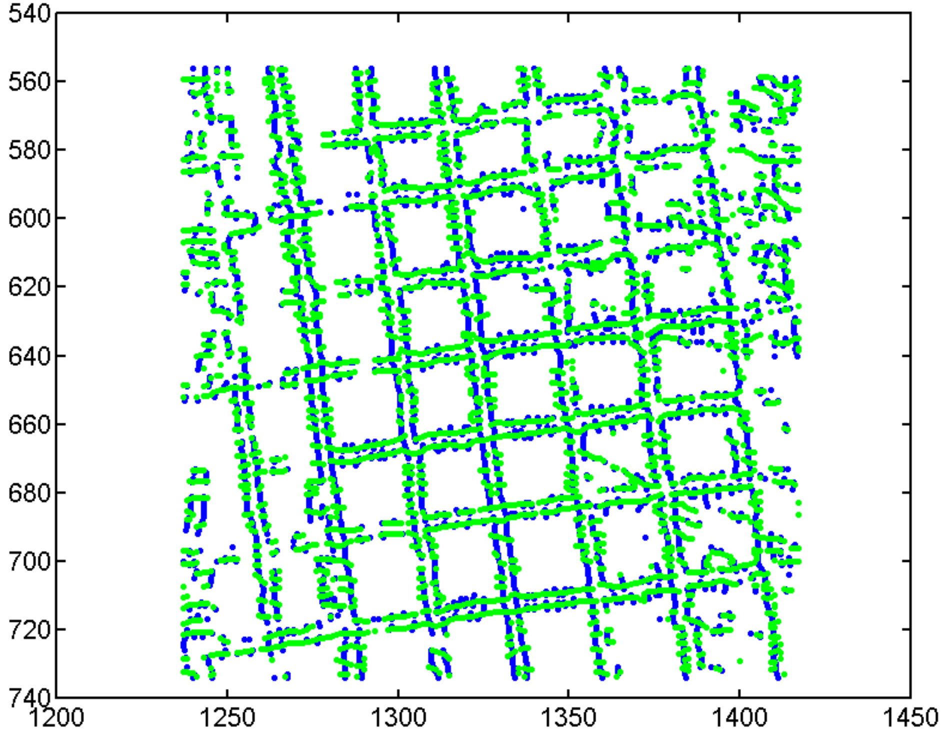


ALGORITHME III – DÉTECTION DE BORD (3)

zéro local de la trace du hessien dans les zones de fort gradient,
position calculée par interpolateurs en X et Y

|| J || ≥ 0.04





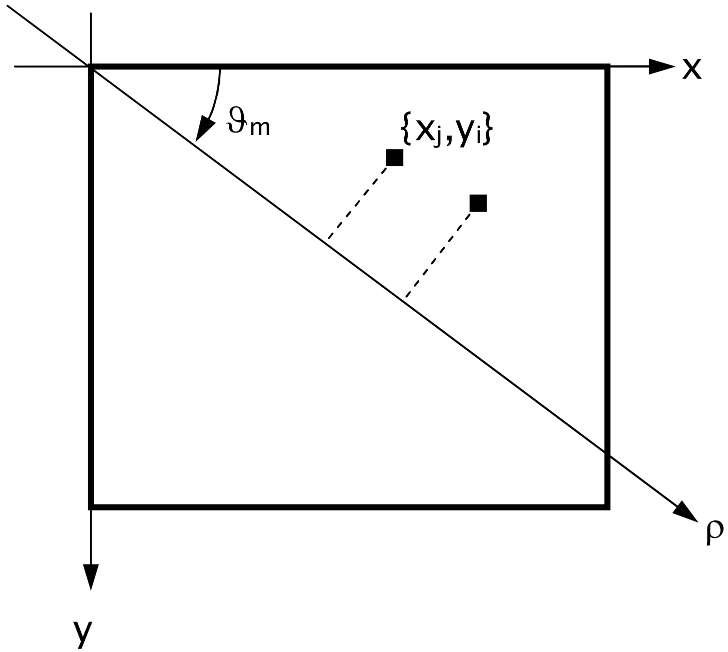
ALGORITHME III – TRANSFORMATION DE HOUGH

(*ce qu'il restait à faire...*)

- identifier l'orientation polaire ϑ et la position {X,Y} du motif

- **idée**: utiliser la transformation de Hough, qui génère l'histogramme

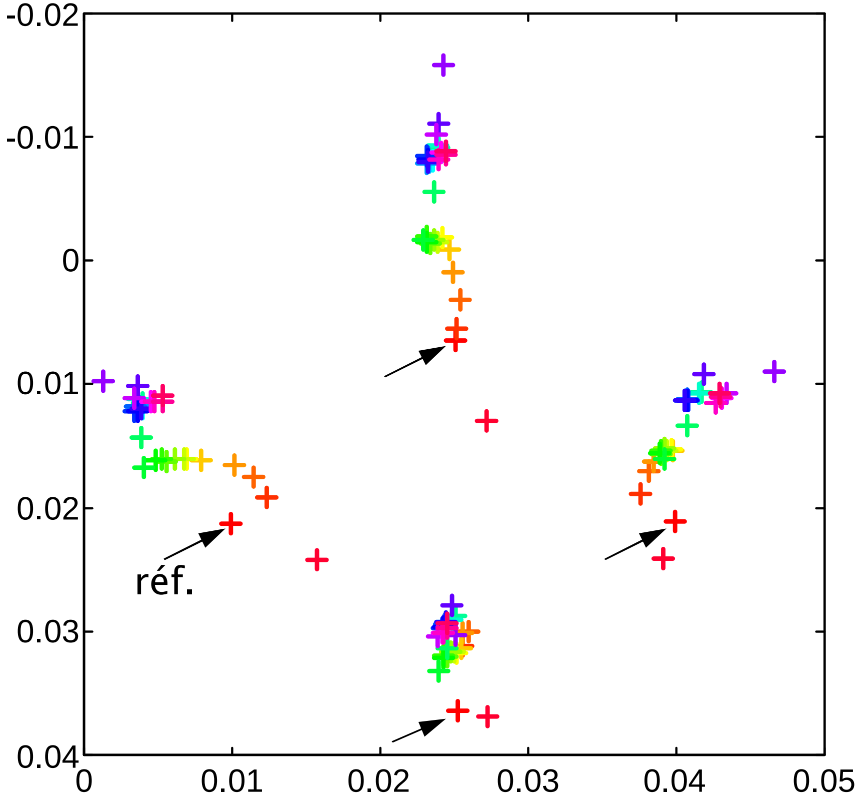
$$\left\{ x_j, \, y_i \right\} \rightarrow \; N(\vartheta_m, \rho_n)$$



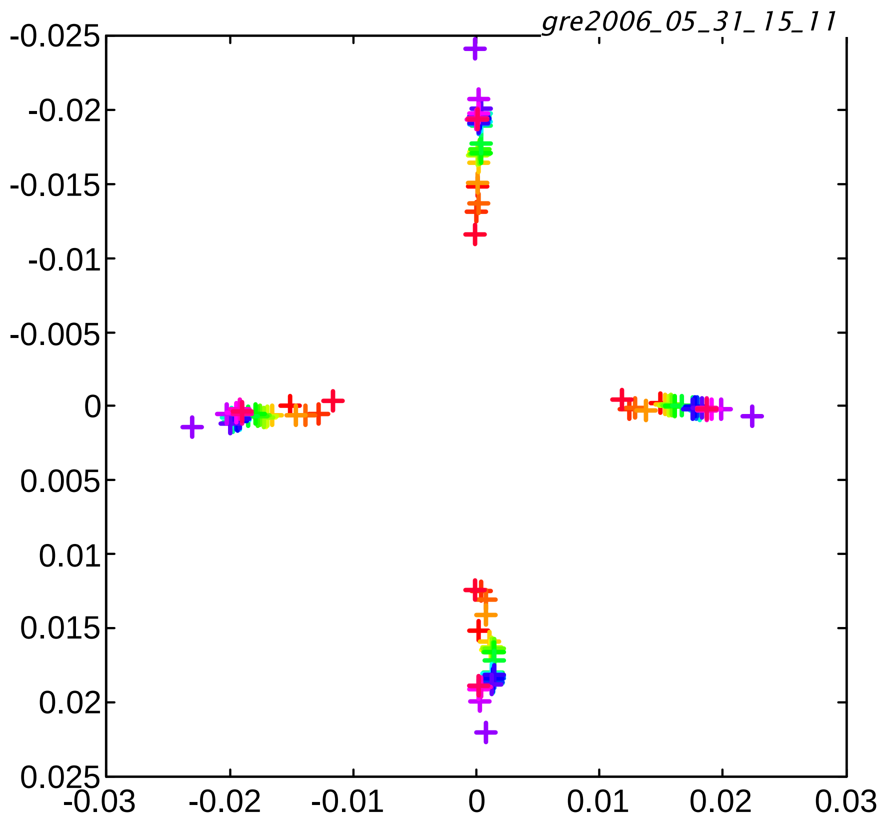
MOUVEMENTS RELATIFS – COMPENSATION DE LA DÉRIVE MOYENNE

[x] = [y] = m.
mouvement x 200

avant compensation



après compensation



MOUVEMENTS RELATIFS DANS L'ESPACE DES COORDONNÉES DU RFQ

- déformations induisant des perturbations de tension au 1er ordre:

$d_{QQ} = (d_{12} + d_{23} + d_{34} + d_{41}) / 4$ (perturbation quadrupolaire Q)

$d_{SQ} = (d_{12} - d_{34}) / 2$ (perturbation dipolaire S)

$d_{TQ} = (d_{41} - d_{23}) / 2$ (perturbation dipolaire T)

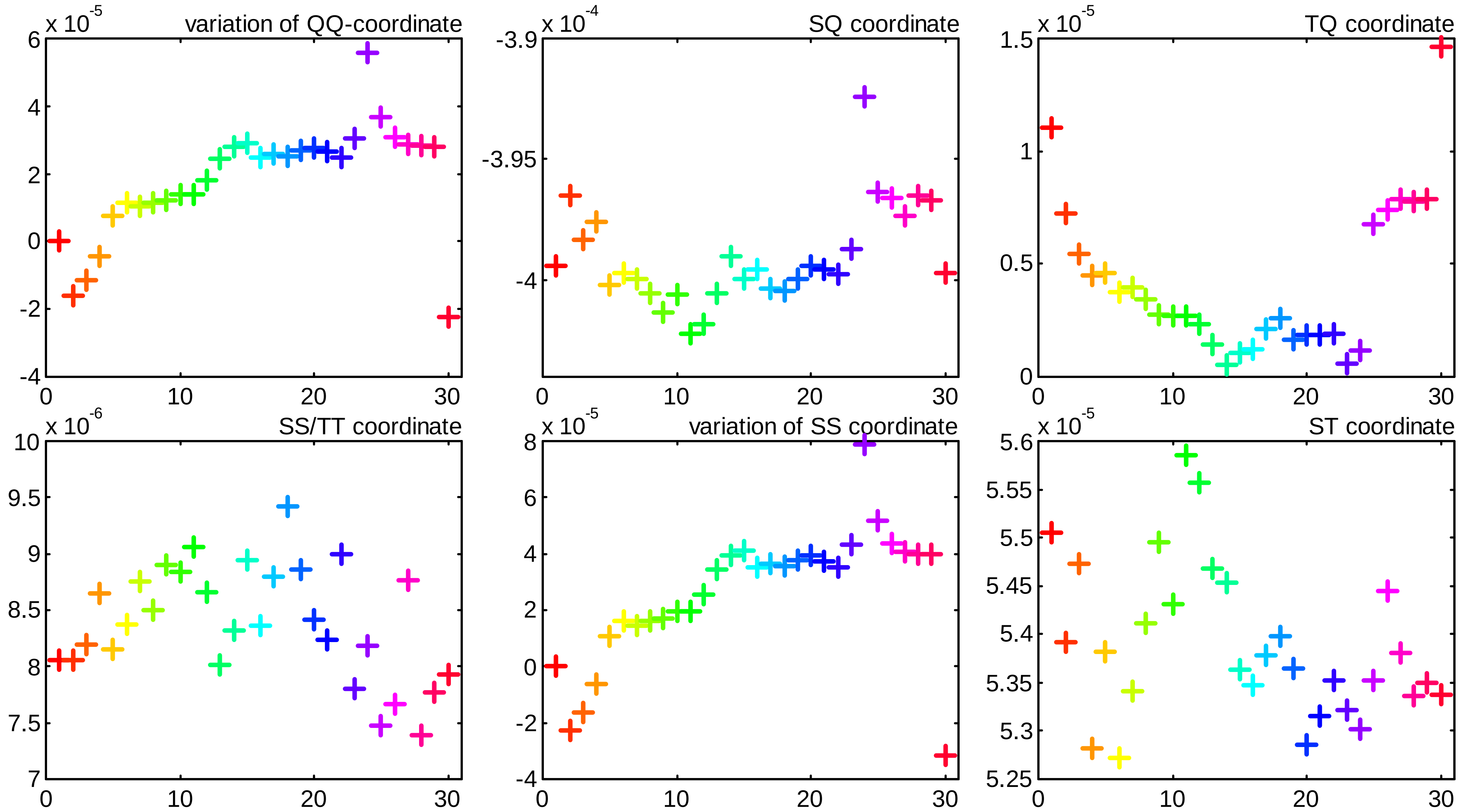
- déformations induisant des perturbations de tension au 2nd ordre:

$d_{SSTT} = (d_{12} - d_{23} + d_{34} - d_{41}) / 4$

$d_{SS} = (d_{13} + d_{24}) / 2$

$d_{ST} = (d_{13} - d_{24}) / 2$

MOUVEMENTS RELATIFS DANS L'ESPACE DES COORDONNÉES DU RFQ



gre2006_05_31_15_11

LUMIÈRES DANS LA NUIT . . .