

Evaluation de la qualité d'image

en photographie numérique

Wolf Hauser
DxO Labs



1. Introduction au sujet
 - a. DxO Labs
 - b. La photographie numérique
 - c. La qualité d'image
2. Quelques caractéristiques à évaluer
 - a. Les défauts optiques
 - b. Le piqué
 - c. Le bruit
3. Résumé

1. Introduction au sujet

a. Dx0 Labs

- Chiffres
- Historique
- Unités commerciales
- Mon CV

b. La photographie numérique

c. La qualité d'image

2. Quelques caractéristiques à évaluer

3. Résumé

Notre mission

L'ambition de DxO Labs est de promouvoir et d'établir le label « DxO » comme synonyme d'excellence de qualité dans le monde de l'imagerie numérique.

Siège social et R&D en France

92100 Boulogne-Billancourt

Représentants aux USA, au Japon, en Corée.

130 employés

Dont 100 R&D.

Dont des anciens de l'UPMC et de Télécom.

Poseidon : systèmes de surveillance pour piscines

Besoin de mesurer et corriger les défauts optiques des caméras de surveillance (sous l'eau).

2003 : création de DxO Labs

Mesurer et corriger les défauts optiques dans le domaine de la photographie

A partir de 2004 : DxO Optics Pro

Logiciel PC pour corriger toutes sortes de défauts des appareils photos numériques professionnels (reflex)

A partir de 2006 : DxO Embedded Imaging

Solutions embarquées pour correction de défauts directement dans l'appareil photo ou smartphone

Photographie

Optics Pro corrections optiques et convertisseur RAW
FilmPack rendu argentique pour photos numériques

Embedded Imaging

ISP DSLR-class RAW converter
EIS stabilized videos for smartphones
AutoCLS uniform colors for smartphones
AFSU always-in-focus videos for smartphones

Image Quality

Analyzer solution pour l'évaluation de la qualité d'image
DxOMark site web avec base de données de mesures

Depuis 2011 DxO Labs

Ingénieur traitement d'image sénior

Responsable d'une équipe R&D de cinq ingénieurs

2008 – 2010 DxO Labs

Ingénieur traitement d'image embarqué

2006 – 2007 Télécom ParisTech

Double diplôme

Parcours traitement d'image

2002 – 2006 Université de Stuttgart, Allemagne

Parcours électronique

1. Introduction au sujet
 - a. DxO Labs
 - b. La photographie numérique**
 - L'appareil photo numérique
 - La « chambre noire » numérique
 - c. La qualité d'image
2. Quelques caractéristiques à évaluer
3. Résumé

L'appareil photo numérique

Vue globale

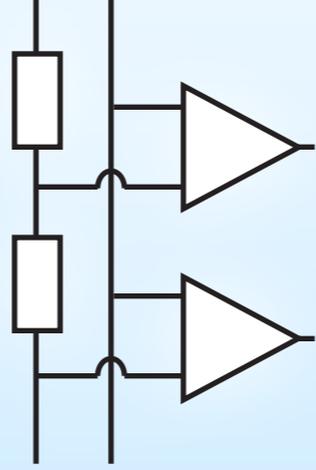
Optique



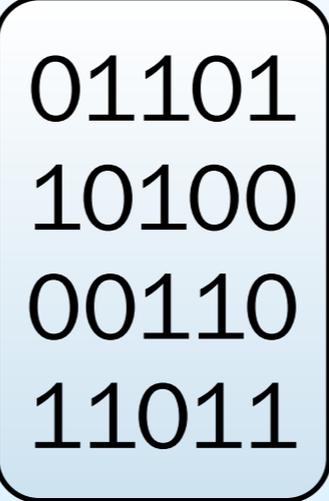
Capteur
CCD ou CMOS



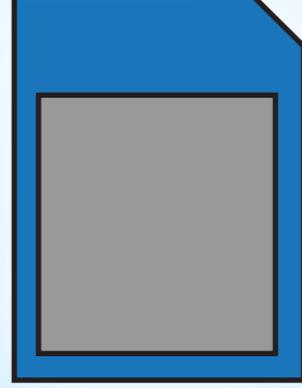
Convertisseur
A/N



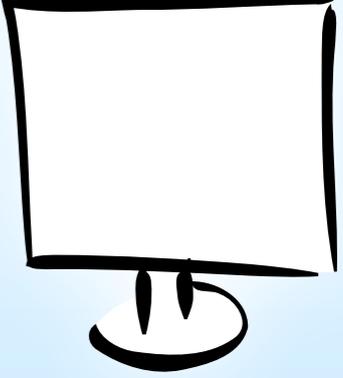
Traitement
embarqué



Stockage
Carte ou réseau

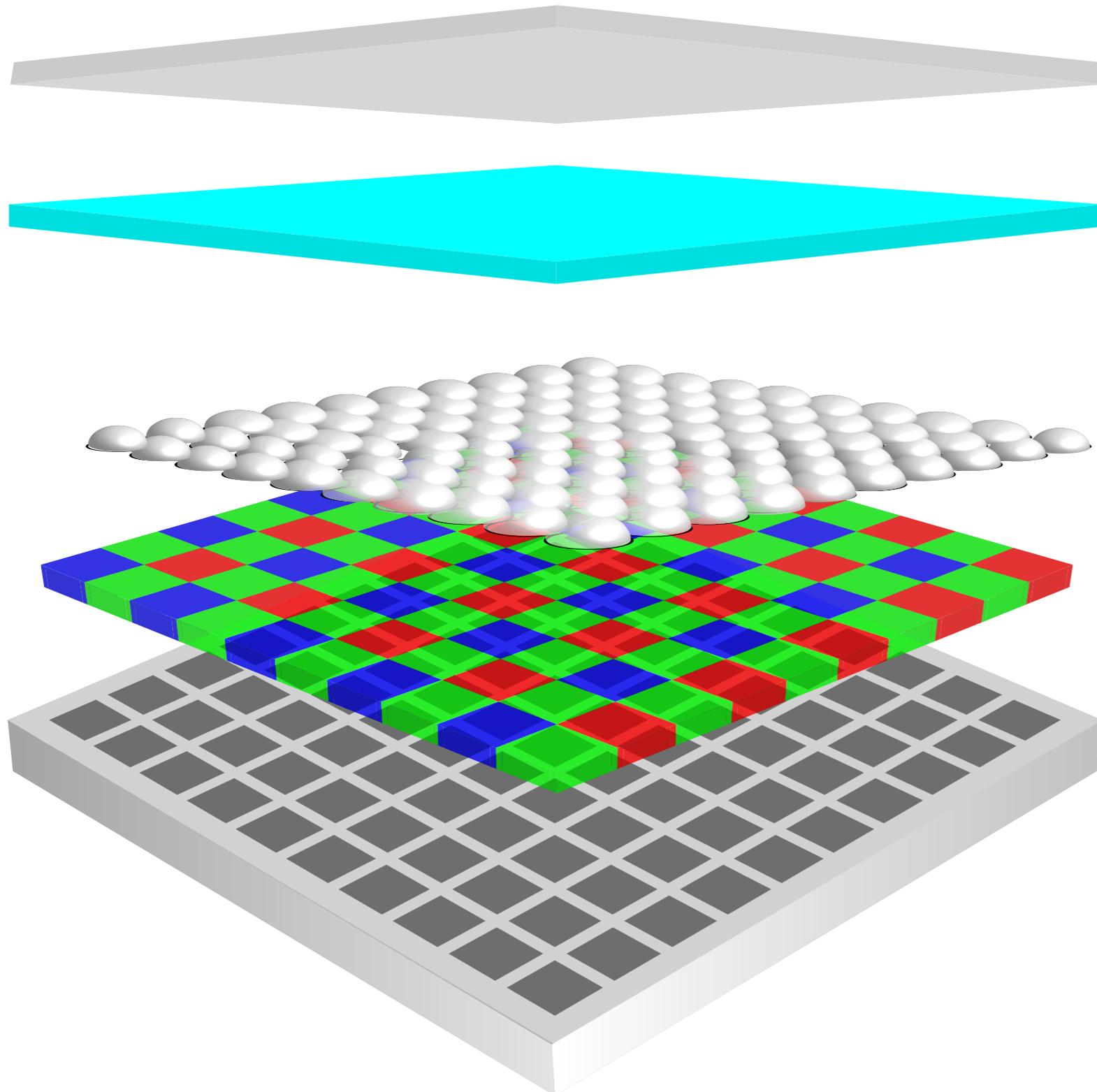


Ecran
PC ou portable



L'appareil photo numérique

Le capteur



Filtre passe-bas

Filtre coupe-
infrarouge

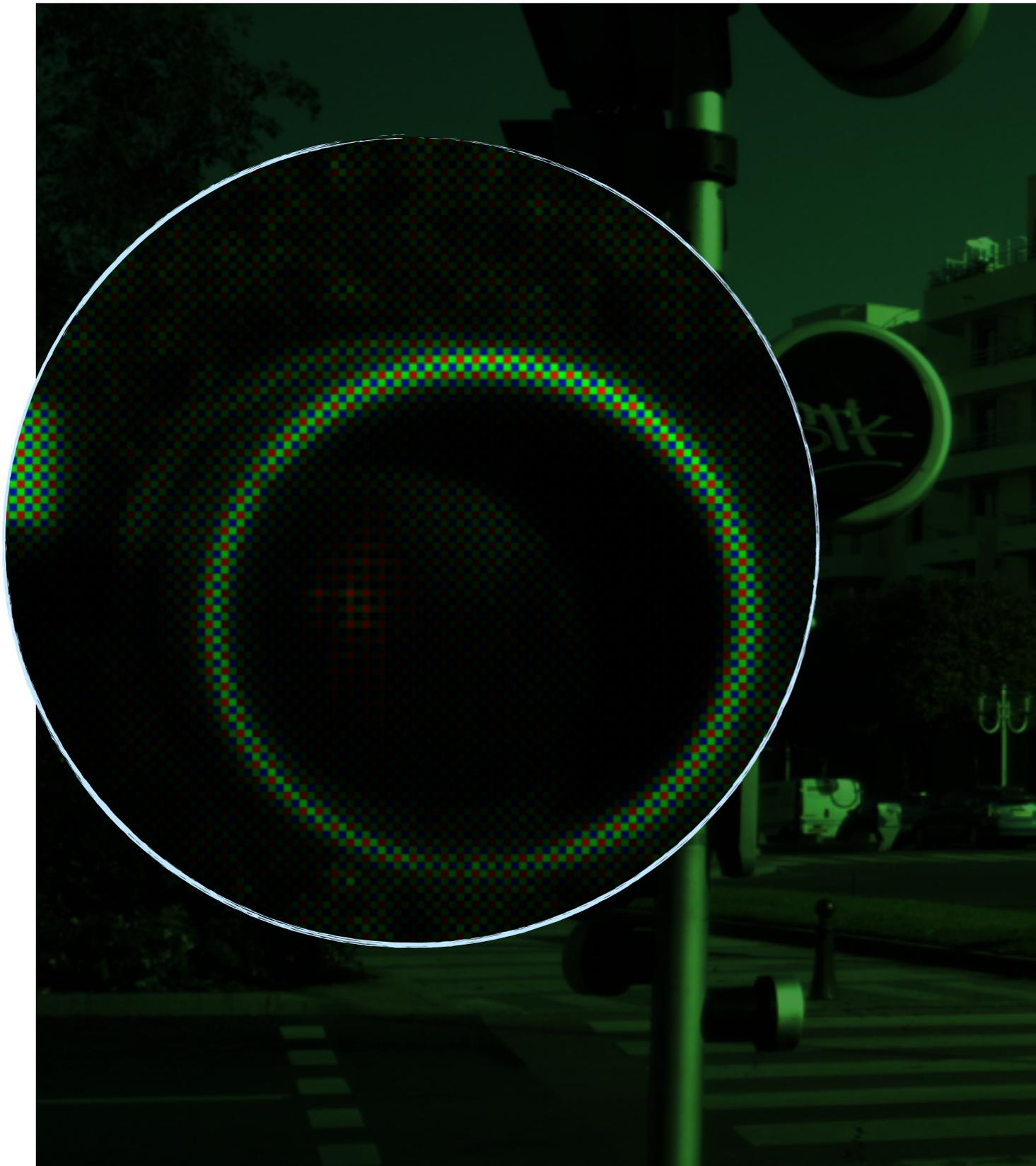
Micro-lentilles

Filtres couleur
(Bayer)

Photosites

L'appareil photo numérique

Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

L'appareil photo numérique

Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

L'appareil photo numérique Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

L'appareil photo numérique

Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

L'appareil photo numérique

Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

L'appareil photo numérique Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

L'appareil photo numérique Le traitement embarqué



- Image brute (RAW)
- Dématriçage
- Balance des blancs
- Matrice couleur
- Courbe de tonalités
- Accentuation
- Débruitage

La « chambre noire » numérique Vue globale



Appareil photo
numérique
ou scanner



Traitement
automatisé ou
semi-automatique



Traitement manuel
(Photoshop, Gimp)



Archivage



Impression

La « chambre noire » numérique

Le traitement automatisé ou semi-automatique

Intervention humaine possible

Pour le réglage fin de l'exposition et de la balance des blancs, l'humain (expérimenté) fait toujours mieux que la machine.

Le format RAW

Les appareils professionnels permettent d'enregistrer la sortie des convertisseurs A/N brute, sans aucun traitement.

Ceci permet de refaire le traitement entier sur PC.

La « chambre noire » numérique

Le traitement automatisé ou semi-automatique

Traitement plus sophistiqué

Le traitement sur PC n'est pas limité en ressources (mémoire, consommation) et n'est pas obligé de fonctionner en temps réel.

Le traitement en dehors de l'appareil peut évoluer même des années après la sortie de l'appareil.

Comme ce marché est facilement accessible aux tiers, il y a plus d'innovation.

Pub

Venez télécharger la version d'essai de DxO Optics Pro !

1. Introduction au sujet

a. DxO Labs

b. La photographie numérique

c. La qualité d'image

- Les ingrédients d'une photo réussie
- Que peut-on mesurer ?
- Pourquoi mesurer ?
- La qualité d'image dans l'âge numérique

2. Quelques caractéristiques à évaluer

3. Résumé

Les ingrédients d'une photo réussie

L'influence du photographe et de son appareil

Sujet intéressant

Cadrage

responsabilité
du photographe

Piqué

de l'optique et du capteur

Instant décisif

Couleur

Absence de défauts
optiques

Netteté

à point et sans flou de bougé

responsabilité
partagée

Absence de grain

responsabilité
de l'appareil

Exposition

temps de pose et ouverture

Que peut-on mesurer ? Reproductibilité et quantifiabilité

Sujet intéressant

Cadrage

domaine du subjectif
impossible à quantifier

Instant décisif

Couleur

reproductible
mais partiellement
subjectif

Piqué

de l'optique et du capteur

Absence de défauts
optiques

Absence de grain

objectif et
reproductible

Netteté

à point et sans flou de bougé

Exposition

temps de pose et ouverture

critères
objectives

existent ... mais dépendance
à la prise de vue

Comparaison entre produits

Assister le client dans sa décision d'achat

Jugement objectif vs messages marketing du fabricant

Magazines photo, sites internet, FNAC, ...

Assurance qualité

En sortie d'usine

Entre fournisseur et client

Besoin de critères précis et quantifiables qui peuvent être spécifiés dans un contrat

Pourquoi mesurer ?

Correction numérique de défauts

Sun Tzu, V^e siècle av. J.C. :

« Connais ton ennemi et connais-toi toi-même ;
eussiez-vous cent guerres à soutenir, cent fois vous
serez victorieux. »

XXI^e siècle ap. J.C. :

Maints défauts peuvent être corrigés numériquement.
Les comprendre et les savoir mesurer est le premier
pas d'une correction efficace.

A l'époque de l'argentique, les composants de l'appareil (optique et pellicule) ignoraient le contenu de l'image.

Les mesures effectuées sur une image étaient vraies pour toutes les images prises avec la même optique ou pellicule.

En numérique, s'ajoute le traitement qui peut s'adapter localement ou globalement au contenu de l'image.

Désactiver tout traitement pour mesurer la qualité des composants physiques (optique, capteur) ?

Qu'est-ce qui compte pour l'utilisateur ? La qualité du capteur ou celle des images traitées ?

Les mesures restent-elles pertinentes ?

1. Introduction au sujet
2. Quelques caractéristiques à évaluer
 - a. **Les défauts optiques**
 - Les distorsions
 - Les aberrations chromatiques
 - Le vignettage
 - Correction numérique
 - b. Le piqué
 - c. Le bruit
3. Résumé

Toute déviation de la « lentille parfaite » est considérée comme un défaut.

Il y en a beaucoup, on se limitera ici à trois effets importants en photographie.

Pour chaque effet, on verra le défaut, comment le mesurer et comment visualiser les mesures.

Ils proviennent essentiellement de l'objectif, mais le capteur a également une influence.

Il s'agit de défauts reproductibles.

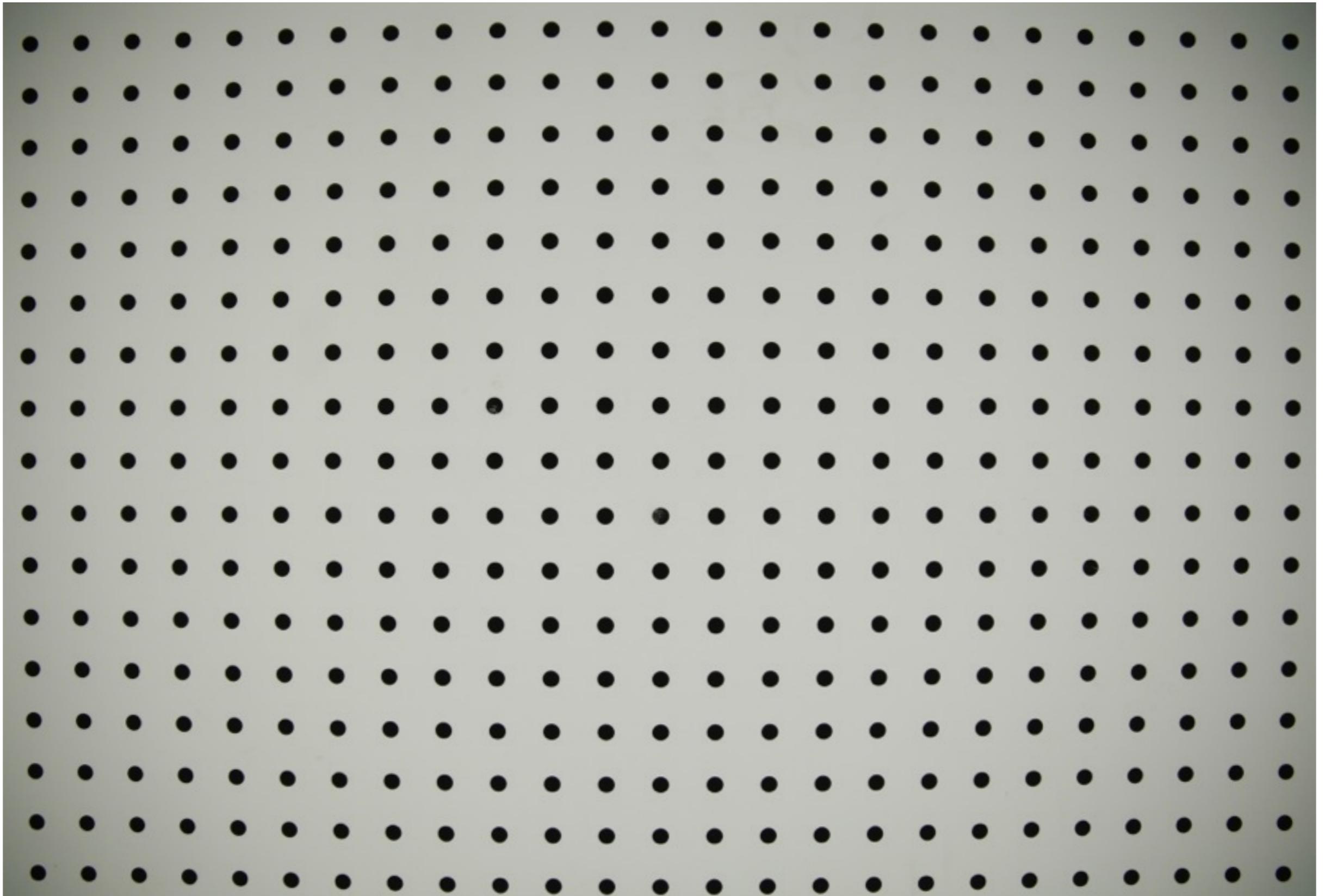
Sur deux photos prises avec le même appareil, avec les mêmes réglages (zoom, ouverture, mise à point), on observe deux fois les mêmes défauts.



- Prendre en photo une mire avec des points sur une grille régulière
- Détection des points
- Comparaison avec les positions théoriques
- Option : imposer un modèle radial pour robustifier
- Visualisation

Les distorsions

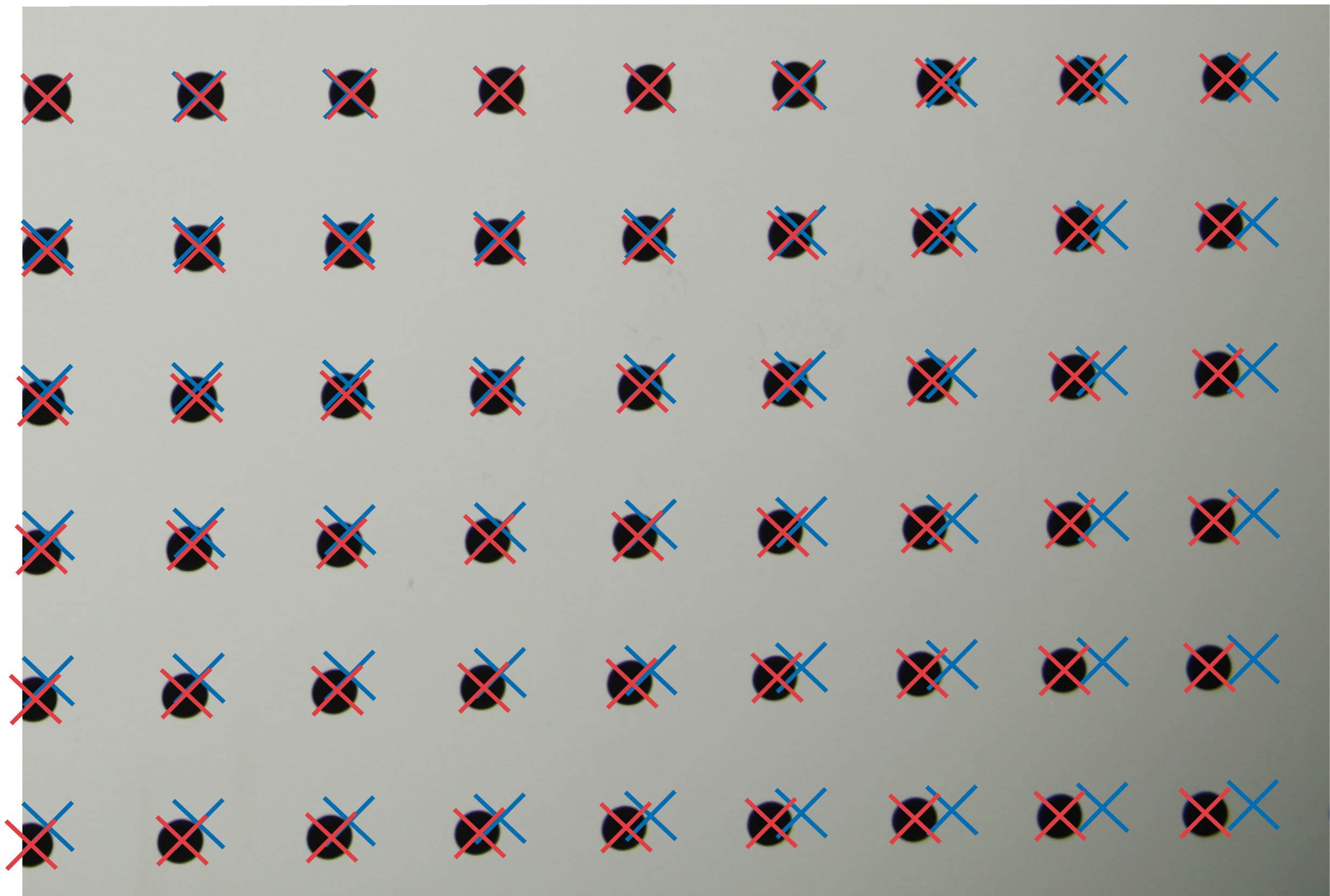
Procédure de mesure



- Prendre en photo une mire avec des points sur une grille régulière
- Détection des points
- Comparaison avec les positions théoriques
- Option : imposer un modèle radial pour robustifier
- Visualisation

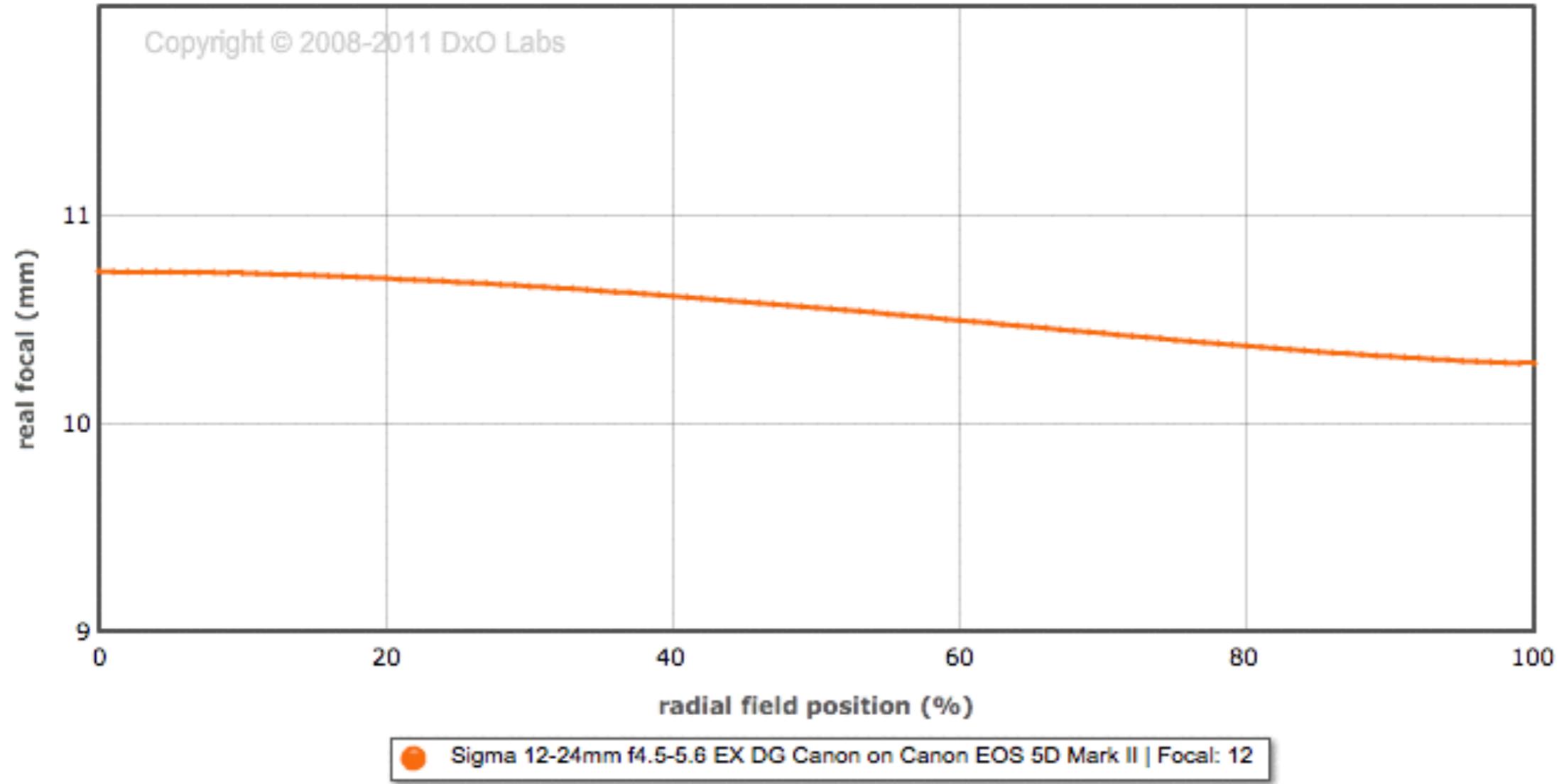
Les distorsions

Procédure de mesure

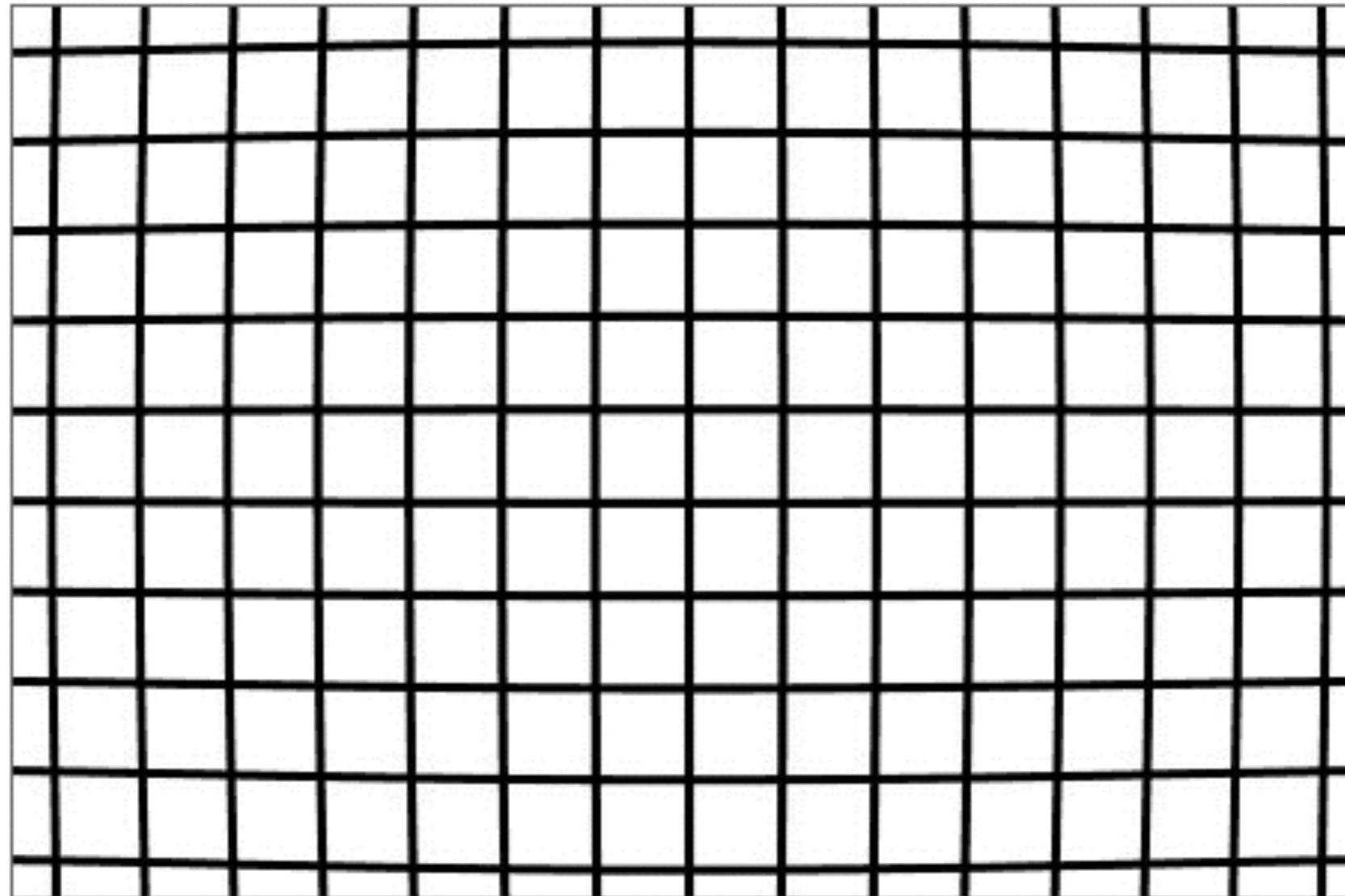


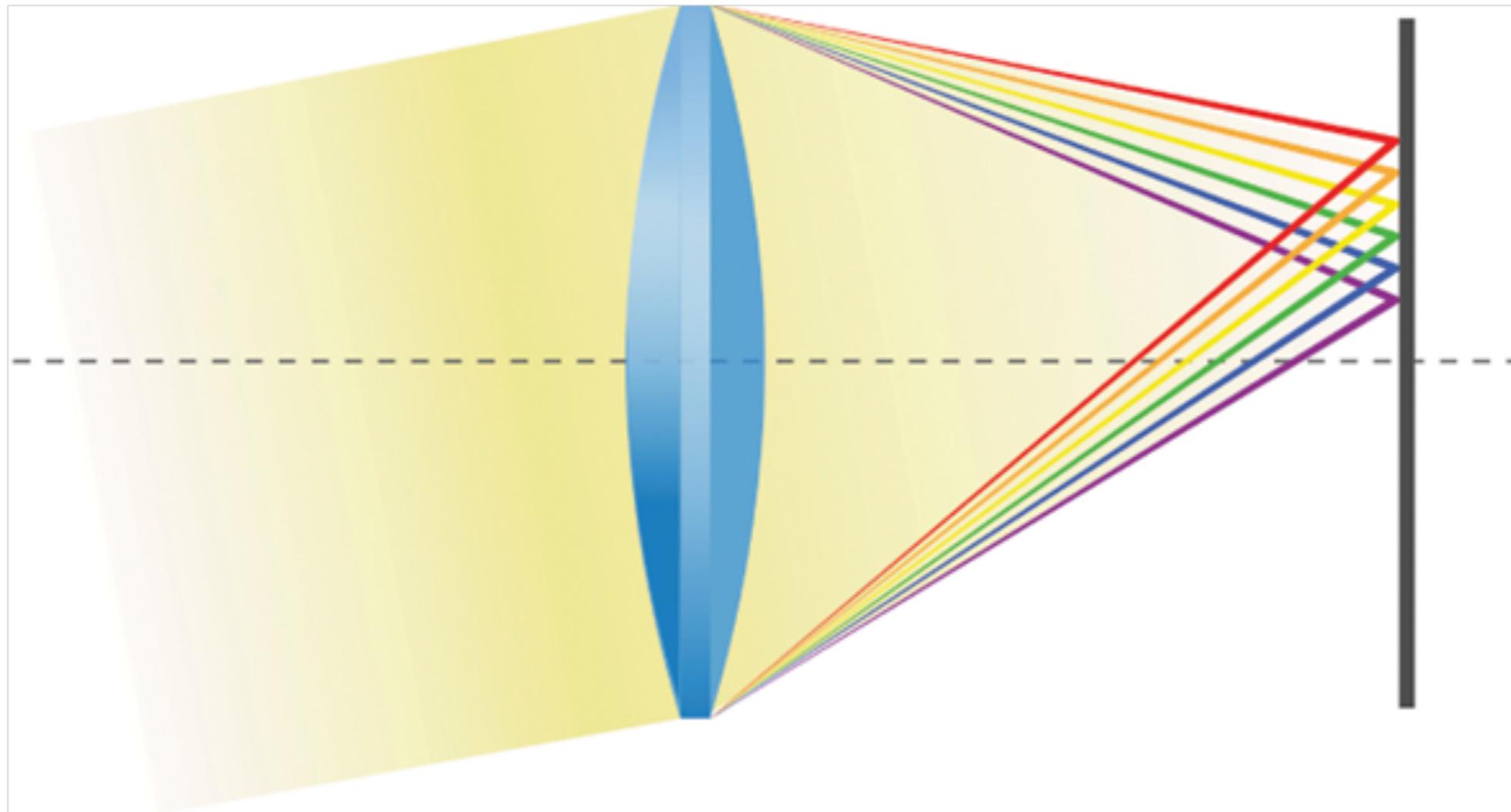
- Prendre en photo une mire avec des points sur une grille régulière
- Détection des points
- Comparaison avec les positions théoriques
- Option : imposer un modèle radial pour robustifier
- Visualisation

Radial distortion : focal length evolution in the image field
Sigma 12-24mm f4.5-5.6 EX DG Canon on Canon EOS 5D Mark II | Focal: 12

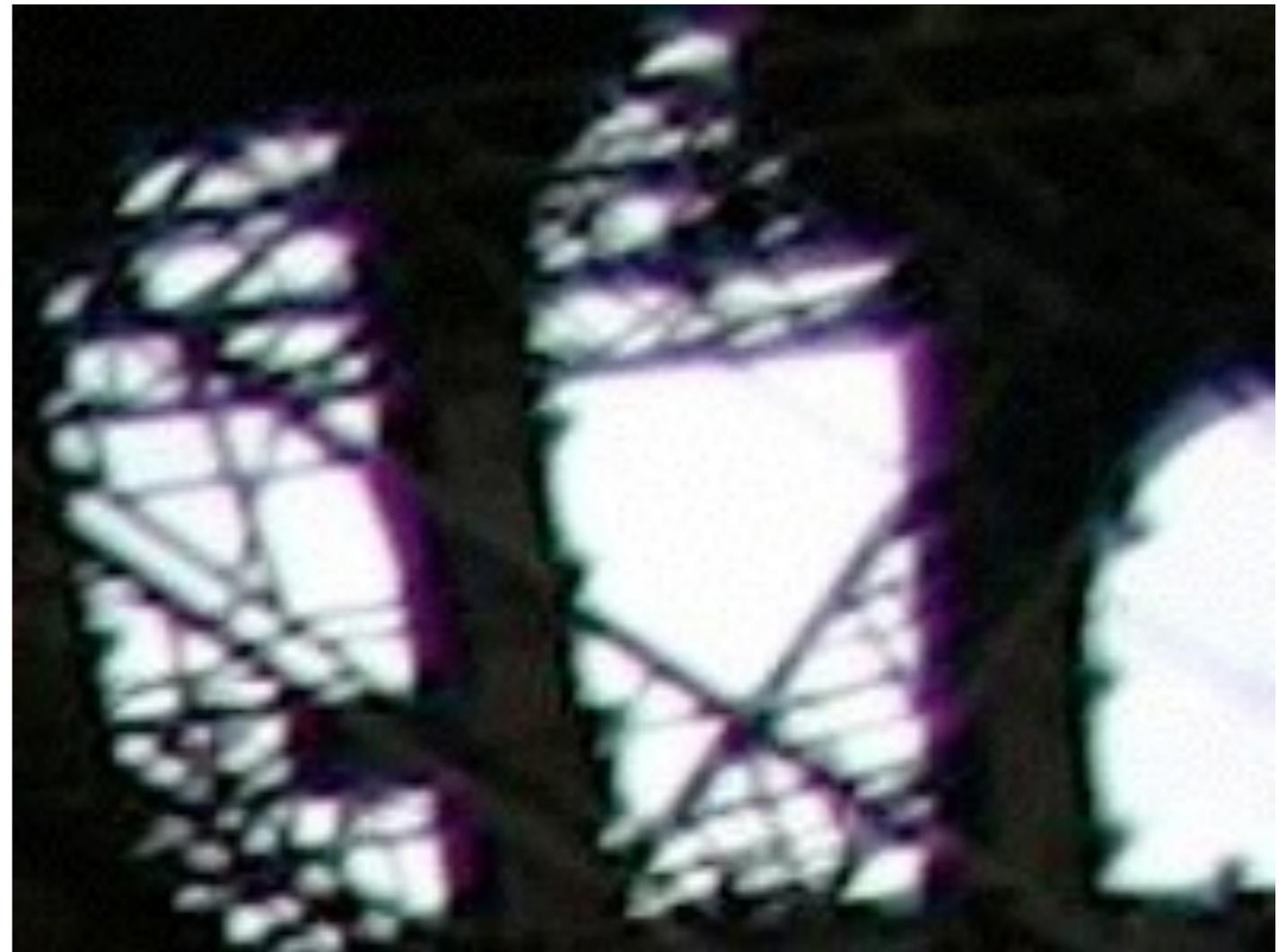


Straight grid as seen by camera
Sigma 12-24mm f4.5-5.6 EX DG Canon on Canon EOS 5D Mark II





Les aberrations chromatiques Illustrations



Les aberrations chromatiques

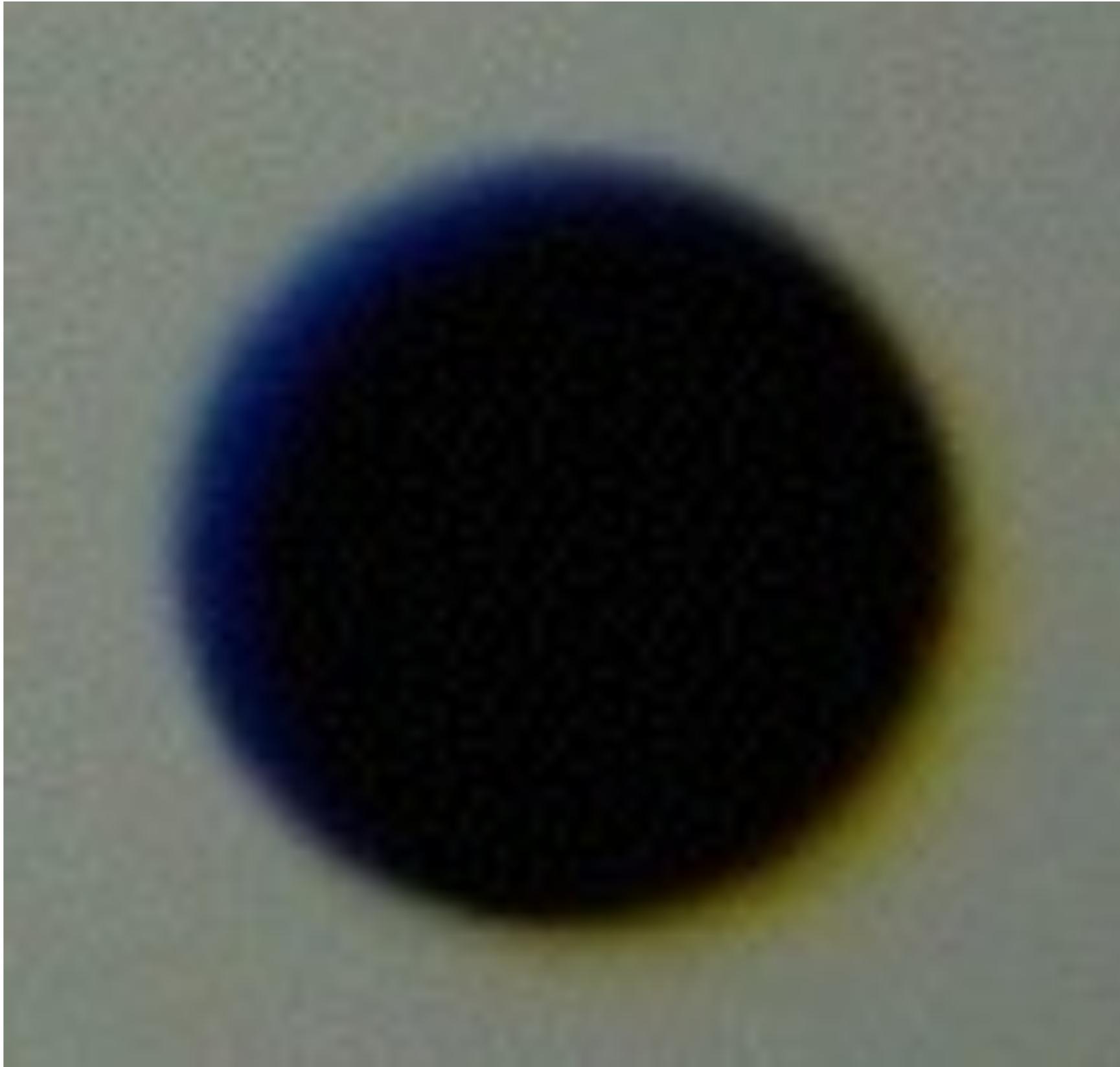
Procédure de mesure

- Les AC peuvent être vues comme des distorsions légèrement différentes par canal
- La mesure s'effectue donc sur la même mire
- Détection des points par canal R/V/B
- Option : imposer un modèle radial pour robustifier
- Visualisation de l'écart par rapport au vert

Les aberrations chromatiques

Procédure de mesure

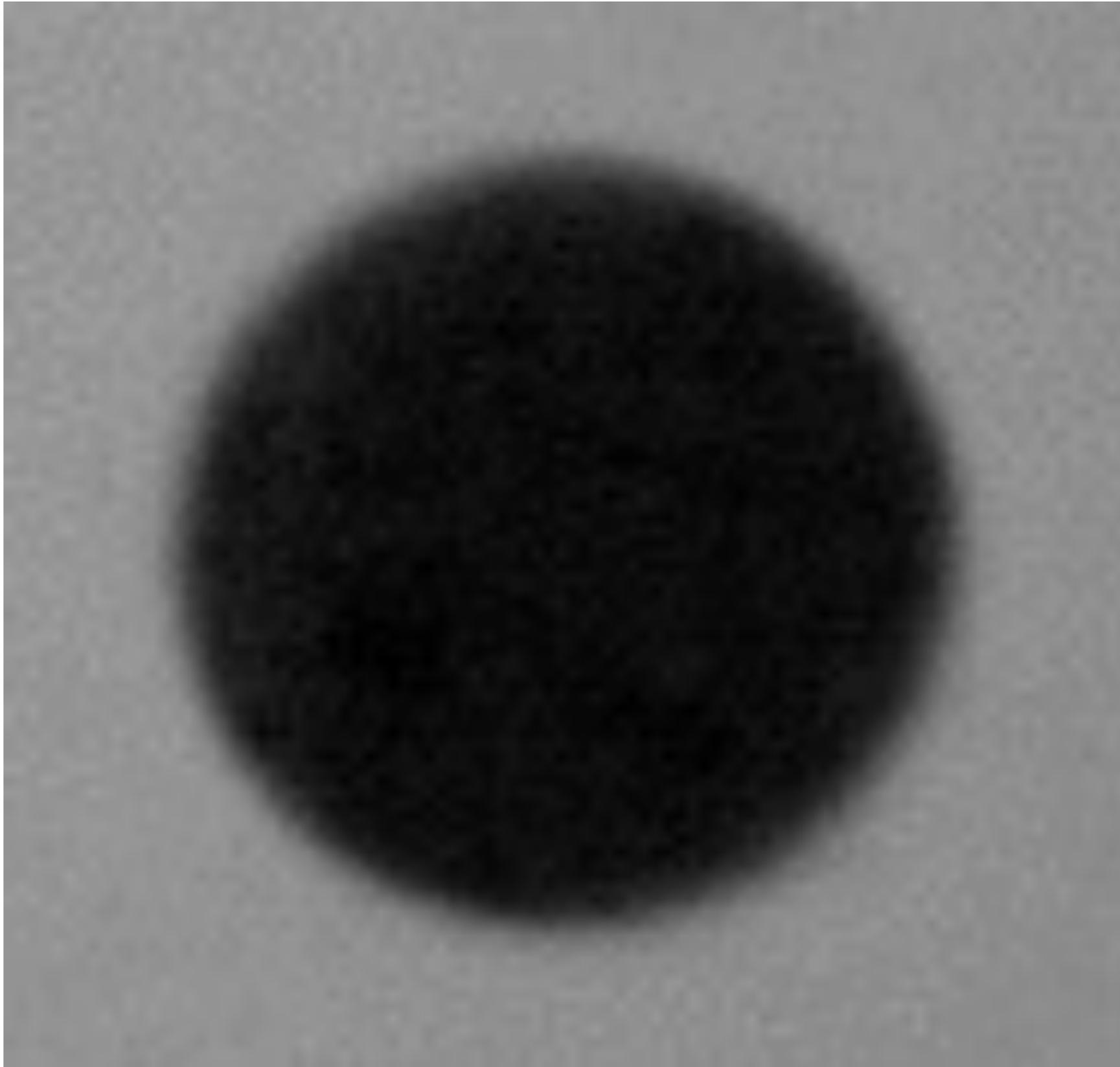
RVB



Les aberrations chromatiques

Procédure de mesure

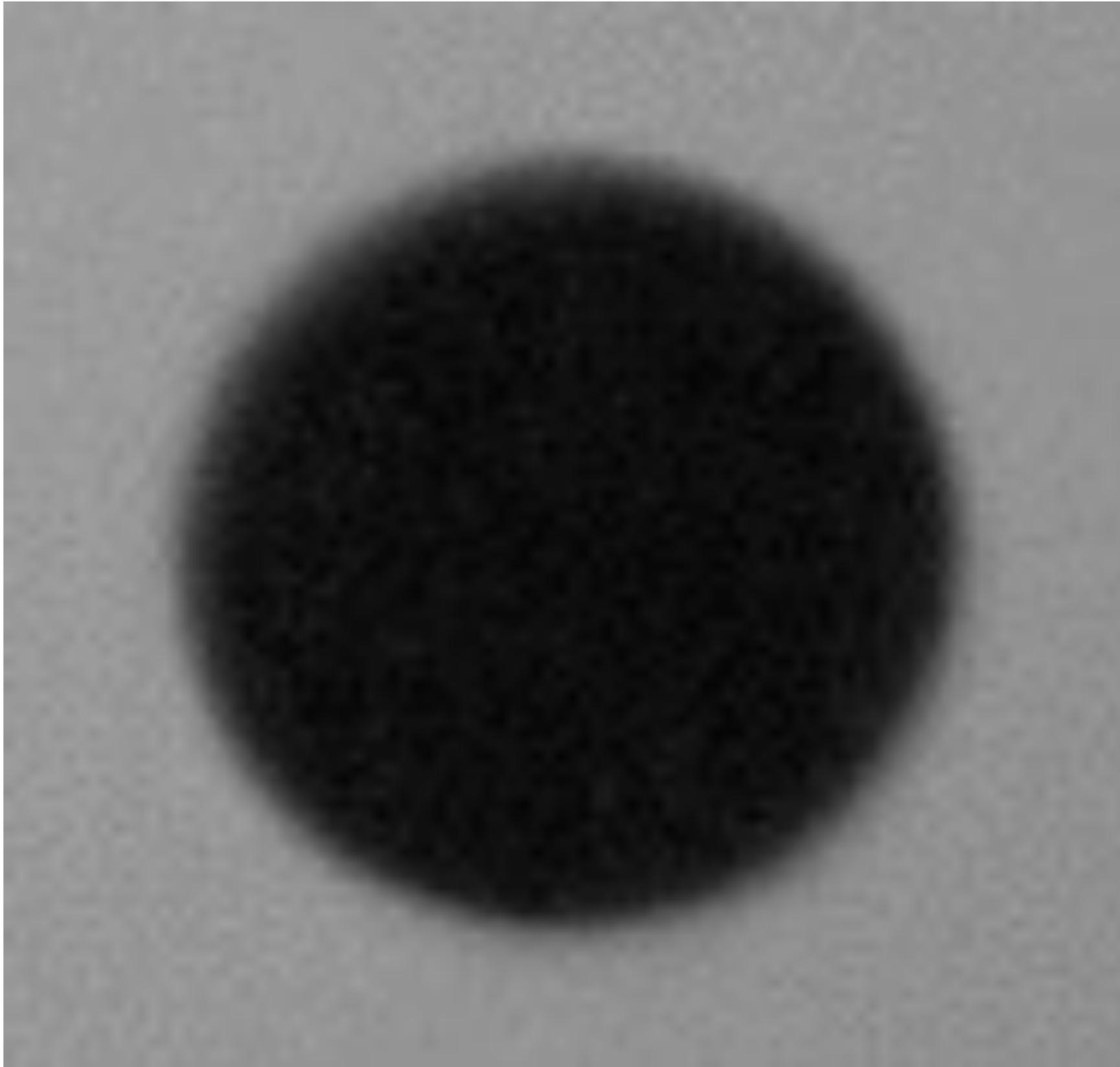
R



Les aberrations chromatiques

Procédure de mesure

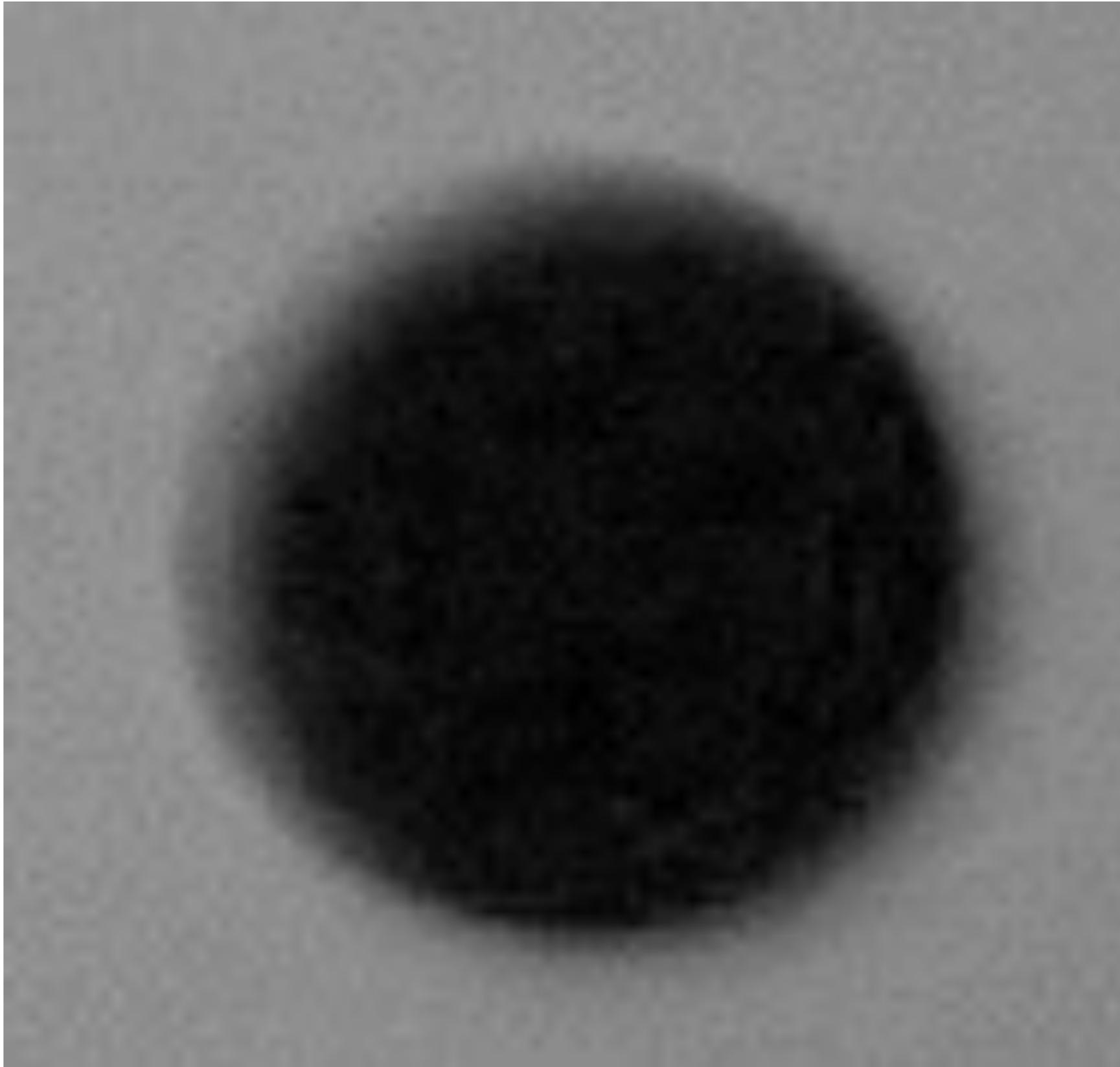
V



Les aberrations chromatiques

Procédure de mesure

B



Les aberrations chromatiques

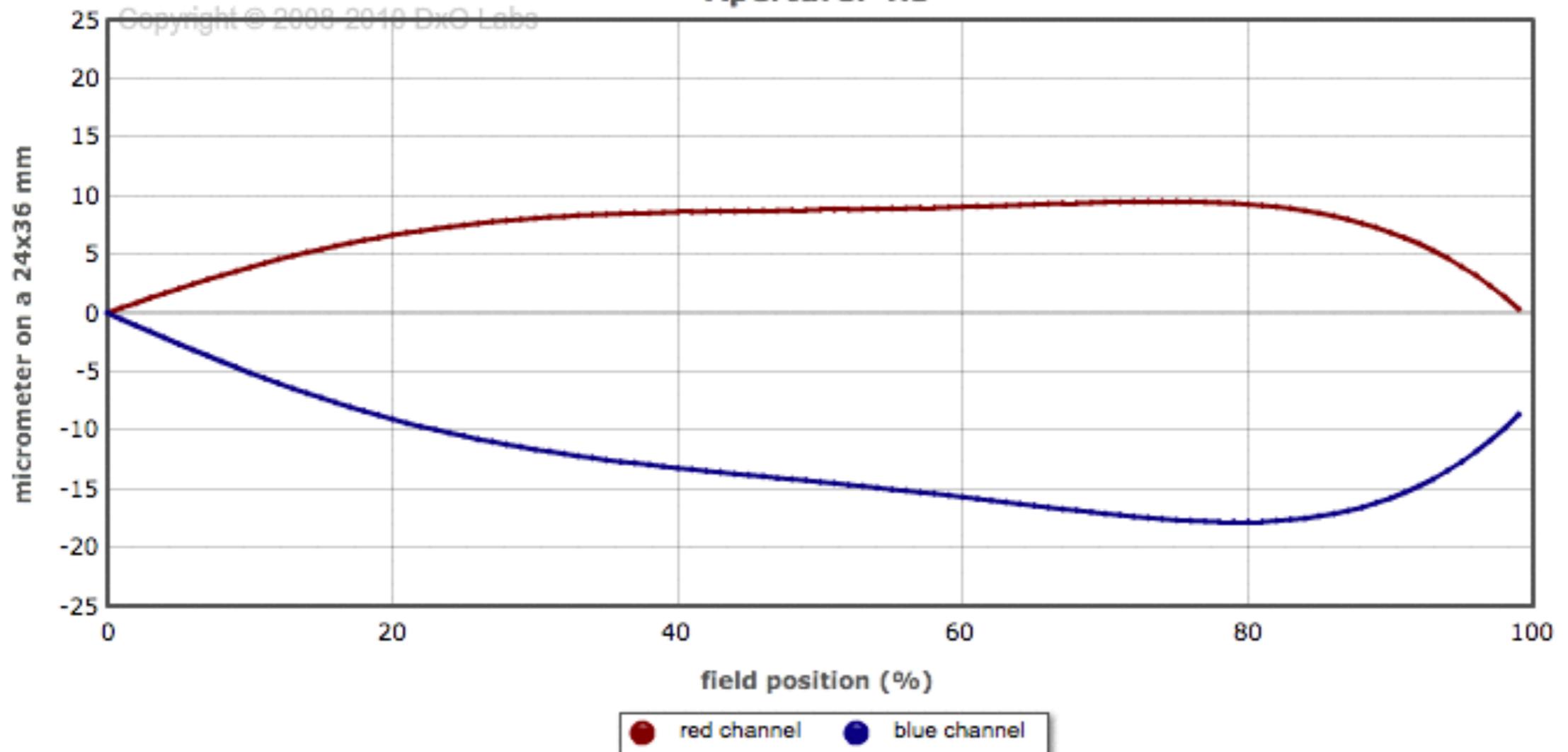
Procédure de mesure

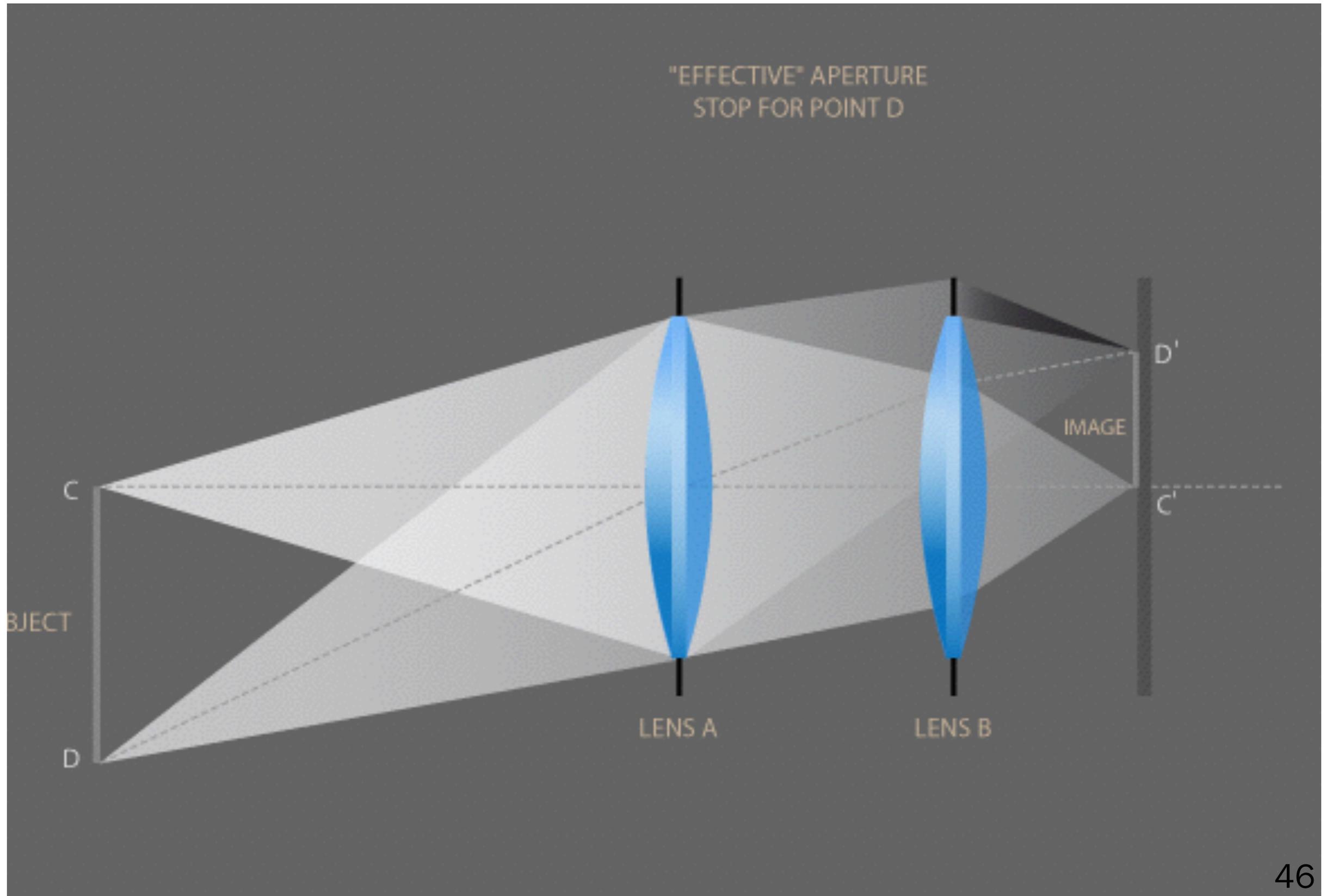
- Les AC peuvent être vues comme des distorsions légèrement différentes par canal
- La mesure s'effectue donc sur la même mire
- Détection des points par canal R/V/B
- Option : imposer un modèle radial pour robustifier
- Visualisation de l'écart par rapport au vert

Les aberrations chromatiques

Visualisation des mesures

Lateral chromatic aberration in the image field at selected focal length and aperture
Sigma 12-24mm f4.5-5.6 EX DG Canon on Canon EOS 5D Mark II | Focal: 12 -
Aperture: 4.5

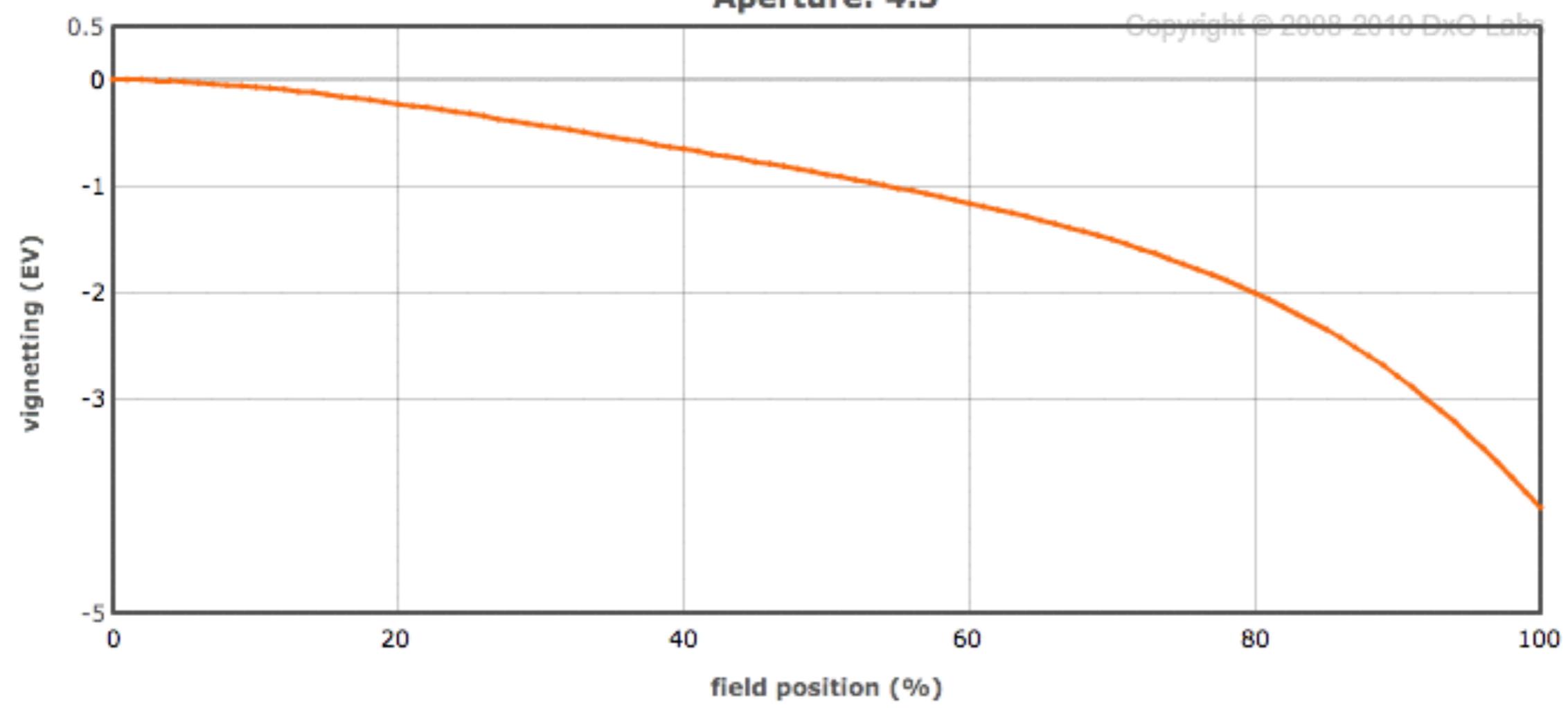






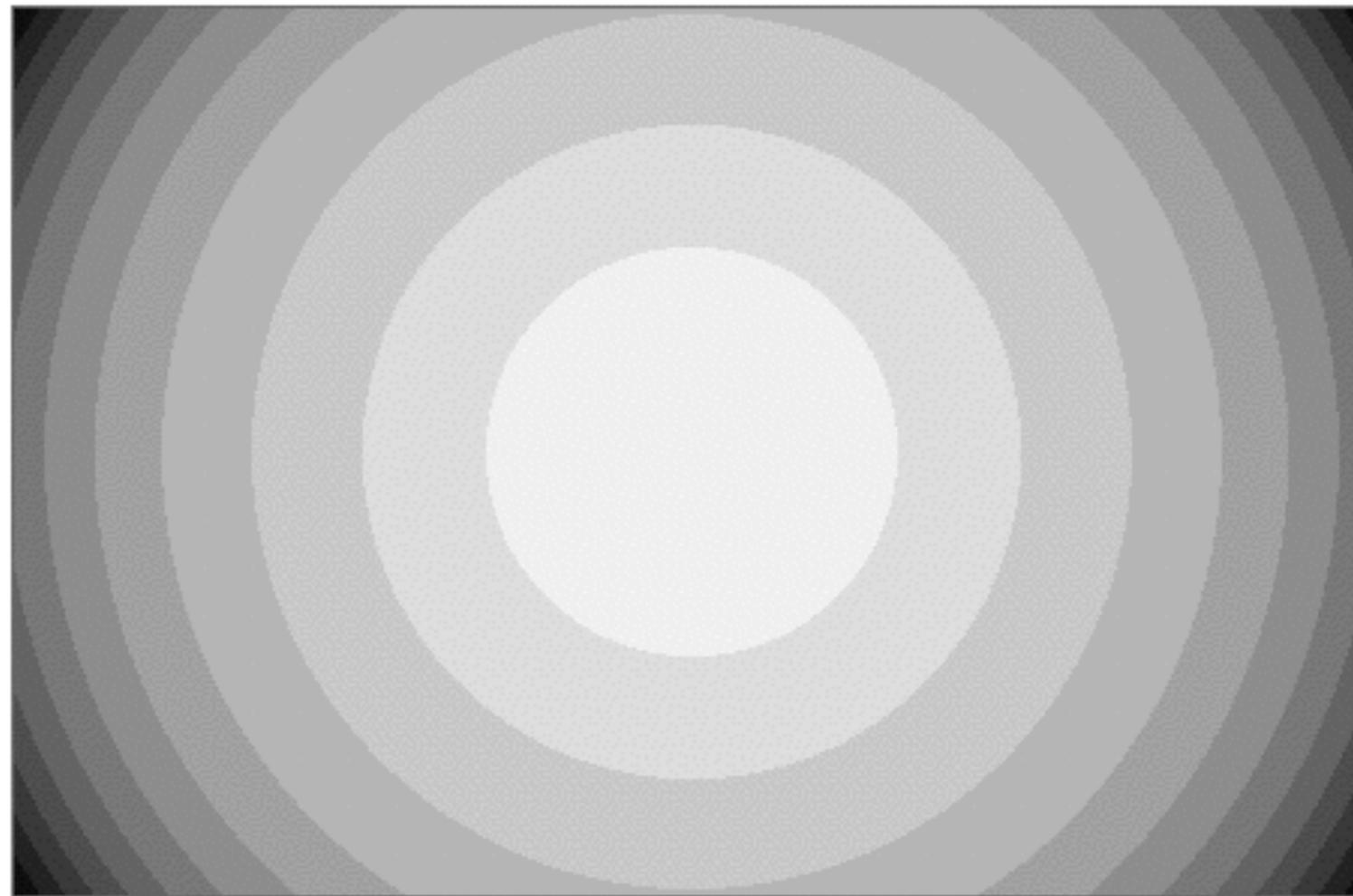
- Prendre en photo une mire grise avec un éclairage parfaitement uniforme
- Calculer pour chaque point le facteur d'assombrissement
- Option : imposer un modèle radial pour robustifier
- Visualisation

Vignetting in the image field at selected focal length and aperture
Sigma 12-24mm f4.5-5.6 EX DG Canon on Canon EOS 5D Mark II | Focal: 12 -
Aperture: 4.5



Le vignettage Visualisation des mesures

Vignetting map in the image field
Sigma 12-24mm f4.5-5.6 EX DG Canon on Canon EOS 5D Mark II



A l'époque de l'argentique, les distorsions, les AC et le vignettage se retrouvaient forcément dans le tirage final.

En numérique, une fois mesurés, la correction est triviale et quasi-parfaite — à la précision de la mesure près.

Ceci donne plus de liberté aux constructeurs, qui peuvent relâcher les contraintes sur ces défauts et gagner ailleurs : plage de zoom plus grande, optiques plus ouvertes.

Cependant, il y a quelques inconvénients mineurs :

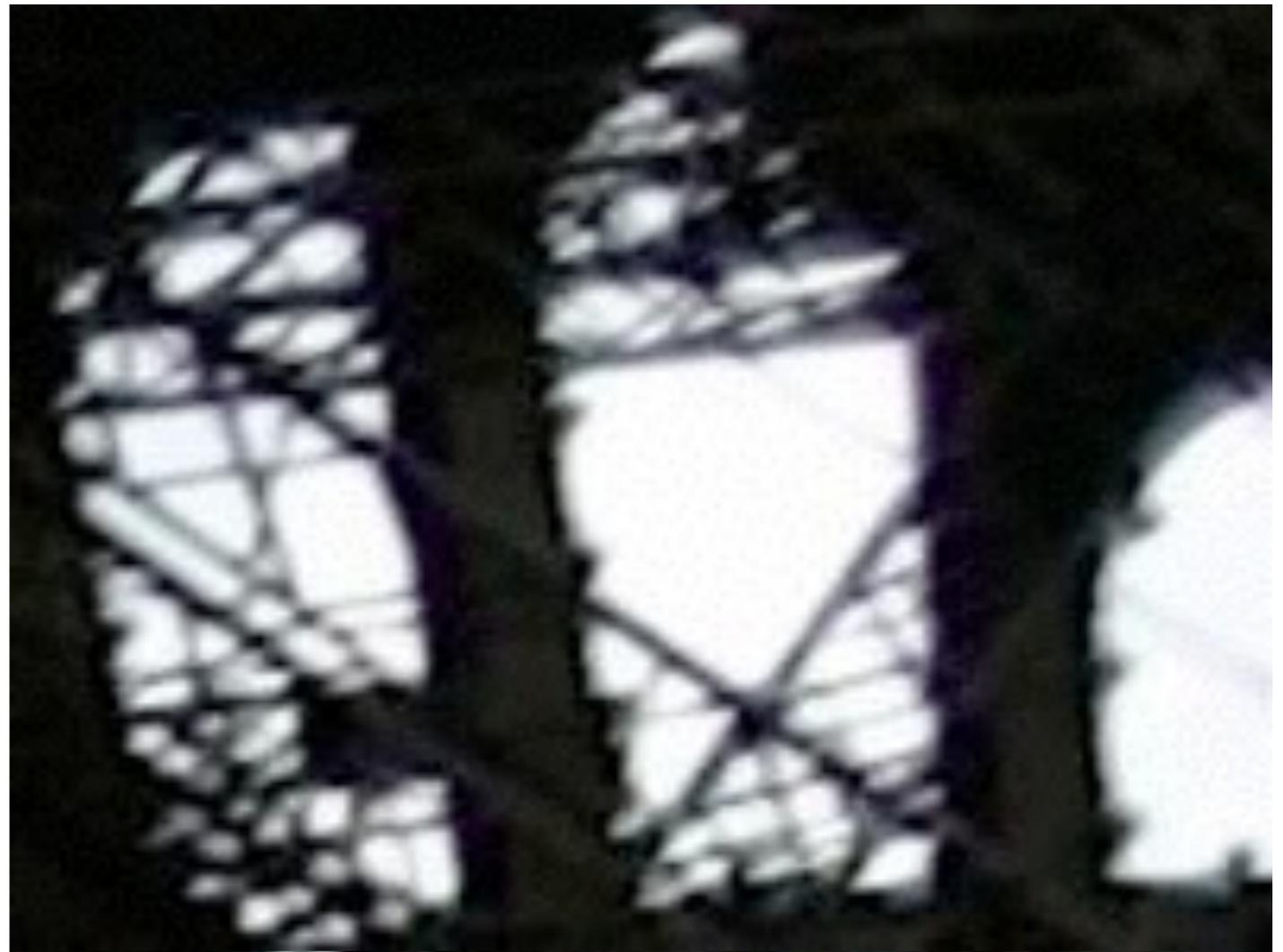
- Légère perte de résolution et changement de focale pour la correction des distorsions.

- Augmentation du bruit dans les coins de l'image pour la correction de vignettage.

Correction numérique des distorsions



Correction numérique des aberrations chromatiques



Correction numérique du vignettage



Impact des corrections numériques sur les mesures des caractéristiques optiques

Mesurer dans les images finales ne permet plus d'évaluer la qualité intrinsèque de l'optique.

On évalue la qualité du système complet :
optique + traitement.

On mesure les résidus restant après correction, comme l'utilisateur les voit.

Les mesures restent pertinentes.

Pour les reflex, mesurer dans les fichiers RAW permet d'évaluer la qualité de l'optique brute.

Egalement pour les reflex, il peut être intéressant de comparer les différents logiciels qui appliquent chacun sa propre correction.

1. Introduction au sujet
2. Quelques caractéristiques à évaluer
 - a. Les défauts optiques
 - b. Le piqué**
 - La FTM
 - L'acutance
 - Un algorithme pour mesurer la FTM
 - Correction numérique
 - c. Le bruit
3. Résumé

Le piqué / la résolution Illustration

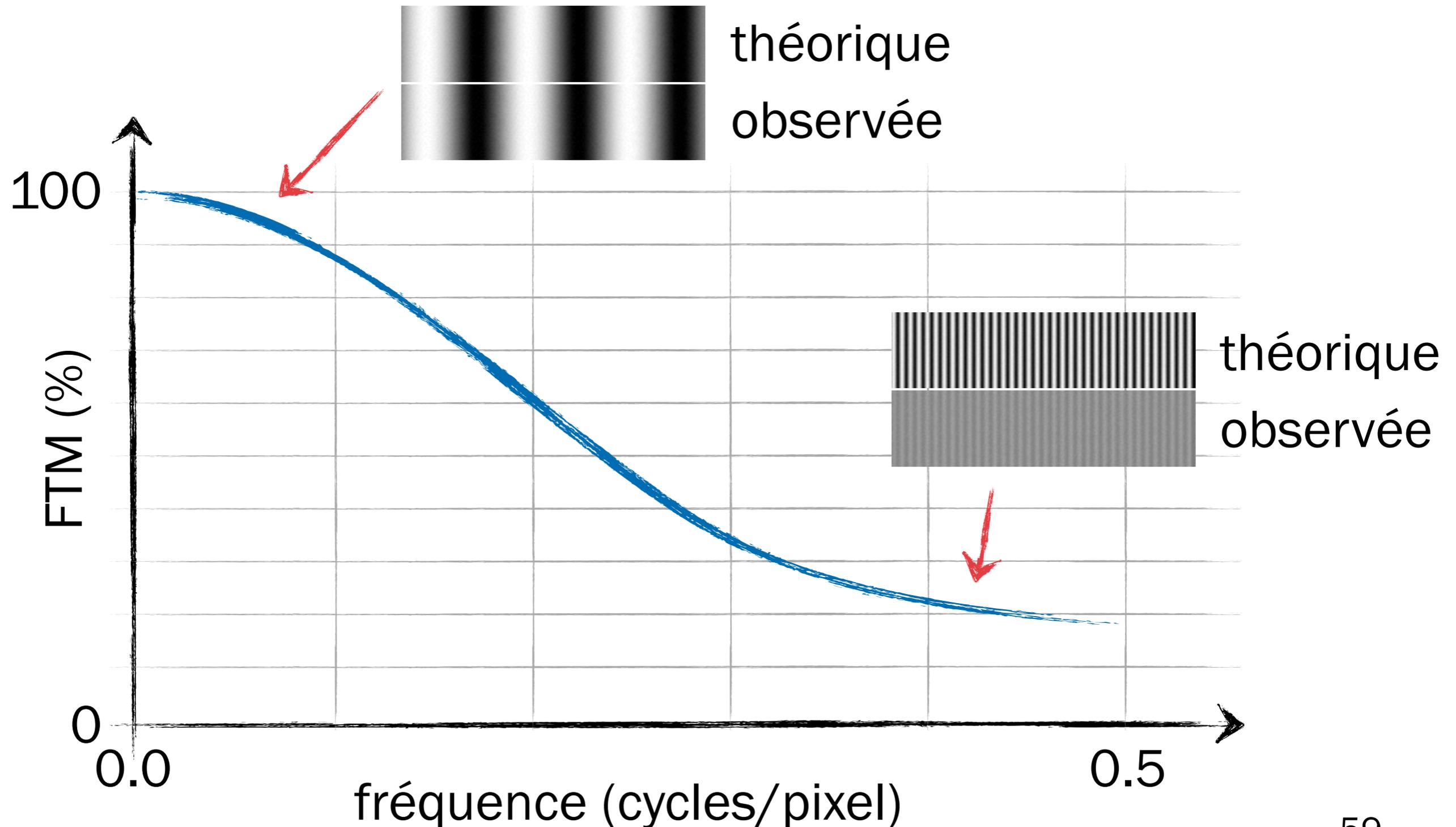


Le piqué / la résolution Illustration



La fonction de transfert de modulation pour quantifier le piqué / la résolution

Rapport entre amplitude observée et amplitude théorique

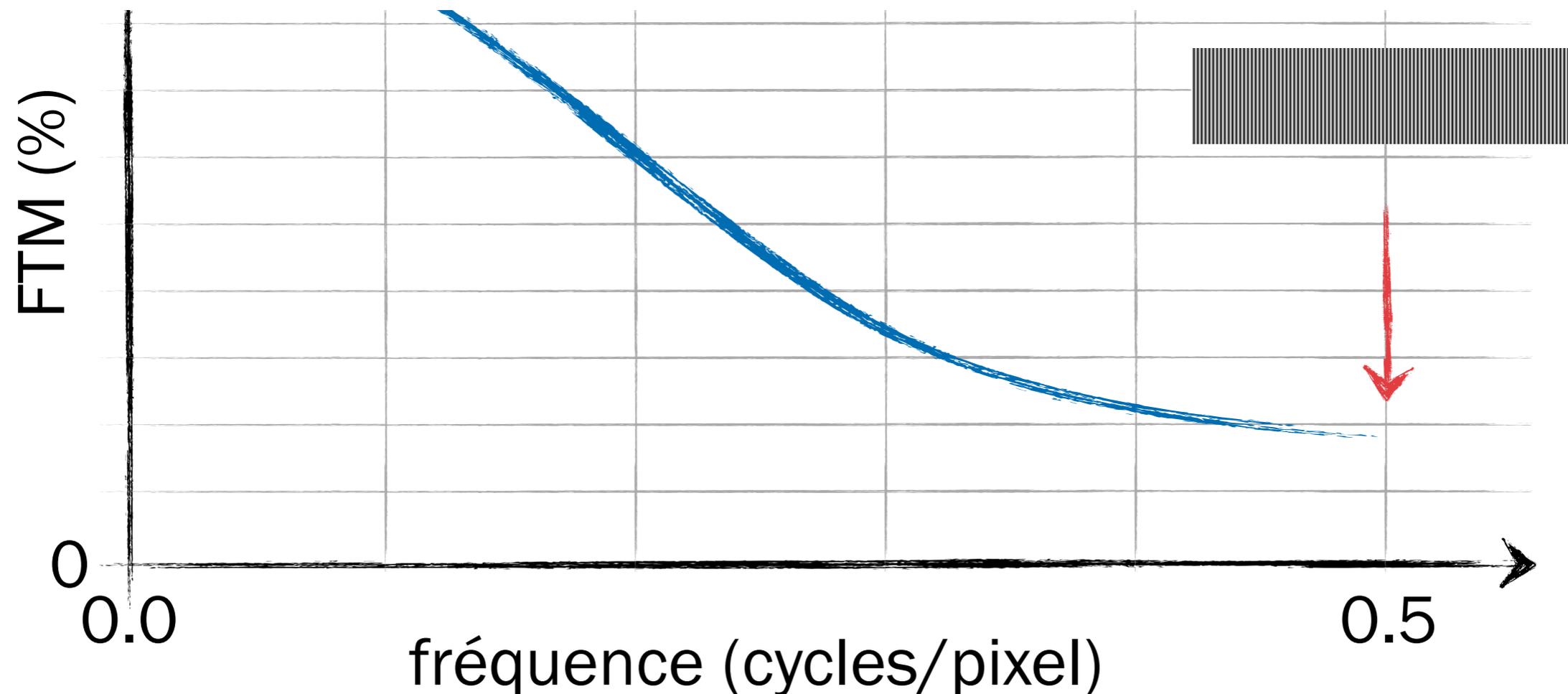


La fonction de transfert de modulation pour quantifier le piqué / la résolution

La fréquence Nyquist

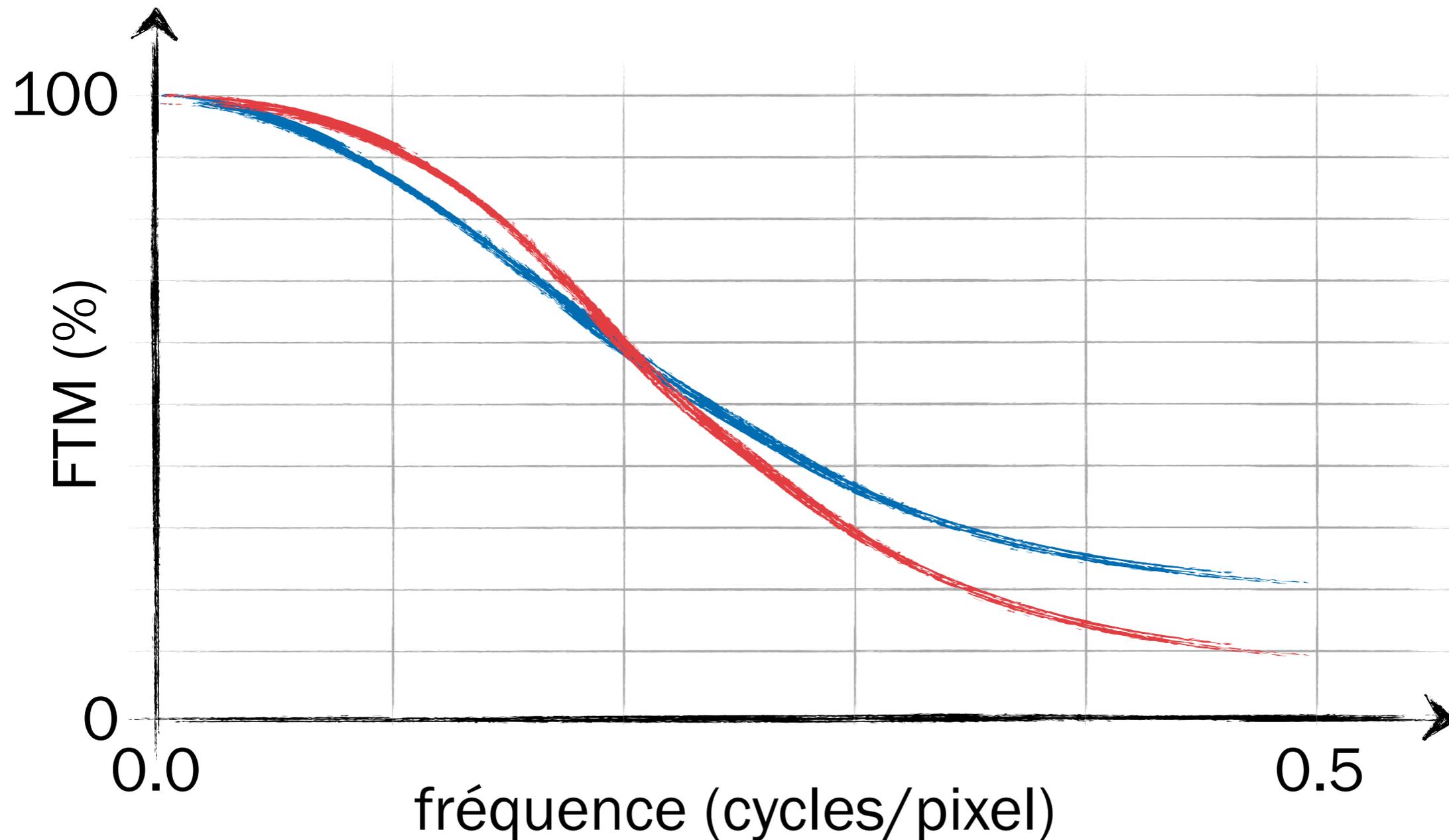
La plus haute fréquence possible dans une image.

Si une fréquence supérieure à Nyquist est dans le signal optique, elle se transforme en moiré.



La fonction de transfert de modulation pour quantifier le piqué / la résolution

Laquelle des deux FTM est préférable ?



La fonction de transfert de modulation pour quantifier le piqué / la résolution

Le problème de la FTM est qu'elle n'est pas facile à interpréter. Souvent, un simple chiffre serait plus pratique.

Utiliser une valeur de la courbe? Exemples :

la FTM à Nyquist/2 ;

la FTM à Nyquist/16 ;

la fréquence pour laquelle la FTM atteint 50 % ;

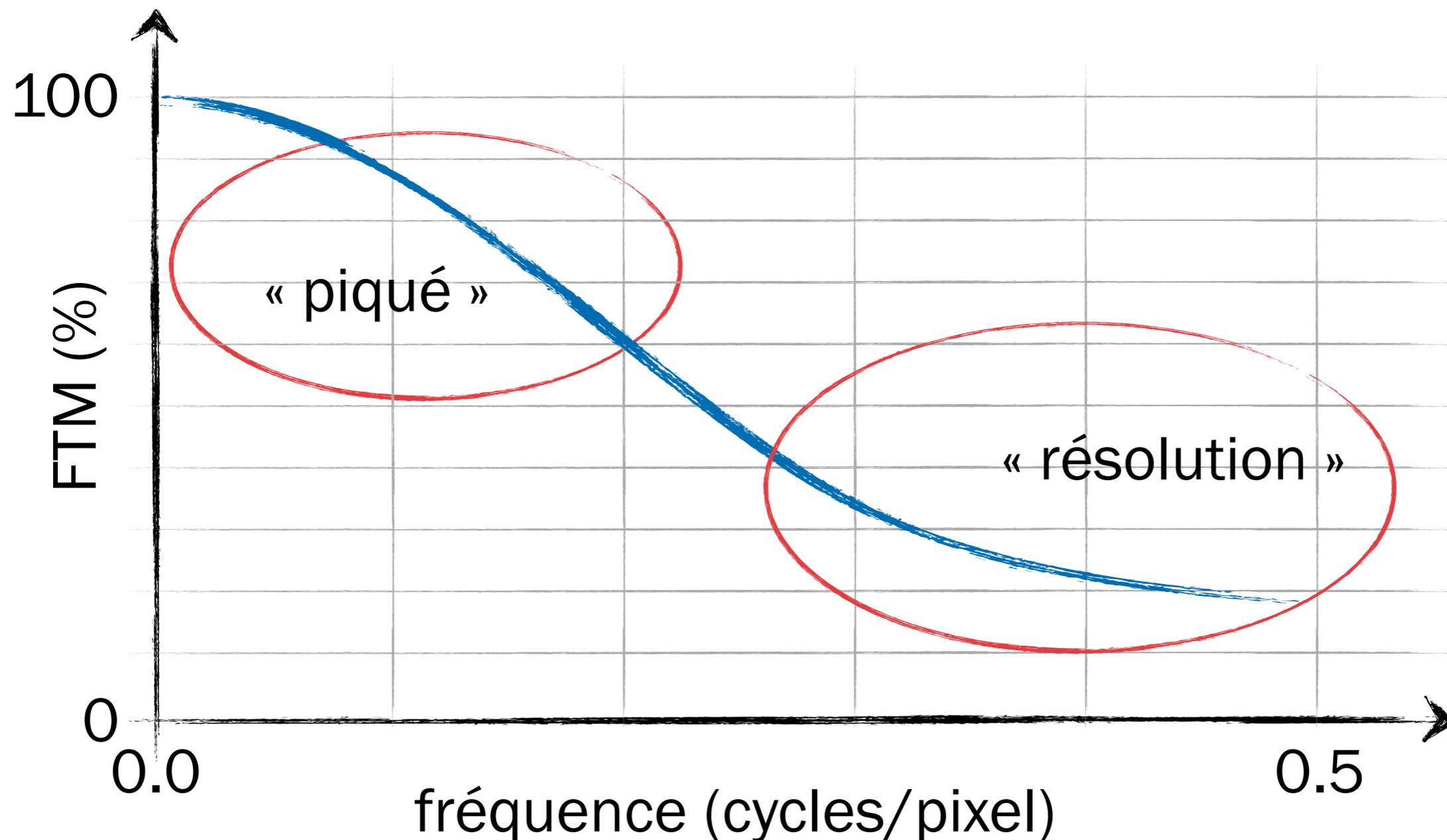
... ?

Choisir une valeur arbitraire n'est pas très satisfaisant.

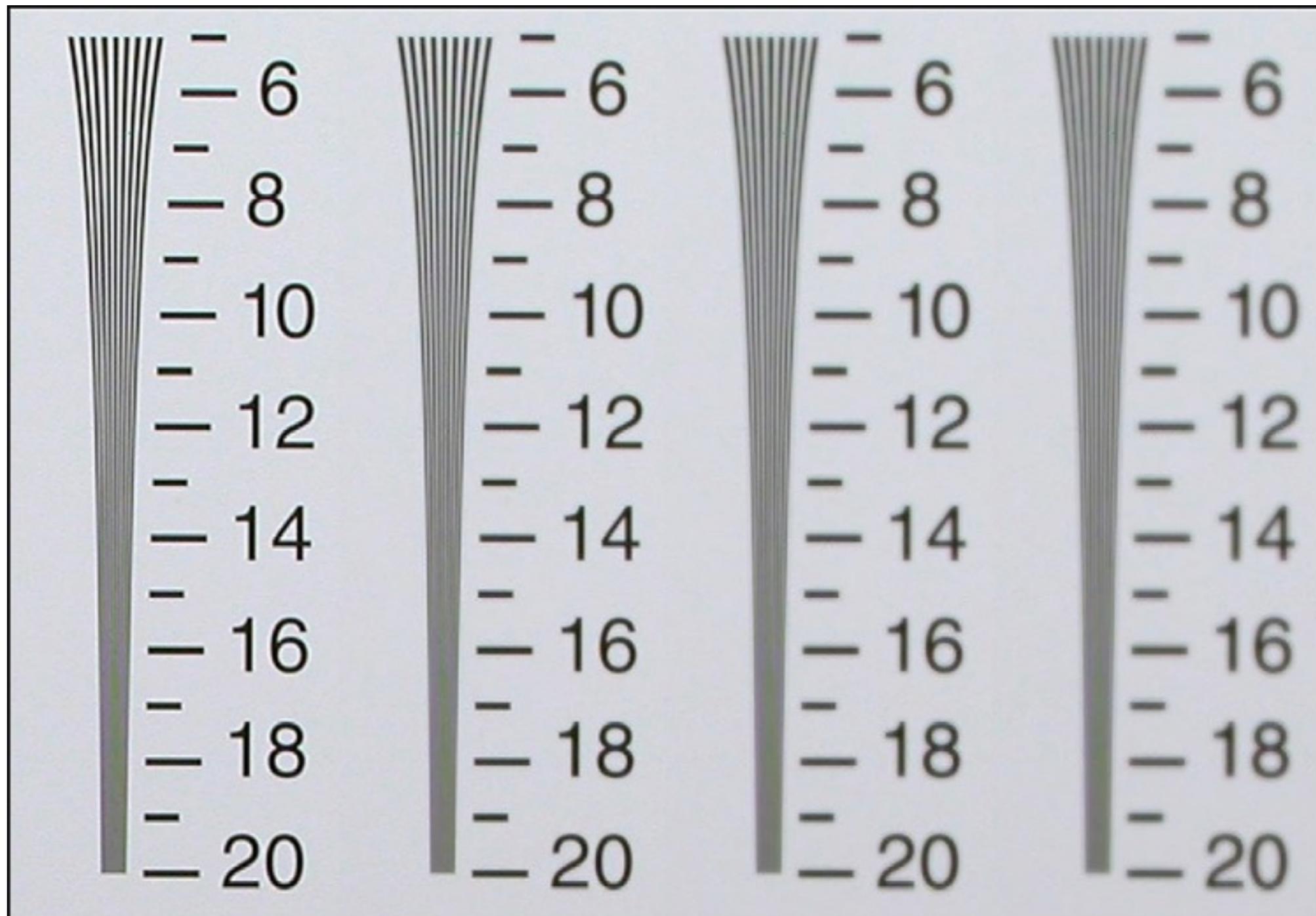
Le « piqué » est un terme non scientifique, issu de la photographie. Il décrit l'impression (subjective) de détail dans une photo.

La « résolution limite » est un terme plus scientifique mais elle n'est pas un indicateur fiable du piqué.

Le piqué dépend plutôt de la partie gauche de la FTM, la résolution plutôt de la partie droite.



Même résolution, différents piqués



A gauche : bon piqué, mauvaise résolution.

A droite : bonne résolution, mauvais piqué.



D. Williams © 2006

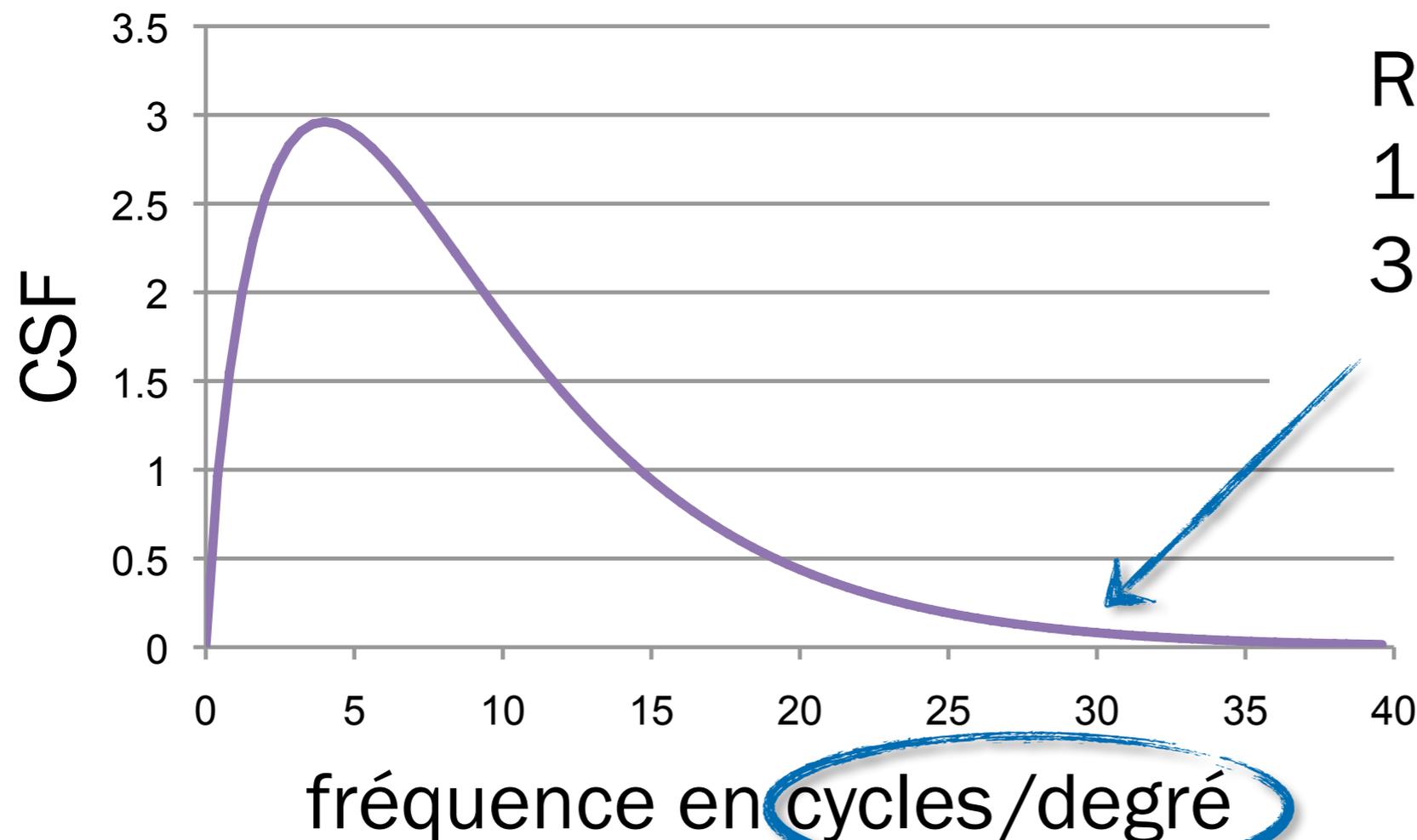
Photo: P. Burns

L'image de gauche paraît plus nette.

Acutance : pondération de la FTM par la sensibilité de l'œil

$$A = \int FTM(f) \cdot CSF(f) df$$

Contrast Sensitivity Function (CSF)



Résolution de l'œil:
1 minute d'arc, soit
30 cycles/deg

Conditions de visualisation

Convertir les cycles/pixel en cycles/degres

Dépend de la taille de l'image et de la distance d'observation : plus l'image est vue de loin, plus le poids des hautes fréquences est faible

Sélection de conditions « typiques » (14 mégapixels)

HDTV

Ecran 42" à 1m74 → 150 pixels/degre

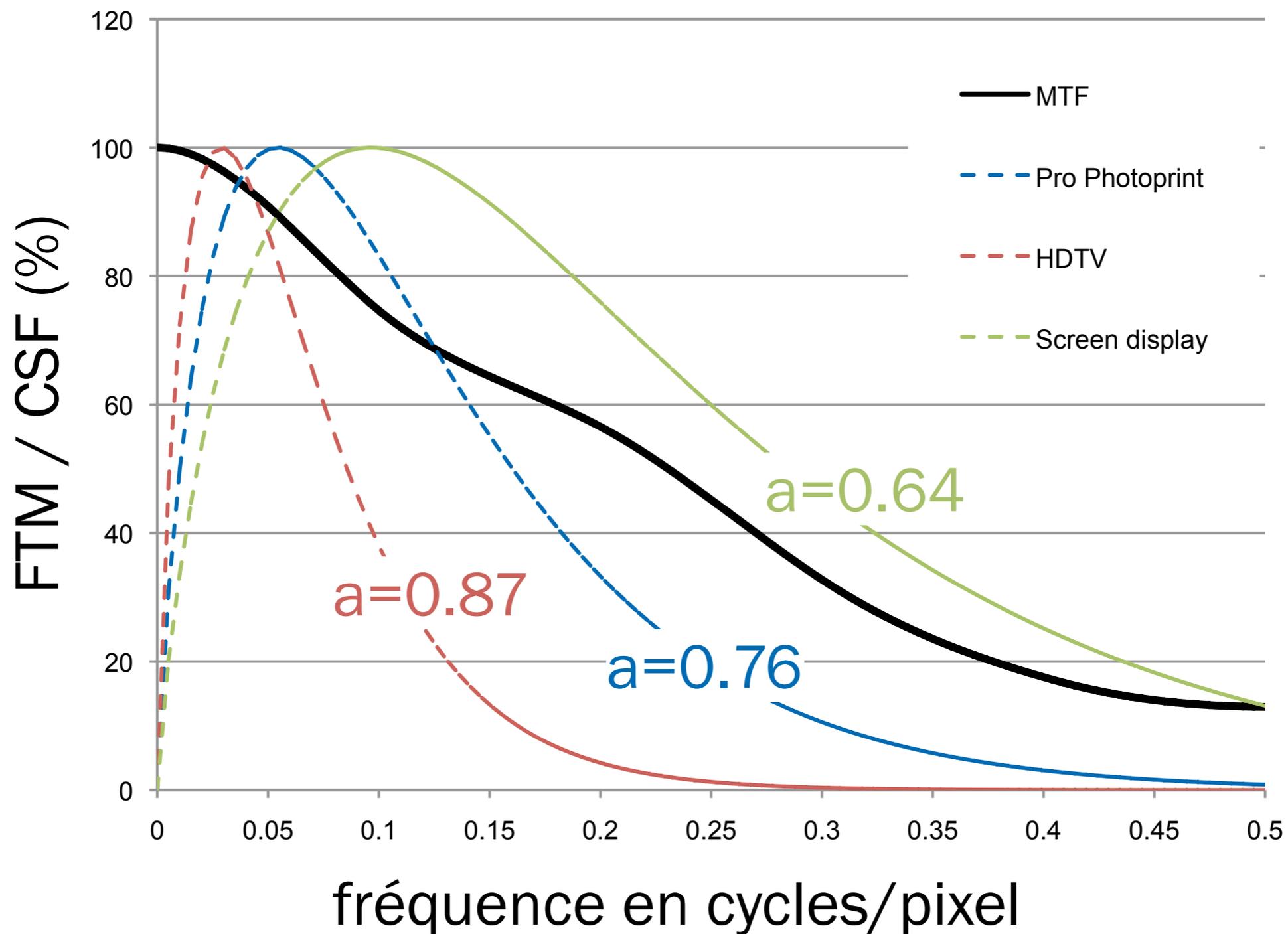
Tirage professionnel

Tirage 40x60 cm à 75 cm → 100 pixels/degre

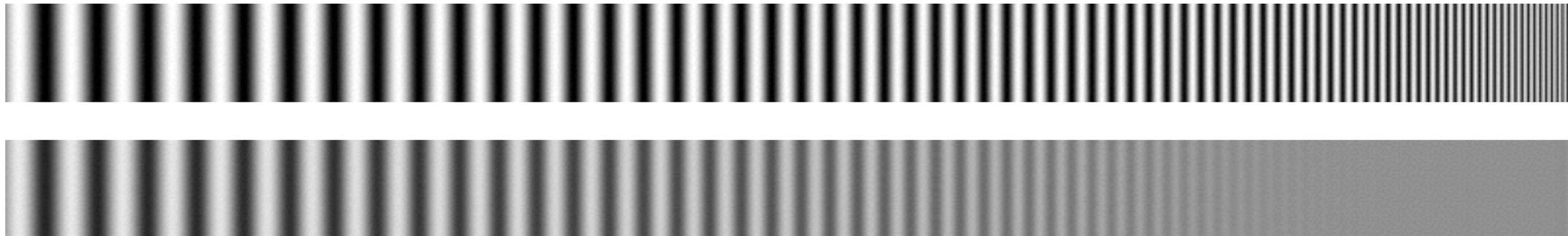
Ecran PC (zoom 100%)

Pixels de 0.25 mm à 60 cm → 42 pixels/degre

Exemple (pour un capteur 12 mégapixels)



Une mire qui contient toutes les fréquences?



Inconvénients:

La FTM varie dans le champ.

Il faudrait donc déplacer la mire petit à petit et prendre une multitude de photos pour avoir mesuré toutes les fréquences au même point.

Il faudrait répéter cette procédure pour chaque position dans le champ où on souhaite connaître la FTM.

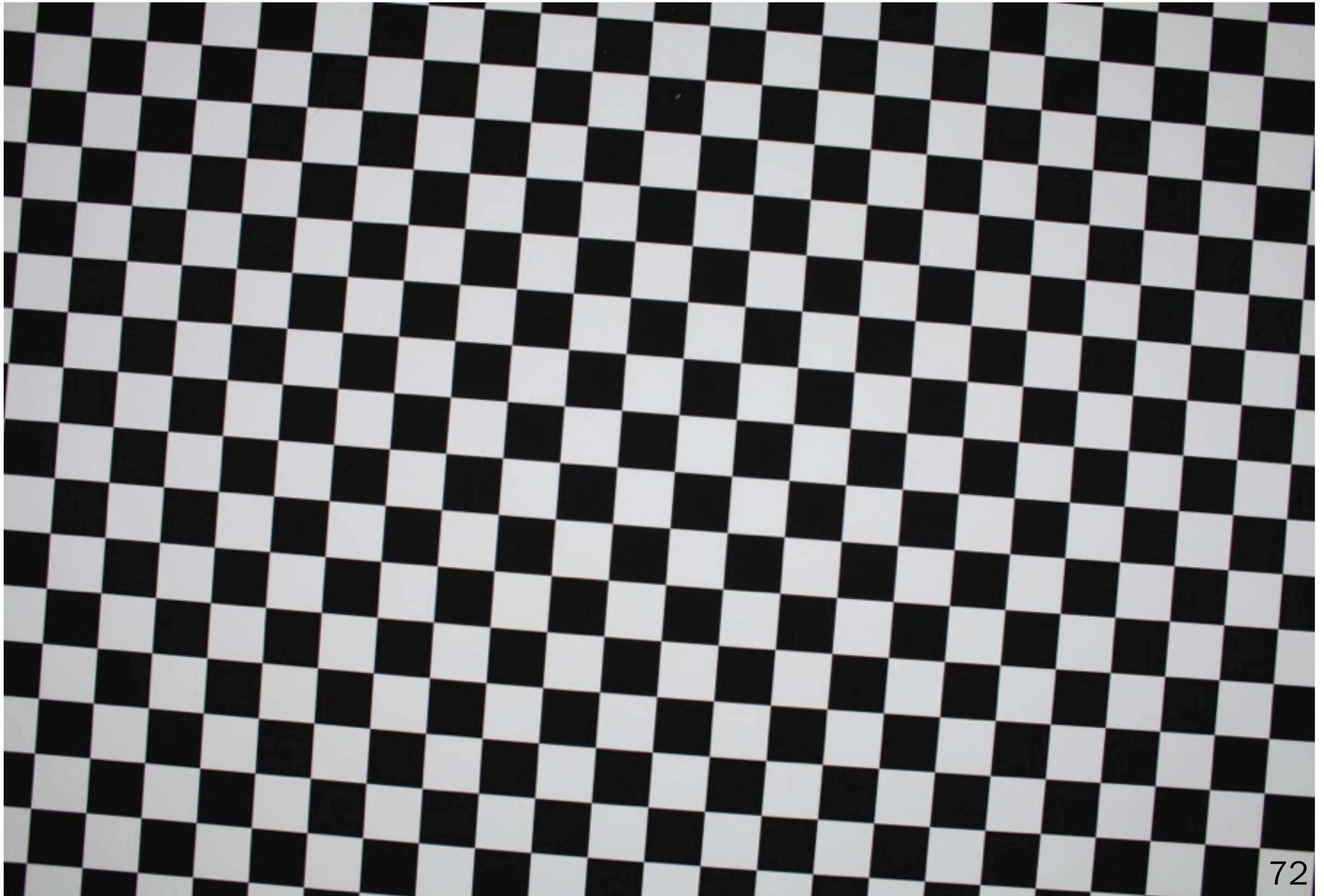
La FTM est la transformée de Fourier de la réponse impulsionnelle.

Il suffit donc de prendre en photo un point infiniment petit et de transformer cette image pour obtenir la FTM.

Comme les points infiniment petits sont difficiles à imprimer sur une mire, on préfère utiliser un contour infiniment net.

Par dérivation dans le sens orthogonal au contour, on obtient la réponse impulsionnelle.

L'utilisation de contours légèrement inclinés permet de mesurer la FTM au-delà de la fréquence Nyquist.

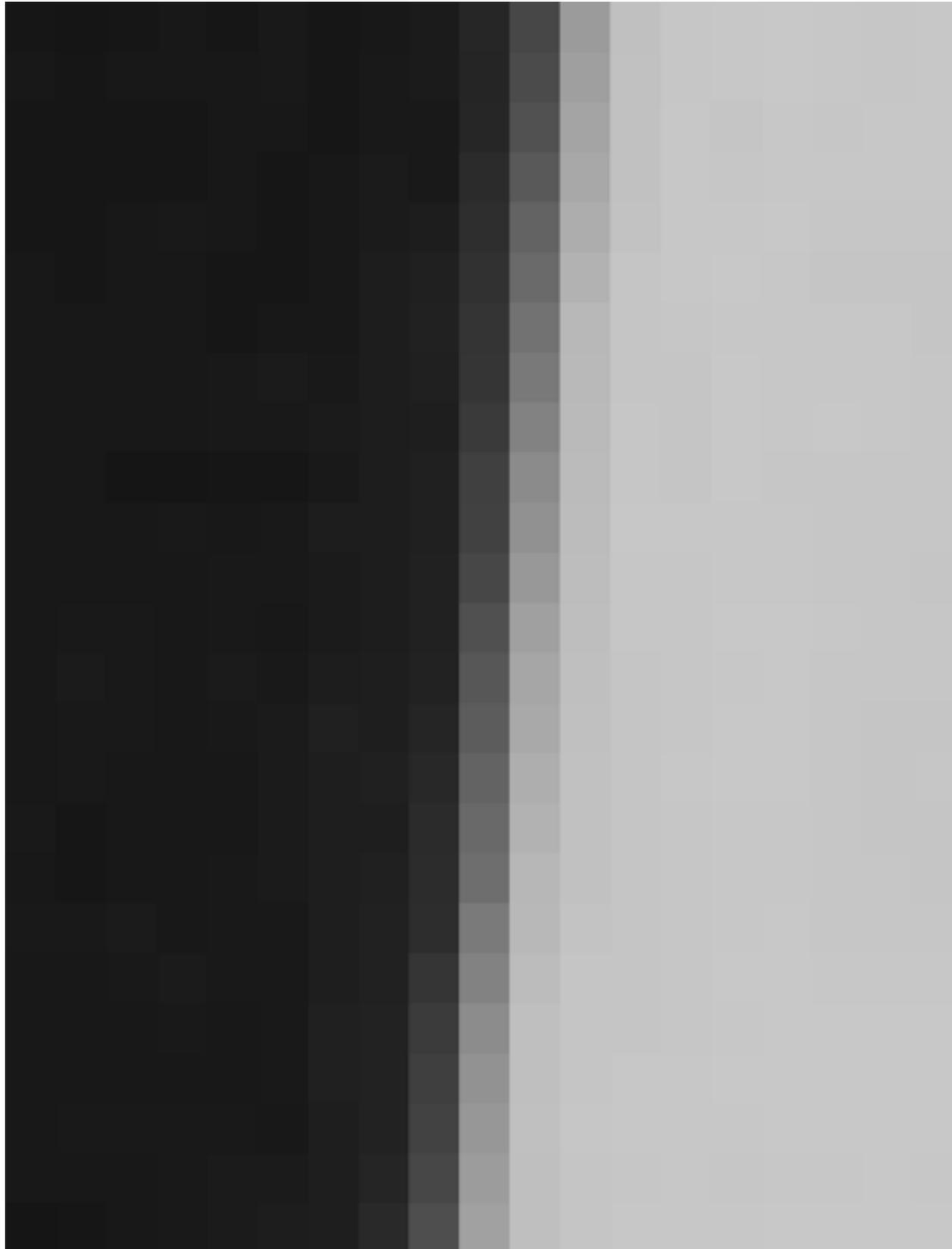


Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

1.

Trouver un contour.

Peut être automatisé ou
demandé à l'utilisateur.



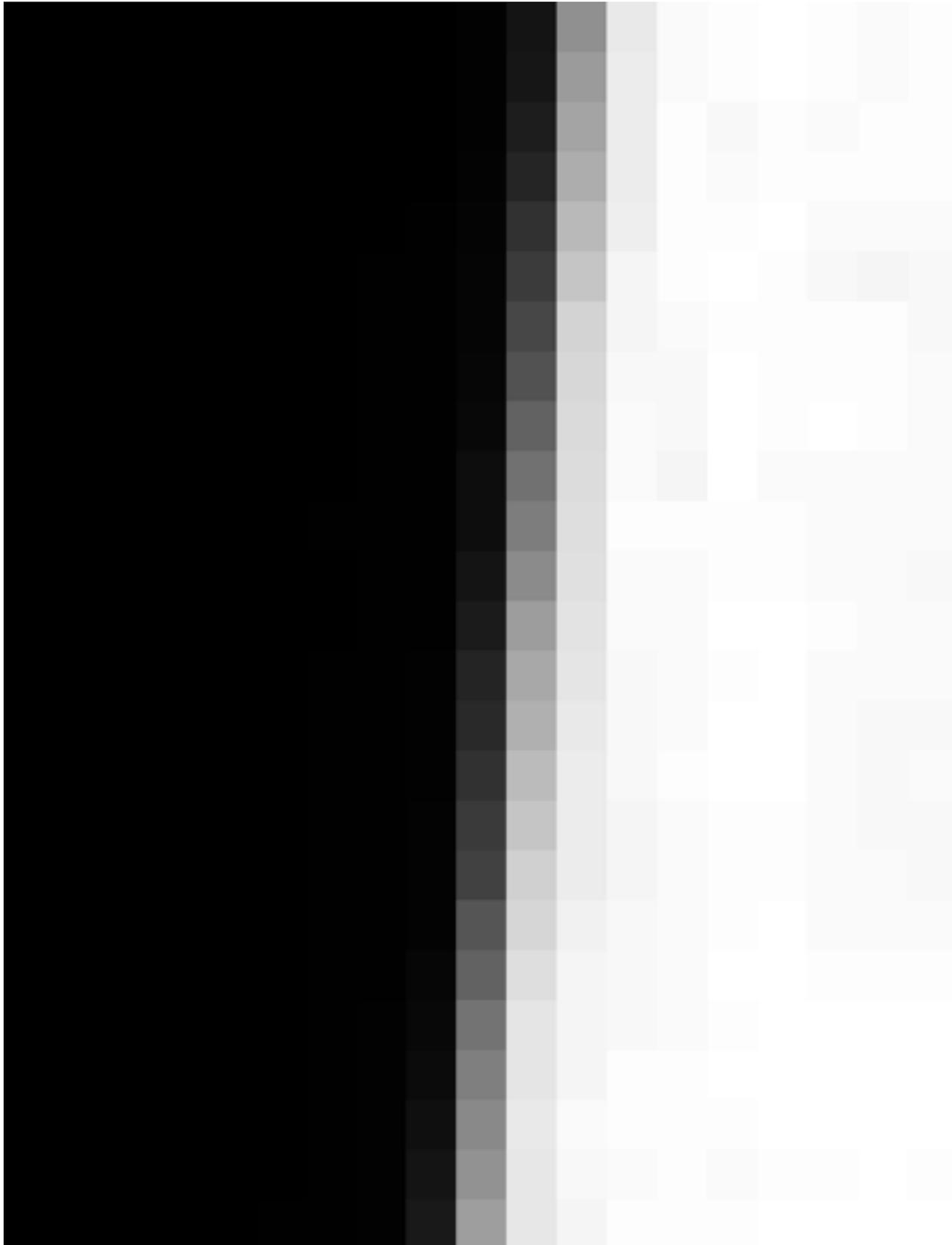
Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

2.

Inverser la courbe de tonalité du capteur.

Si on ne la connaît pas exactement, prendre la courbe sRGB.

Normaliser l'image.

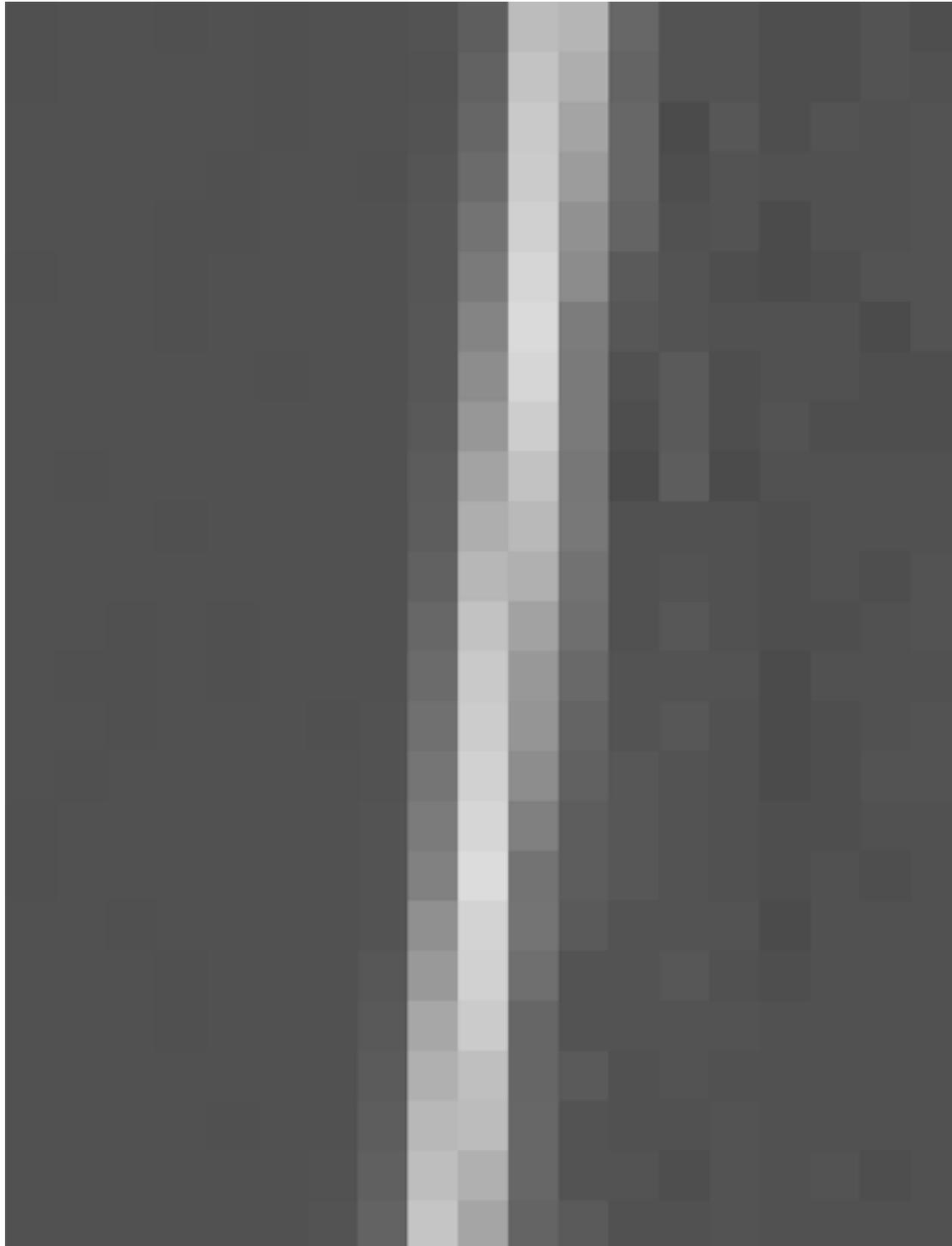


Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

3.

Calcul du gradient
horizontal.

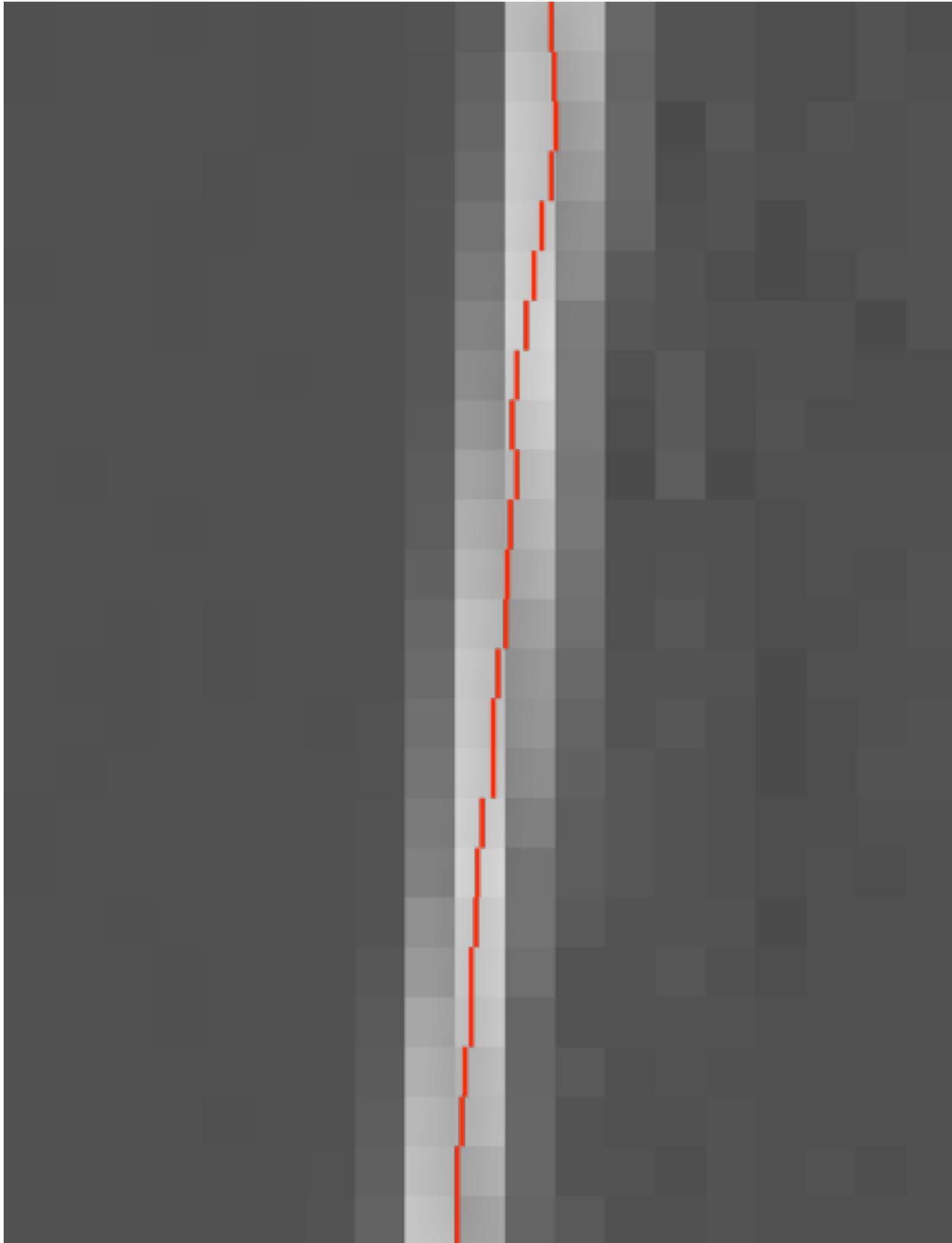
Convolution avec $[-1 \ 1]$.



Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

4.

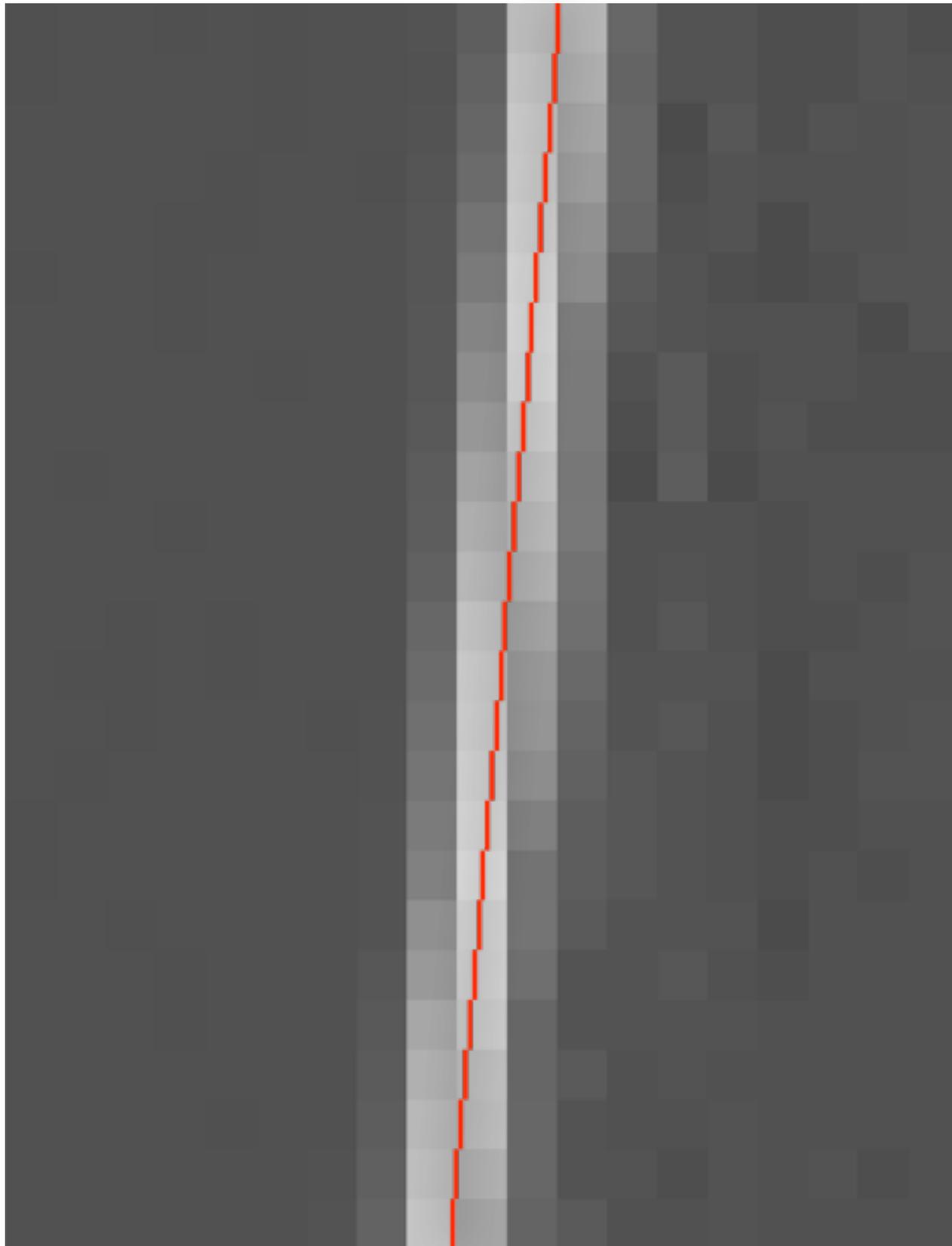
Trouver le maximum de gradient dans chaque ligne.



Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

5.

Calculer la ligne de régression.



Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

-10.02749286	0	-4.93925322	0
-9.02749286	0	-3.93925322	0
-8.02749286	0	-2.93925322	0
-7.02749286	0	-1.93925322	0
-6.02749286	0	-0.93925322	2
-5.02749286	0	0.06074678	18
-4.02749286	0	1.06074678	137
-3.02749286	0	2.06074678	231
-2.02749286	0	3.06074678	249
-1.02749286	3	4.06074678	252
-0.02749286	16	5.06074678	255
0.97250714	126	6.06074678	252
1.97250714	228	7.06074678	249
2.97250714	249	8.06074678	252
3.97250714	252	-9.85101358	0
4.97250714	255	-8.85101358	0
5.97250714	252	-7.85101358	0
6.97250714	249	-6.85101358	0
7.97250714	252	-5.85101358	0
-9.93925322	0	-4.85101358	0
-8.93925322	0	-3.85101358	0
-7.93925322	0	-2.85101358	0
-6.93925322	0	-1.85101358	0
-5.93925322	0	...	

6.

Mettre dans une liste :

La position par rapport à la ligne de régression et le niveau de gris de chaque pixel.

(position, ndg)

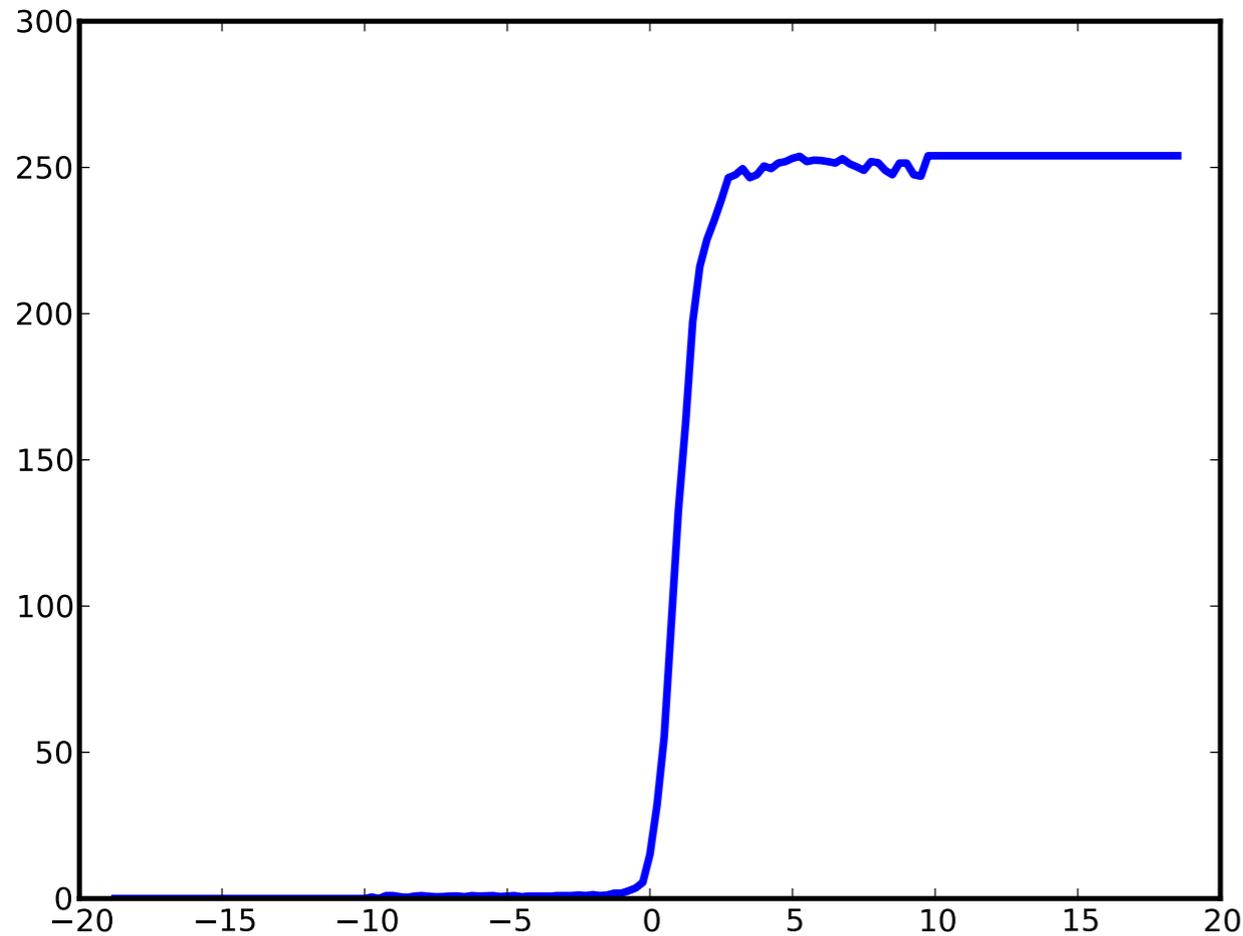
Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

-9.75	0	-4.75	0
-8.75	0	-3.75	0
-7.75	0	-2.75	0
-6.75	0	-1.75	0
-5.75	0	-0.75	2
-4.75	0	0.00	18
-3.75	0	1.00	137
-2.75	0	2.00	231
-1.75	0	3.00	249
-0.75	3	4.00	252
0.00	16	5.00	255
1.00	126	6.00	252
2.00	228	7.00	249
3.00	249	8.00	252
4.00	252	-9.50	0
5.00	255	-8.50	0
6.00	252	-7.50	0
7.00	249	-6.50	0
8.00	252	-5.50	0
-9.75	0	-4.50	0
-8.75	0	-3.50	0
-7.75	0	-2.50	0
-6.75	0	-1.50	0
-5.75	0	...	

7.

Quantifier les positions dans la liste à 1/4 pixel.

Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné



8.

Calculer le niveau de gris moyen dans chaque « boîte ».

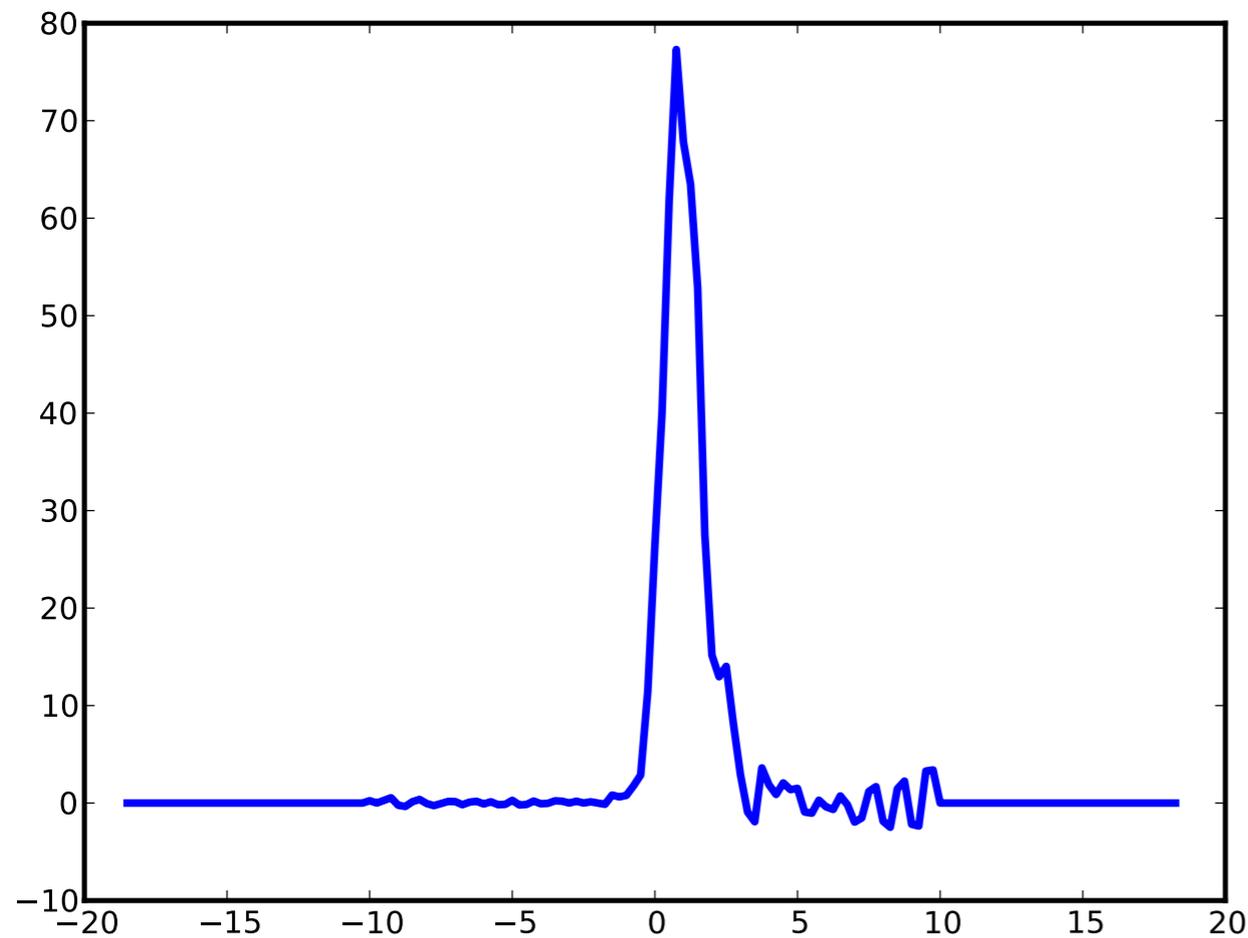
Ceci donne un niveau de gris par position.

Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

9.

Dériver à nouveau.

Mettre le pic au centre.

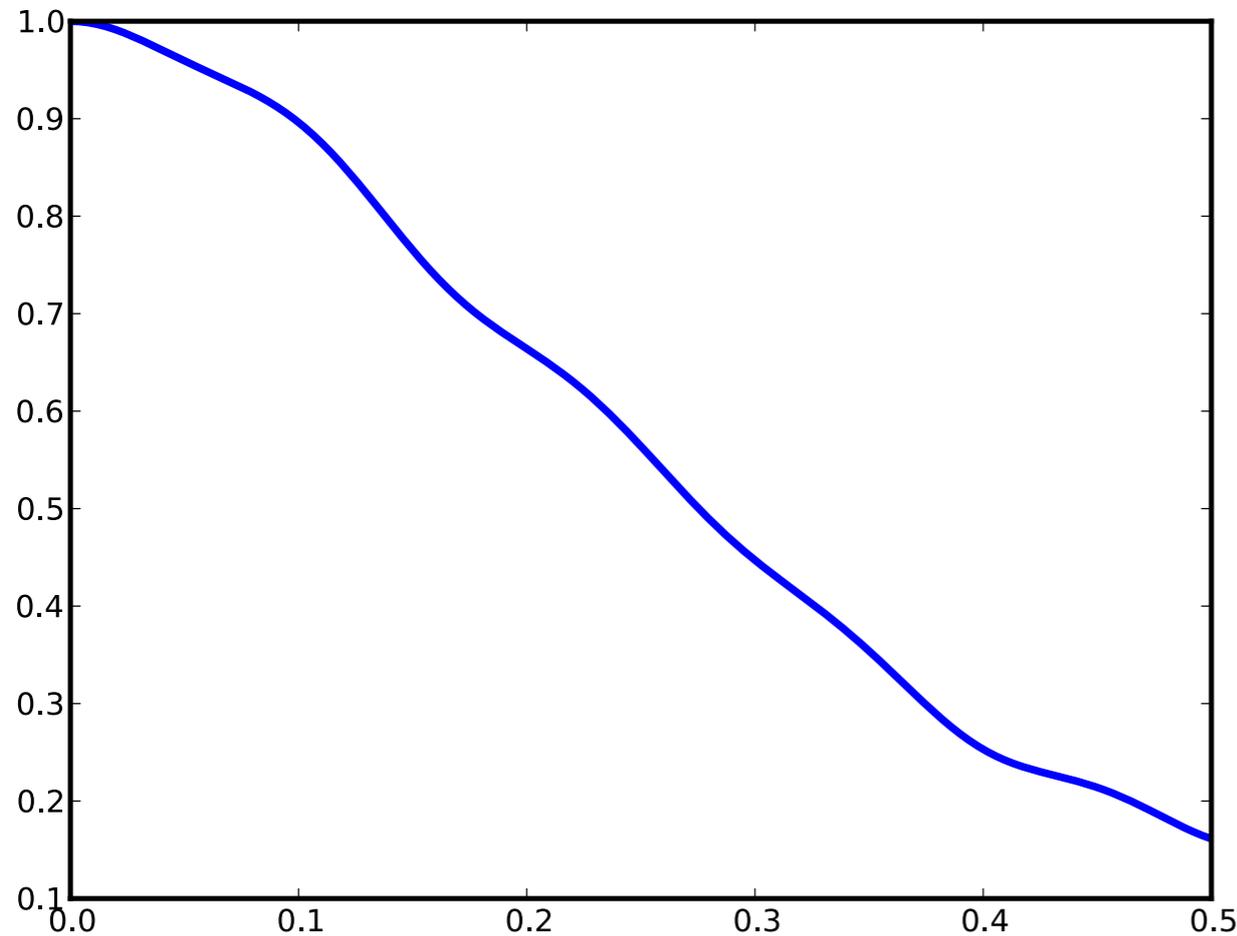


Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

10.

Calculer la transformée de Fourier.

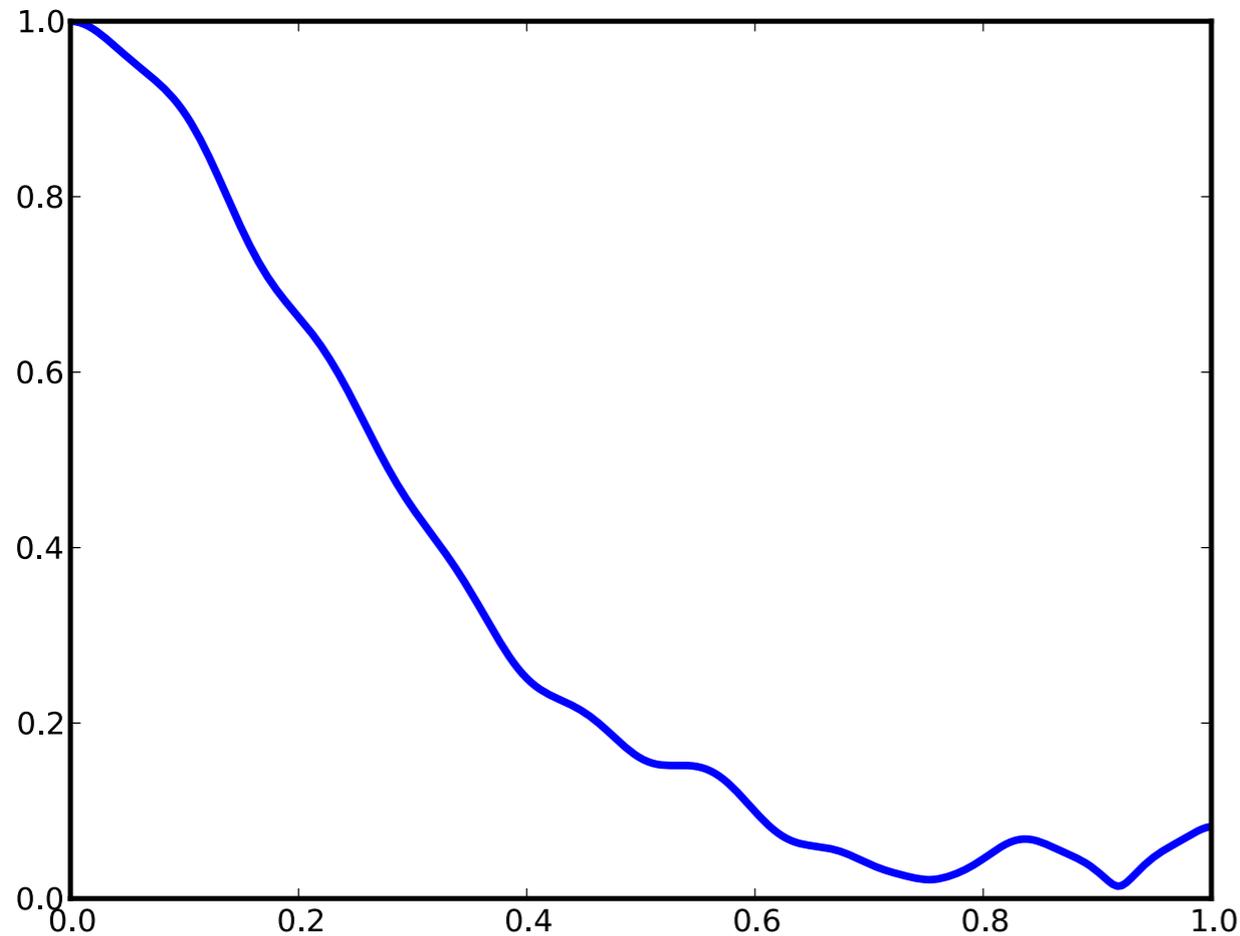
Le premier $1/8$ de la transformée est la FTM entre 0 et $1/2$ cycle par pixel – la fréquence Nyquist.



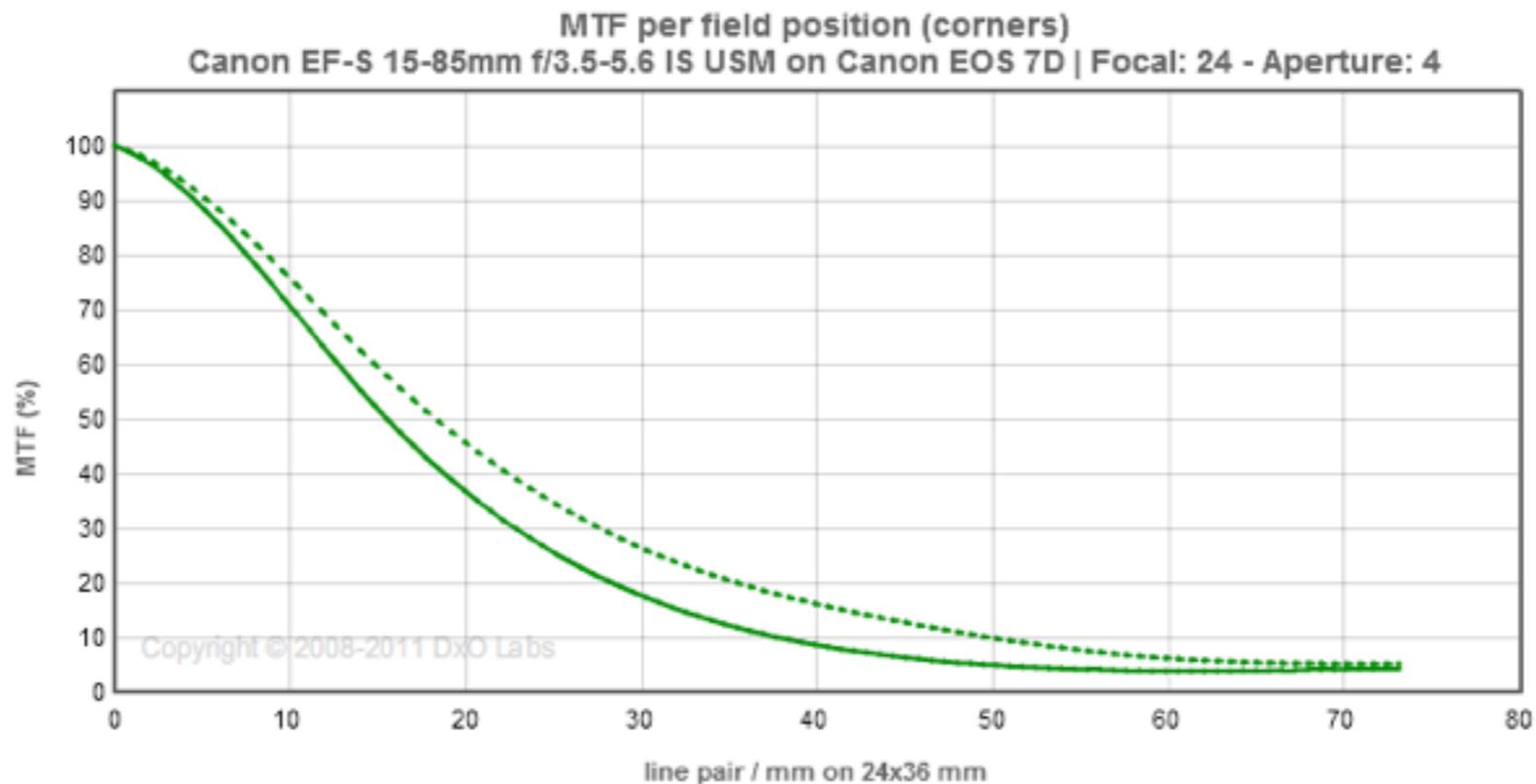
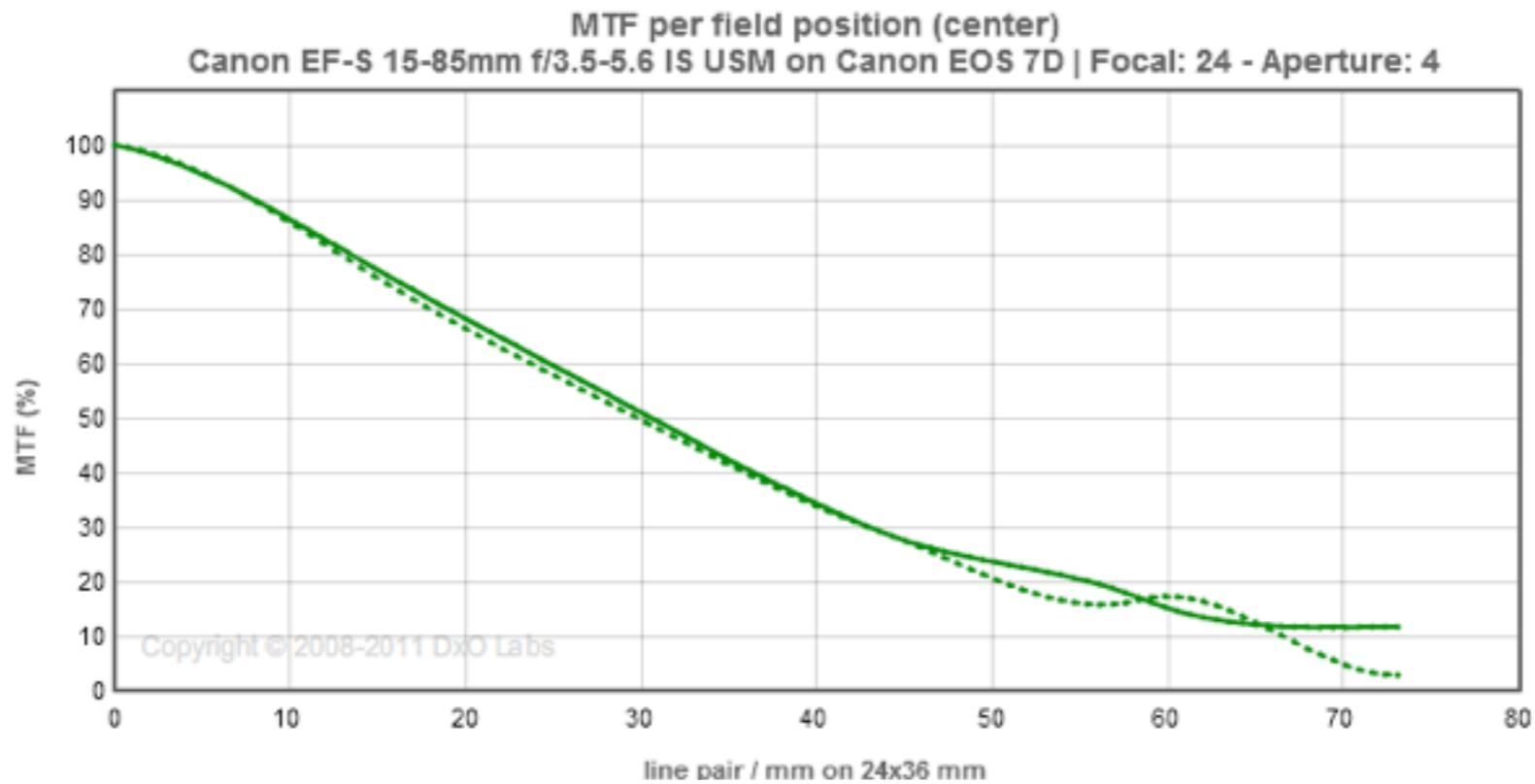
Un algorithme pour mesurer la FTM sur un contour incliné

11.

En regardant le premier 1/4 de la transformée, on a la FTM jusqu'à 1 cycle par pixel – deux fois la fréquence Nyquist.



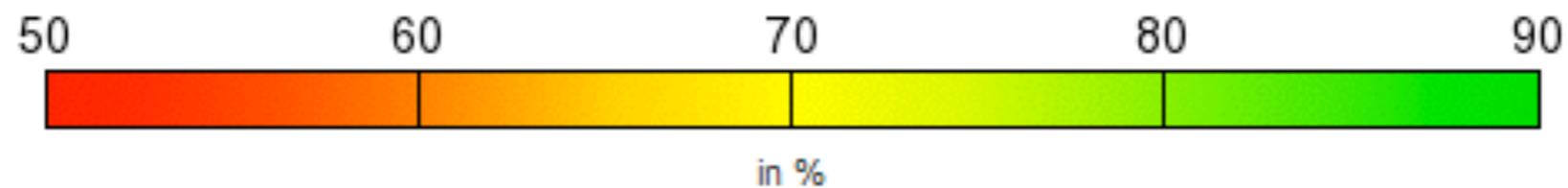
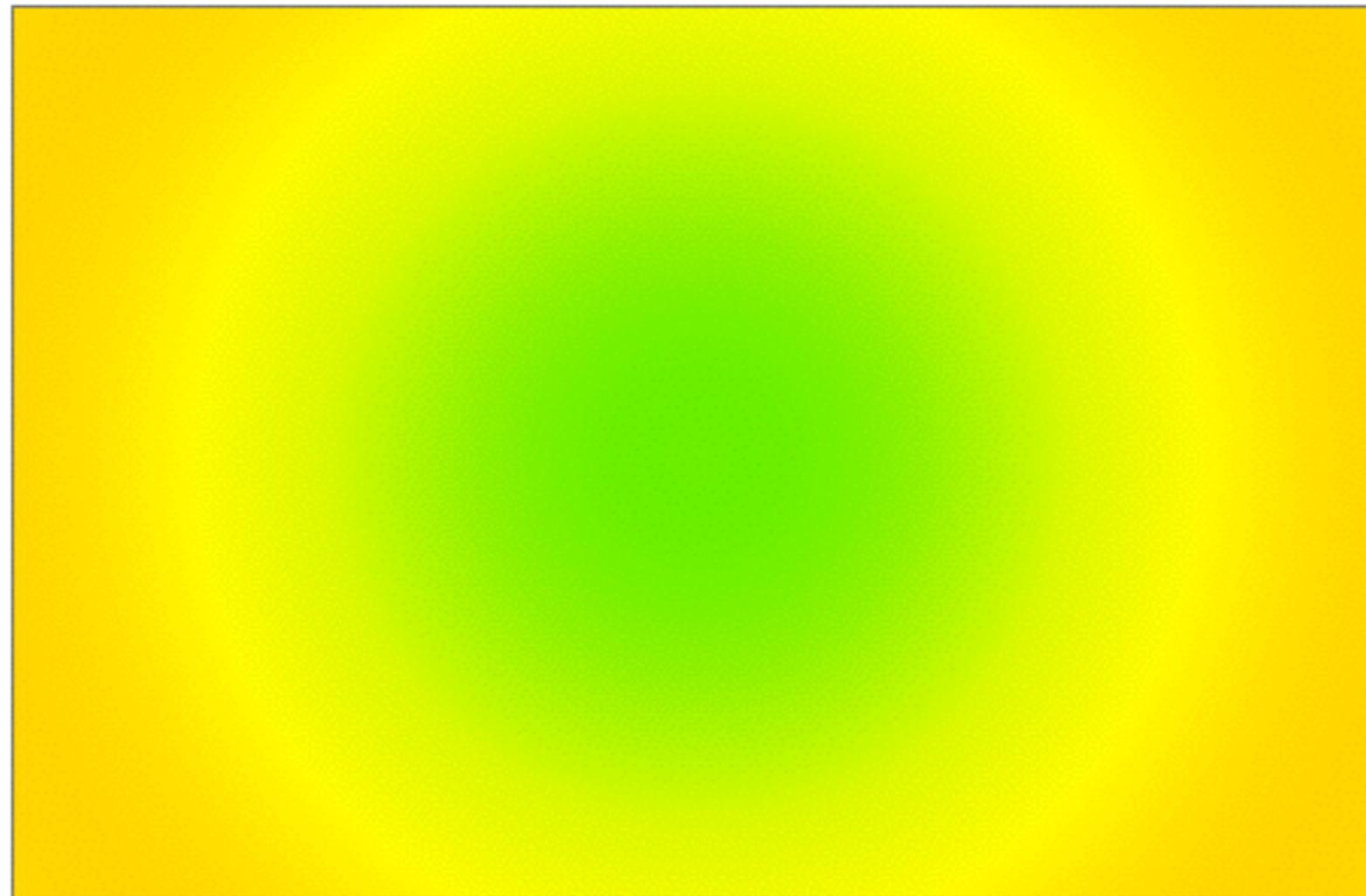
Le piqué / la résolution Visualisation des mesures



● Green H. ● (dashed) Green V.

Le piqué / la résolution Visualisation des mesures

Acutance map for use case in the image field at selected focal length and aperture
Canon EF-S 15-85mm f/3.5-5.6 IS USM on Canon EOS 7D



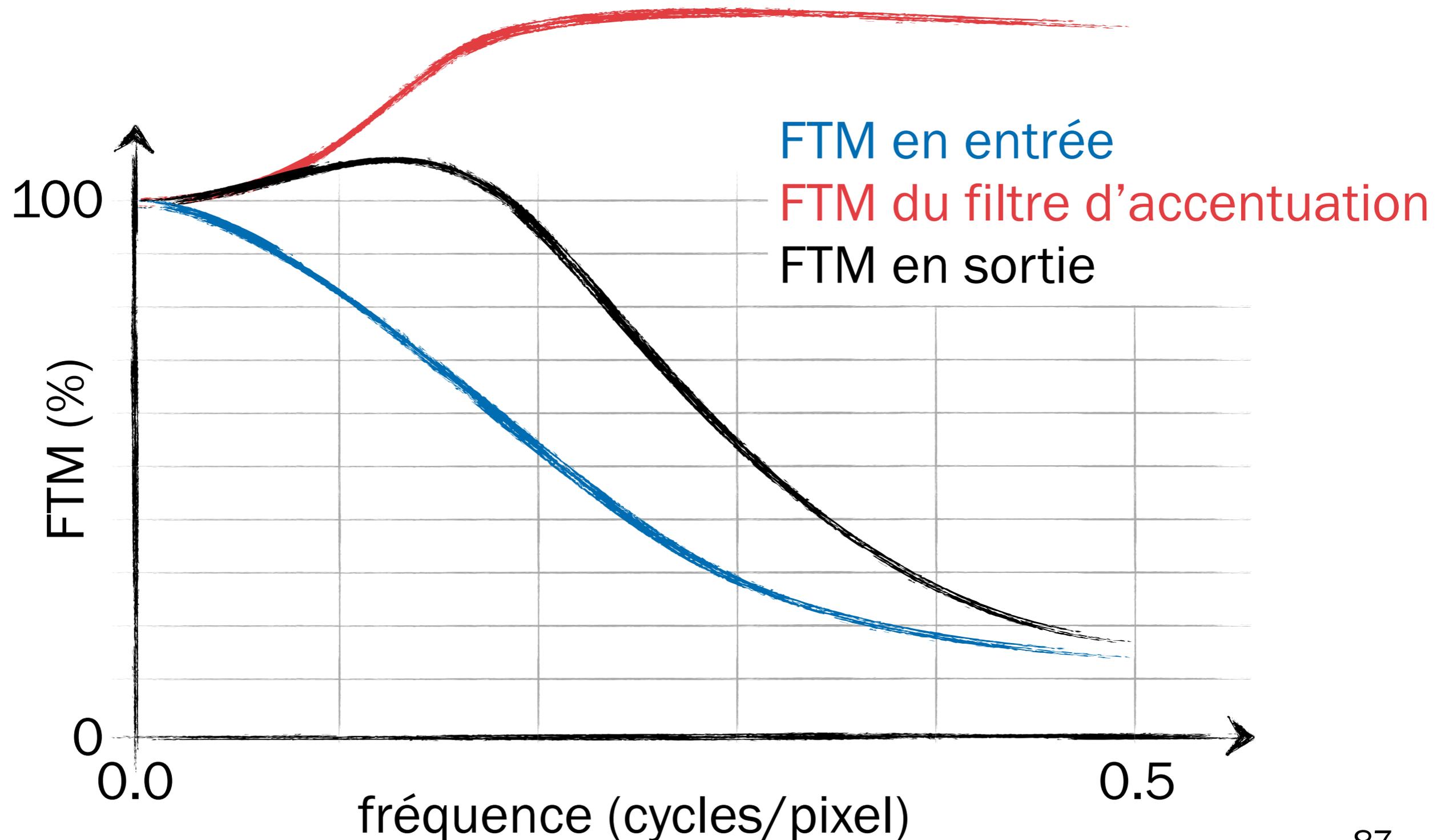
Augmenter la résolution numériquement est compliqué (super-résolution...), voir impossible : on ne peut pas inventer un signal qui n'est pas dans l'image.

Augmenter le piqué par contre est relativement facile : il s'agit d'une amplification de fréquences qui sont déjà dans l'image.

Des filtres d'accentuation (unsharp mask) sont disponible dans tous les logiciels.

Après avoir mesuré le piqué dans le champ, il est possible d'appliquer une accentuation tel que le piqué devient homogène dans toute la photo.

Impact d'une accentuation sur la FTM



Accentuation linéaire et invariante

Convolution ou

Passage en domaine Fourier et multiplication

Inconvénients d'une telle correction

Augmentation du bruit

Sur-accentuation (« ringing ») possible

Traitements plus sophistiqués

Pondération par un masque de contours

Filtrage anisotropique

1. Introduction au sujet

2. Quelques caractéristiques à évaluer

a. Les défauts optiques

b. Le piqué

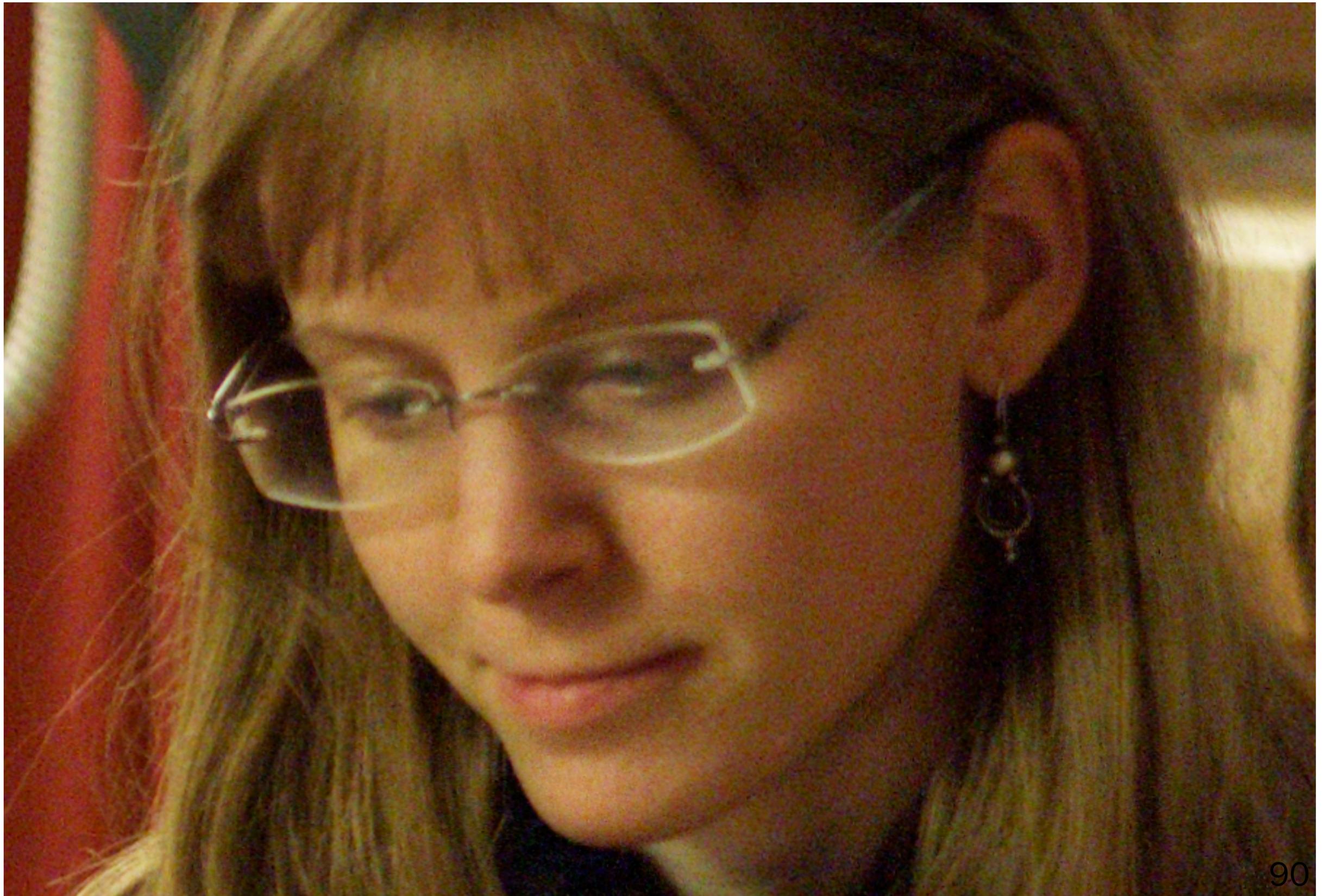
c. Le bruit

- Le bruit dans la photo numérique
- Mesurer le bruit
- Correction numérique : le débruitage
- Une nouvelle mire pour évaluer le débruitage

3. Résumé

Le grain / bruit

Illustration du phénomène



Le grain dans la photographie argentique

Le grain dépend de la pellicule utilisée.

En général, plus la sensibilité de la pellicule est élevée, plus le grain est prononcé.



Fujifilm Superia ISO 200



Fujifilm Superia ISO 1600

Le terme « bruit » vient du traitement de signal audio.

En traitement d'image, on nomme « bruit » toute déviation du signal nominal plus ou moins aléatoire :

- Souvent du bruit blanc gaussien

- Peut être corrélé (ligne, colonne, trame, ...)

- Peut être constant (Fixed Pattern Noise)

Les deux derniers sont créés dans le capteur (défauts de fabrication, bruit de lecture, ...) et sont relativement négligeable avec les capteurs récents.

Reste le bruit blanc, dû à deux sources principales...

Bruit photonique

Fluctuations aléatoires dans le nombre de photons arrivant sur un pixel

Source de bruit principale dans le domaine de la photographie, particulièrement à basse lumière

Bruit thermique

Fluctuations aléatoires dans le nombre de couples électron/trou générés par le rayonnement thermique

Dominant dans les parties très sombres de l'image et en cas de temps de pose très élevé (astrophoto)

Les deux sont des bruits « de grenaille » et suivent un processus de Poisson

$$P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$$

Signal (espérance): λ

Bruit (écart type): $\sqrt{\lambda}$

Rapport signal sur bruit (RSB): $\sqrt{\lambda}$

Plus on capte de photons, plus le RSB est élevé.

Soit N_P l'espérance du nombre d'électrons générés par des photons arrivant sur le pixel. Soit N_T l'espérance du nombre d'électrons générés par le rayonnement thermique.

Signal dans le pixel : $N_P + N_T$

Bruit dans le pixel : $\sqrt{N_P + N_T}$

N_T est un faux signal (bruit thermique). Il est mesuré à l'aide de pixels cachés au bord du capteur et soustrait du signal observé. Mais ses fluctuations restent dans le signal.

Signal en sortie du capteur : N_P

Bruit en sortie du capteur : $\sqrt{N_P + N_T}$

Des différents gains sont appliqués au niveau des pixels et dans le convertisseur A/N.

Signal après conversion : $x = g \cdot N_P$ [ndg]

Bruit après conversion : $n = \sqrt{g \cdot x + g^2 \cdot N_T}$ [ndg]

Courbe de bruit

Le bruit et le RSB sont approximativement proportionnels à la racine du niveau de gris.

Le bruit est proportionnel à la racine du gain appliqué, c.-à-d. à la sensibilité : plus le « ISO » est élevé, plus il y a du bruit.

Dans la chaîne de traitement, le bruit est modifié de multiple façons (dématriçage, balance des blancs, débruitage, ...).

Les pixels voisins sont corrélés, le bruit initialement blanc devient du grain.

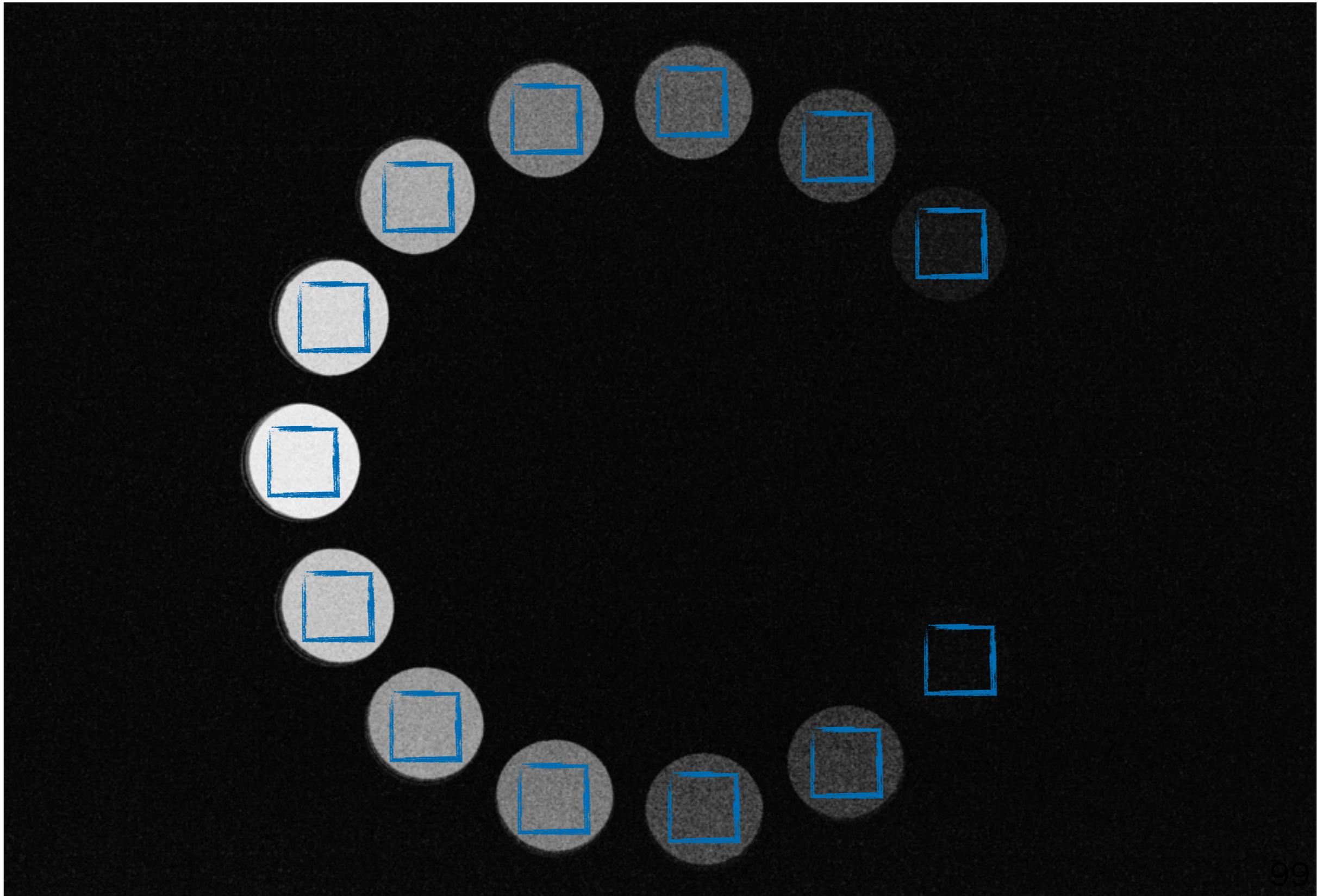
Mais la courbe de tonalité a un impact relativement prédictible sur l'amplitude du bruit :

Signal après courbe : $y = x^{0.455}$

Bruit après courbe : $m = \sqrt{0.2 g y^{-0.2} + 0.2 g^2 N_T y^{-2.4}}$

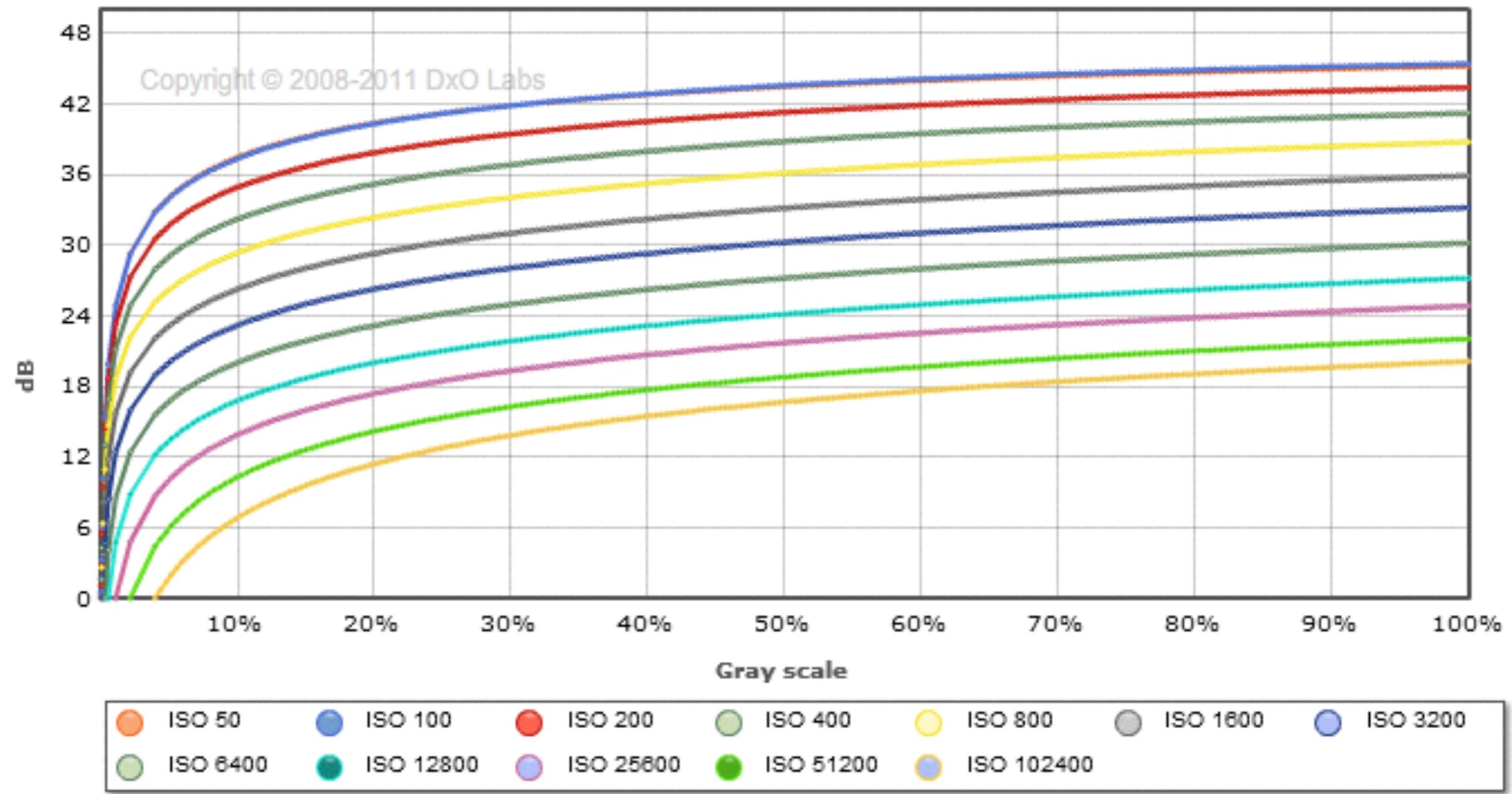
Le bruit en sortie est approximativement indépendant du niveau de gris mais toujours proportionnel à \sqrt{g} .

- Dans une zone homogène, calculer la moyenne et l'écart type des niveaux de gris.
- Effectuer ce calcul à des différents niveaux de gris pour connaître toute la courbe de bruit.
- Pour réduire l'impact du vignettage et de l'éclairage, utiliser des zones pas trop grandes et soustraire un plan de régression plutôt que la moyenne dans le calcul de l'écart type.
- Mesurer la fonction d'auto-corrélation pour connaître la taille de grain
- Visualisation



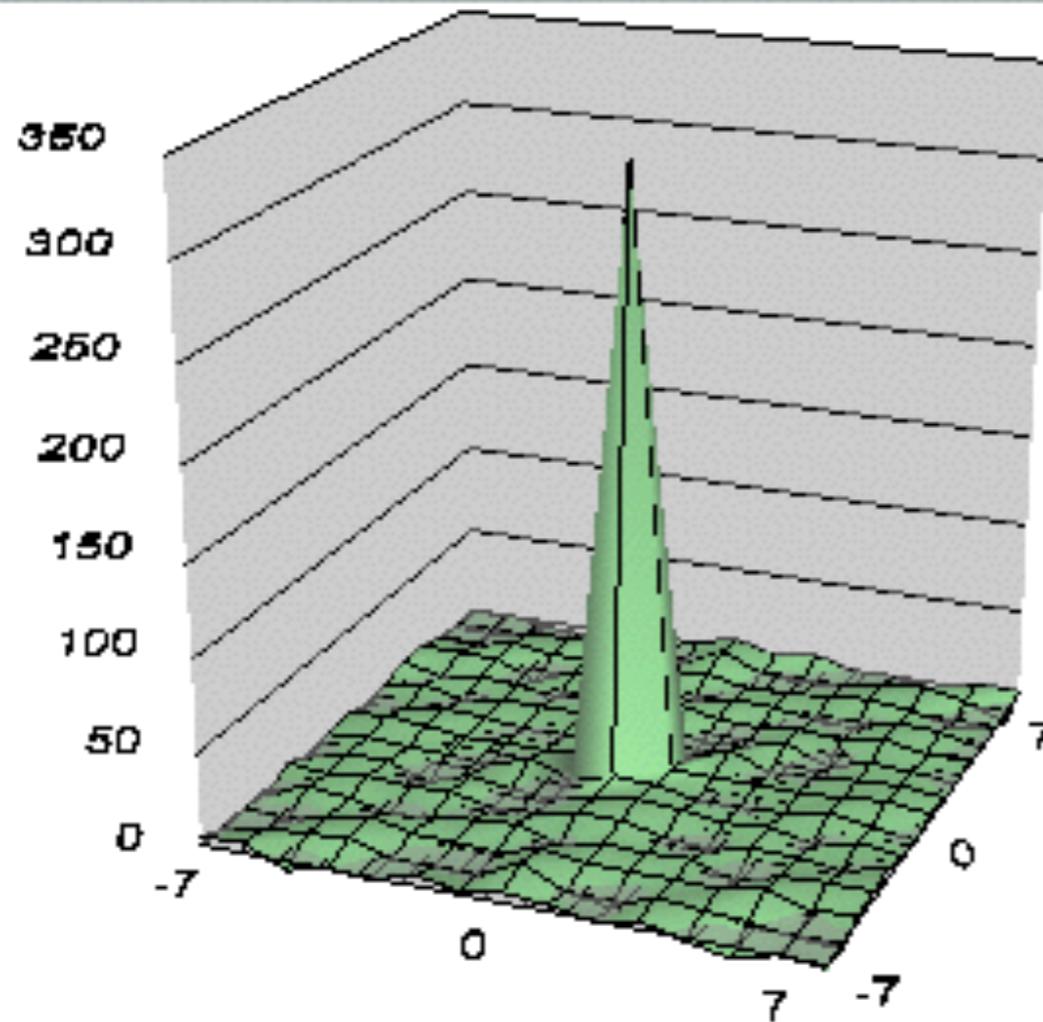
- Dans une zone homogène, calculer la moyenne et l'écart type des niveaux de gris.
- Faire ce calcul à des différents niveaux de gris pour connaître toute la « courbe de bruit ».
- Pour réduire l'impact du vignettage et de l'éclairage, utiliser des zones pas trop grandes et soustraire un plan de régression plutôt que la moyenne dans le calcul de l'écart type.
- Mesurer la fonction d'auto-corrélation pour connaître la taille de grain
- Visualisation

SNR Linear



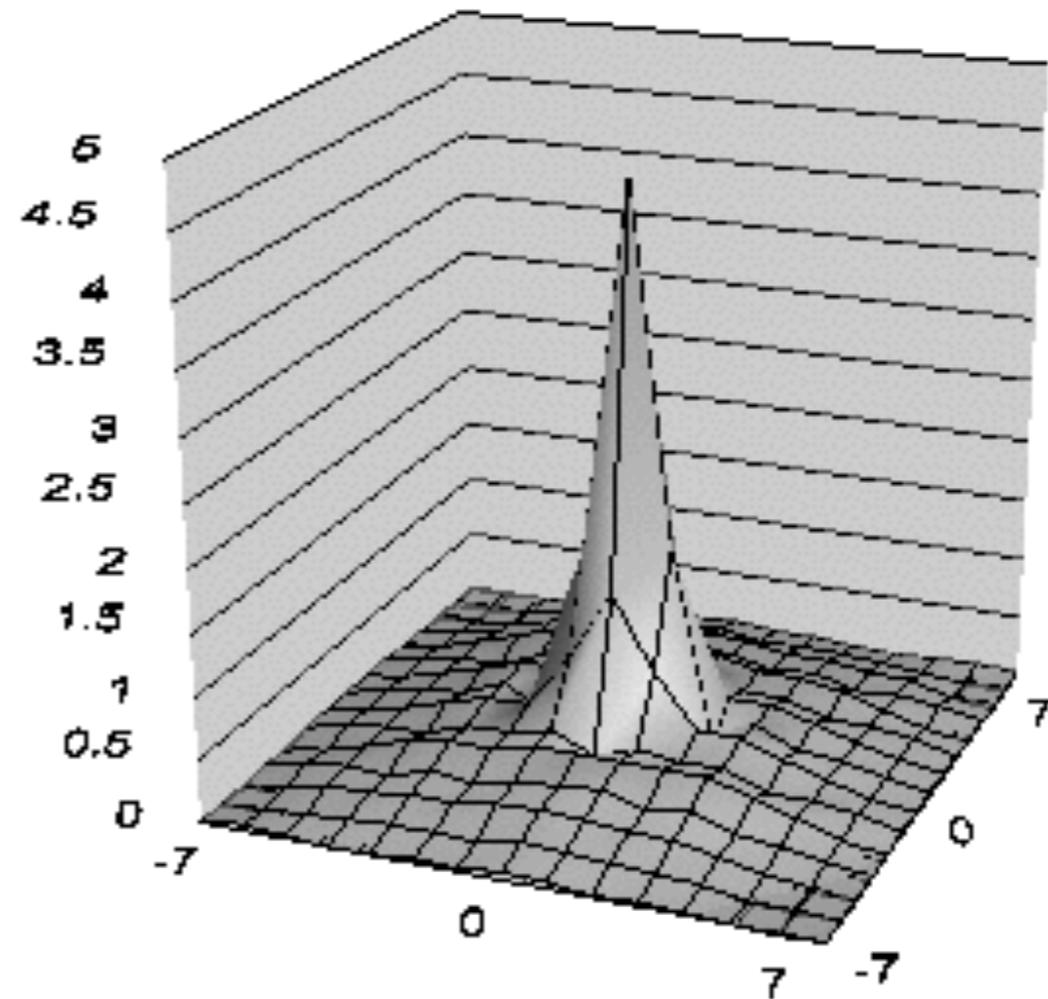
Mesurer le bruit Visualisation des mesures

3d View



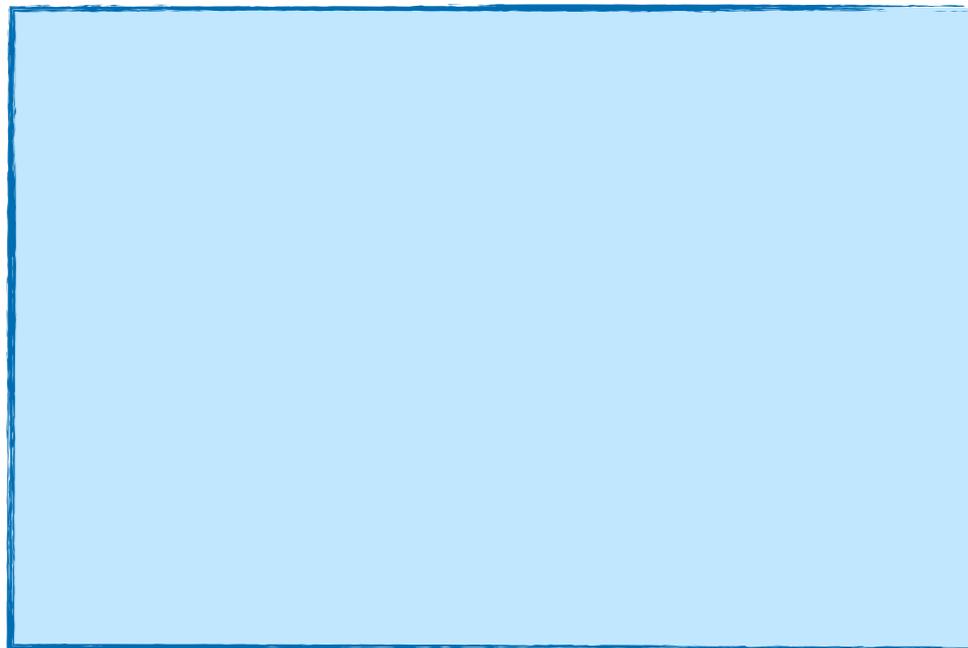
RAW (sans débruitage)

3d View



JPEG (après débruitage)

En numérique, avec des capteurs minuscules par rapport à une pellicule, on a intrinsèquement plus de bruit.



Pellicule 35mm
Reflex plein format

 iPhone 5

Mais en numérique, il y a le débruitage, bien sûr !

Modèle de bruit en fonction du niveau de gris et de la couleur basé sur des mesures.

Pourquoi le débruitage est plus compliqué que la correction des défauts optiques et du piqué :

Les caractéristiques optiques sont reproductibles.

Le bruit ne l'est pas. On peut calibrer son espérance, l'écart type, mais chaque instance sera différente.

Le débruitage doit estimer, pour chaque pixel de chaque image, ce qui est du bruit et ce qui est du signal.

Cette estimation, basée sur des données bruitées, est elle-même bruitée.

Pas de débruitage sans perte de détails.



Les algorithmes de débruitage et de rehaussement de piqué sont un véritable défi pour la mesure, car ils s'adaptent au contenu de l'image.

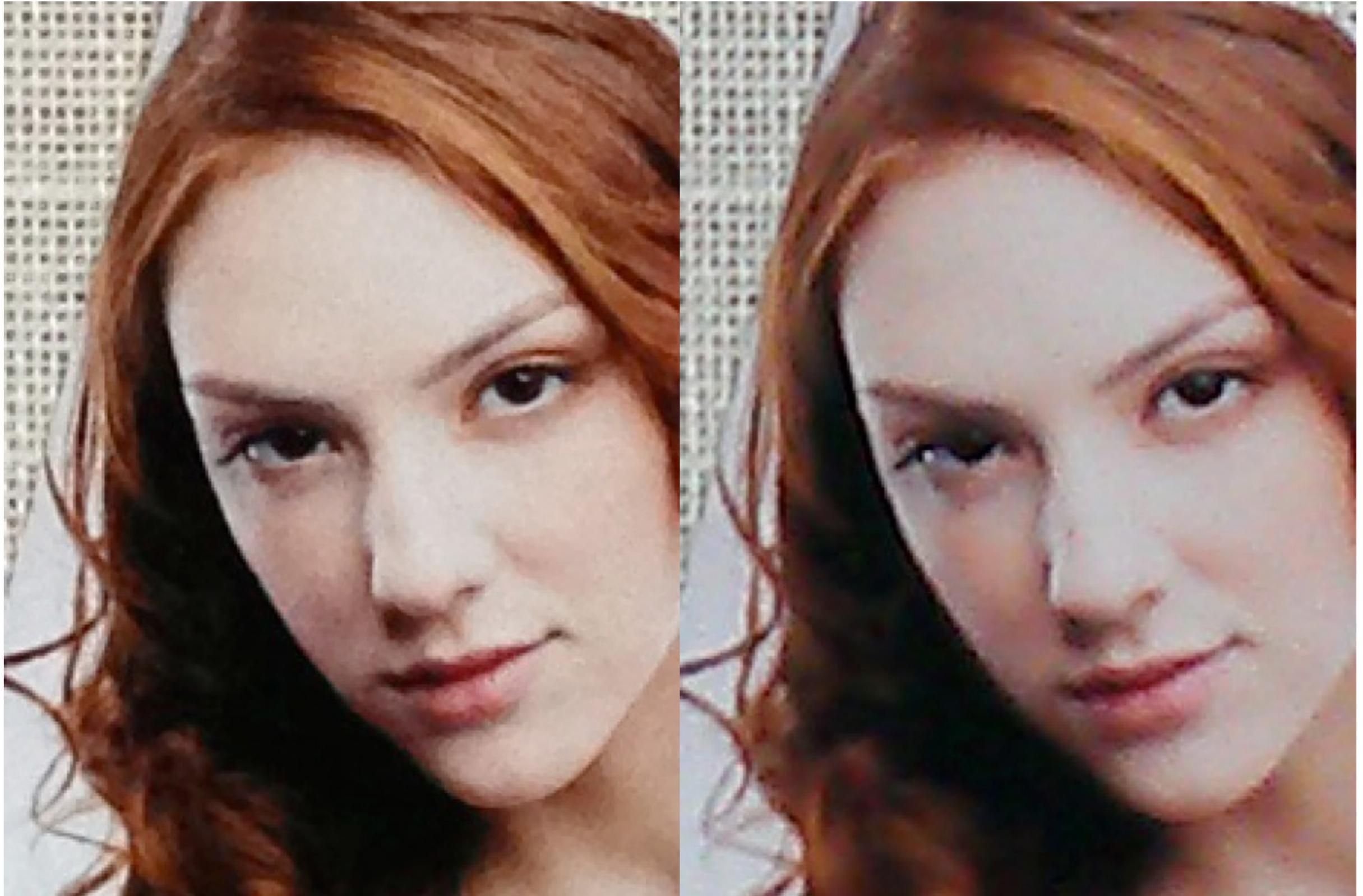
La partie difficile pour le débruitage sont ni les contours isolés ni les zones homogènes, mais les textures.

Les mesures de FTM et de RSB décrites ci-dessus se font avoir même par les algorithmes les plus basiques et ne sont plus d'indicateurs fiables de la qualité d'image.

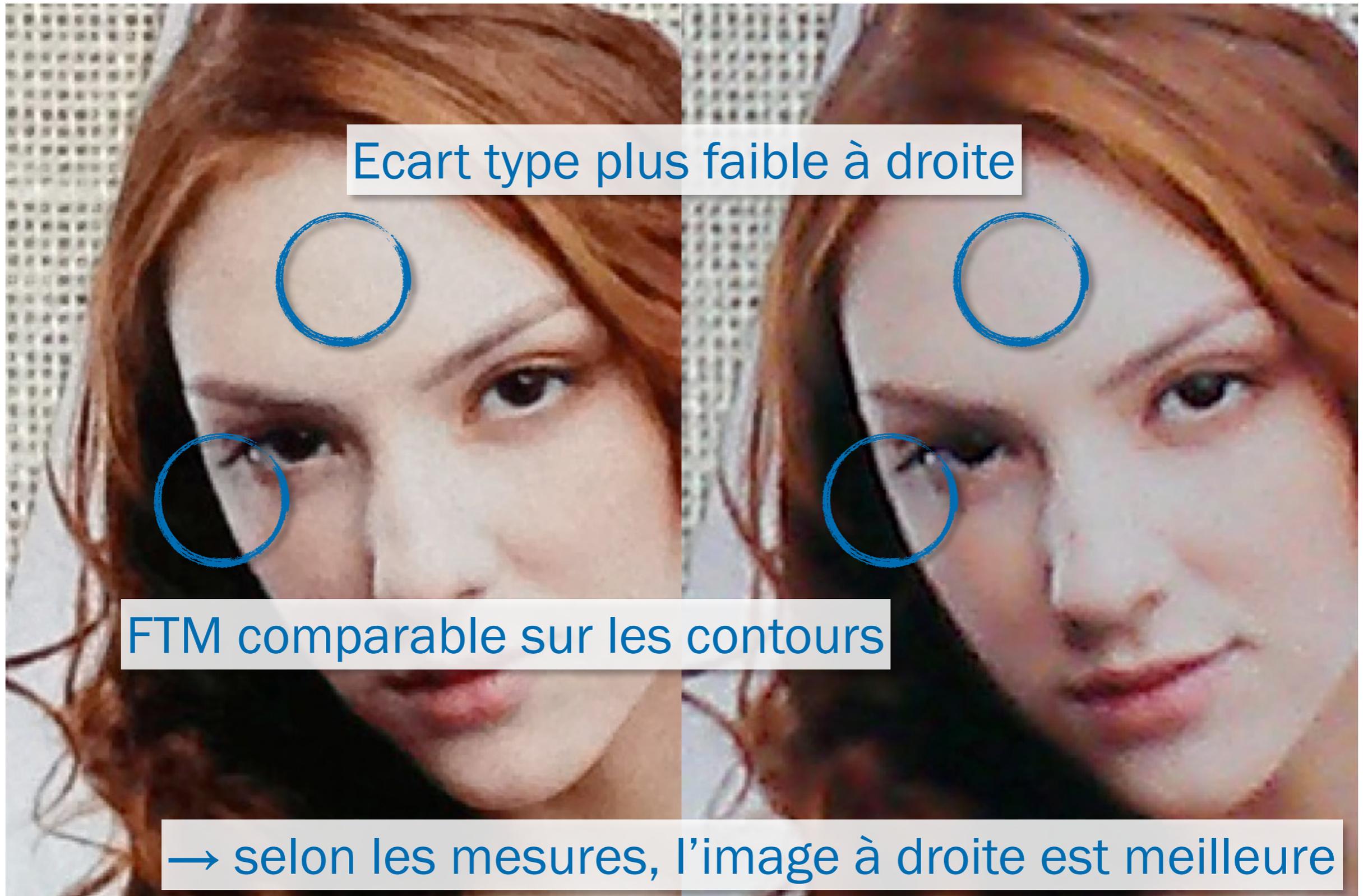
Elles restent cependant pertinentes sur les données RAW pour comparer la performance brute des optiques ou capteurs.

www.dxomark.com

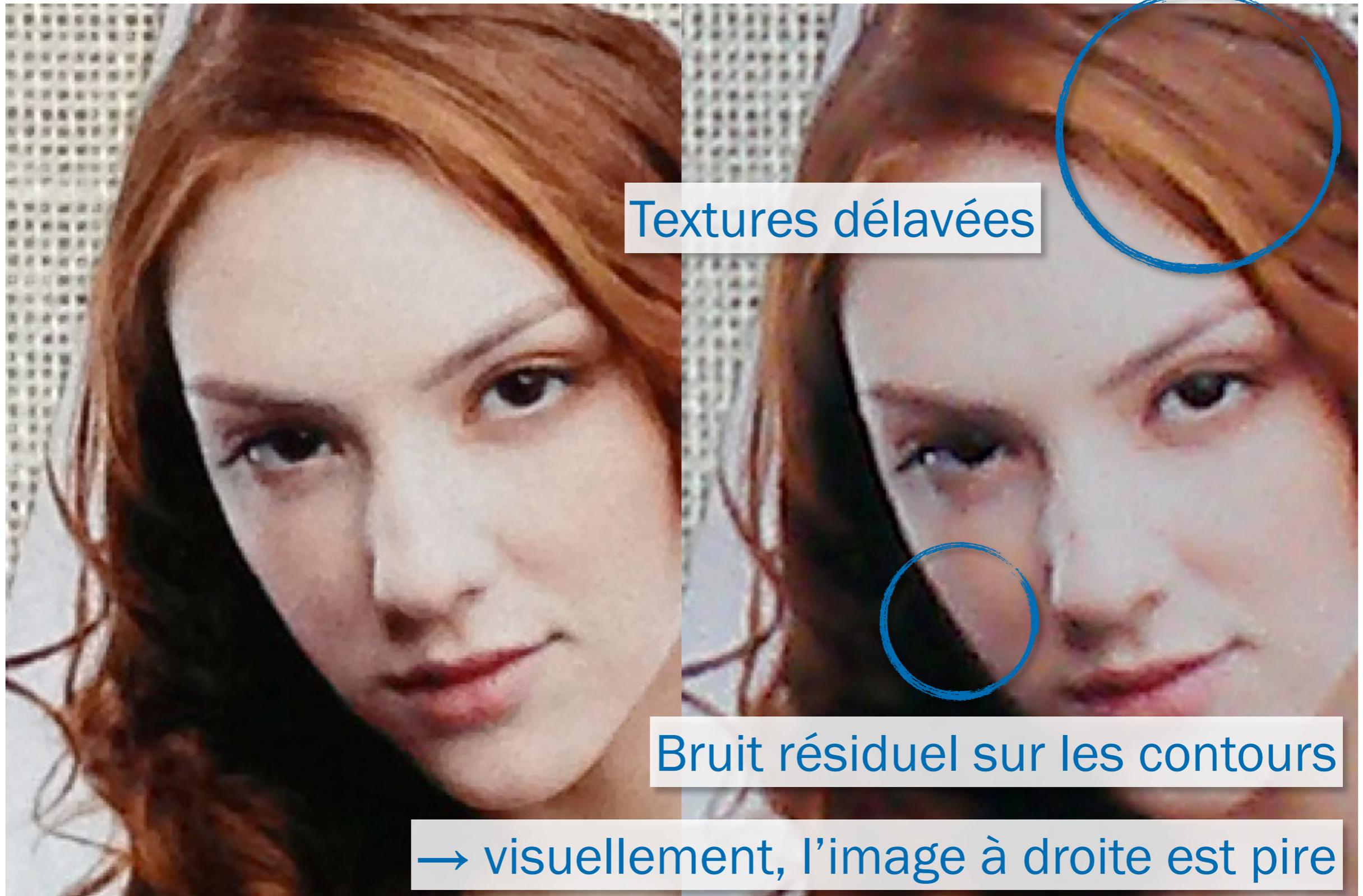
Comparatif entre deux smartphones 8 mégapixels



Comparatif entre deux smartphones 8 mégapixels



Comparatif entre deux smartphones 8 mégapixels



La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures

Mesurer le PSNR sur de vraies images (Lena, peppers, ...).

Nécessite de connaître l'image sans bruit.

En pratique, on ne la connaît jamais (éclairage, cadrage, exposition, ...)

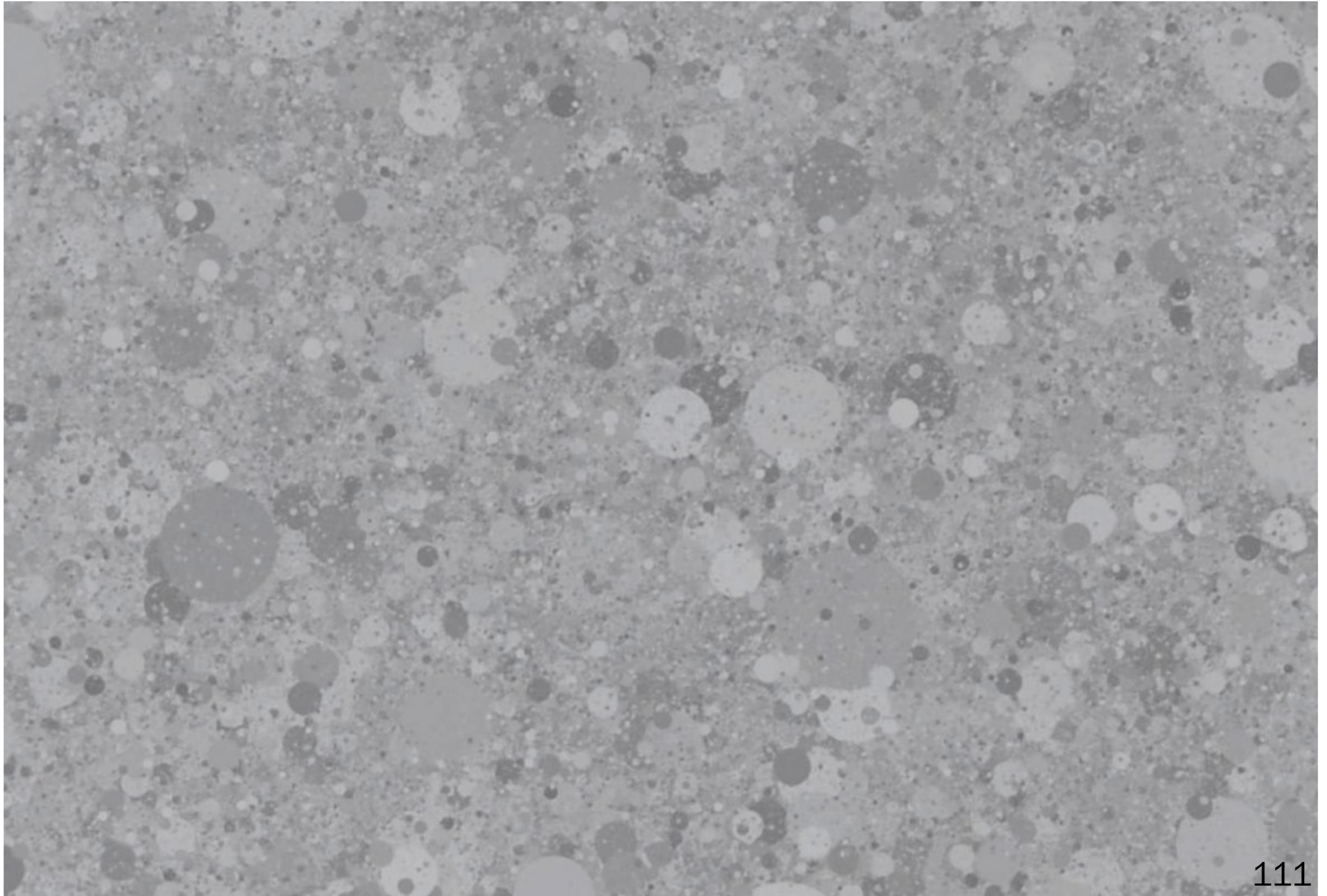
Une mire permet de faire abstraction de ces paramètres.

On cherche donc une « mire de texture » qui

- reste assez graphique pour permettre cette abstraction ;
- ressemble suffisamment à une vraie image pour que les performances d'un débruitage sur la mire soient représentatives de ses performances sur une vraie image.

La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures



La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures

Statistiquement invariant par
rotation,
translation,
changement d'échelle (fractal).

Contient des contours nets.

Contient des différents niveaux de contraste.

Possède une densité spectrale de puissance (DSP)
connue :

Loi de puissance,
comme une image naturelle.

La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures

Calcul de la transformée de Fourier dans la zone de feuilles mortes observée (radialement symétrique)

Moyenner sur toutes les directions et élever au carré donne la DSP

Normalisation avec la DSP théorique

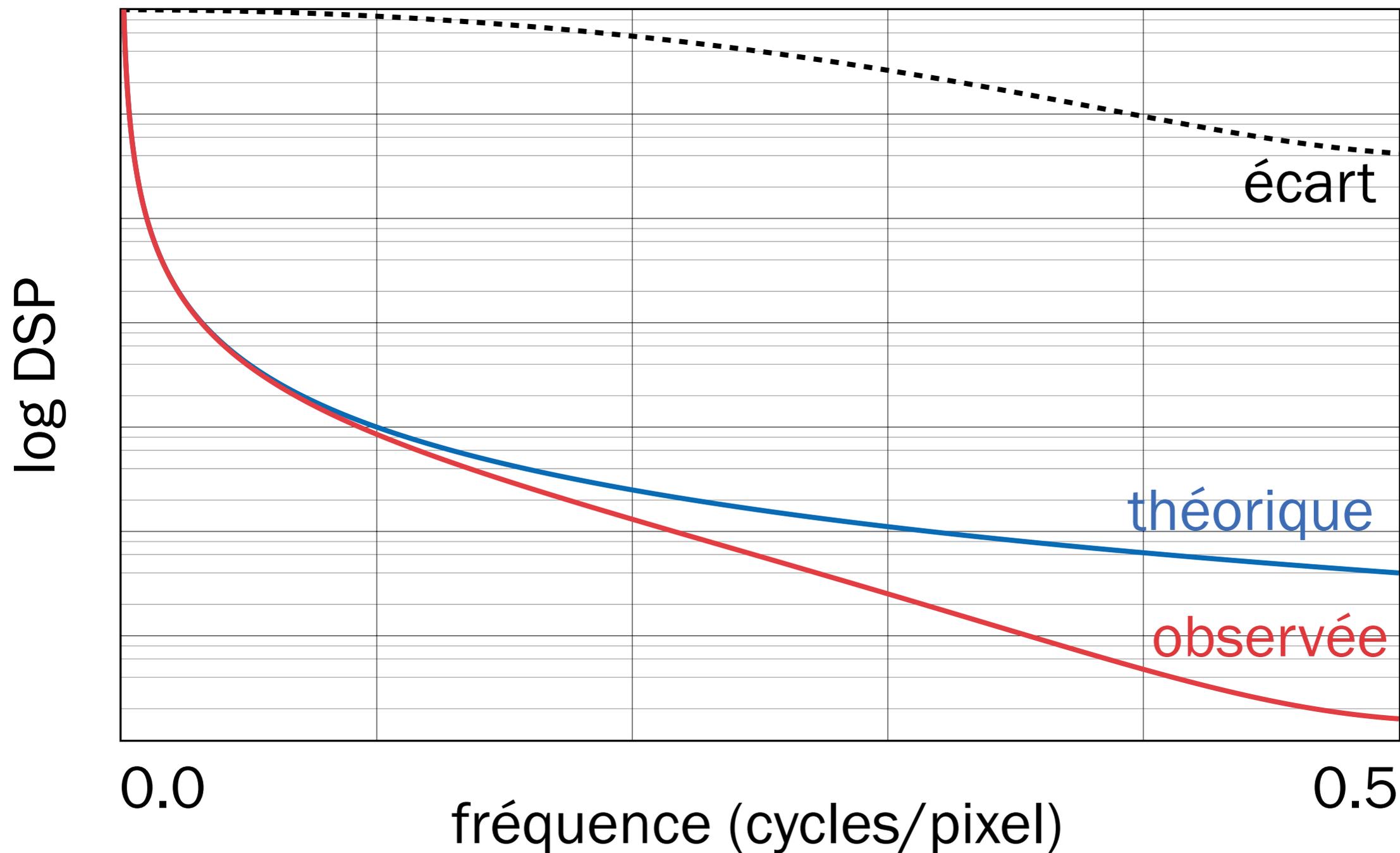
Extraire la racine pour obtenir pour chaque fréquence le rapport entre l'observation et la valeur théorique

... mais cela, ce n'est rien d'autre que la FTM !

$$FTM(f) = \sqrt{\frac{DSP_{\text{mesurée}}(f)}{DSP_{\text{théorique}}(f)}}$$

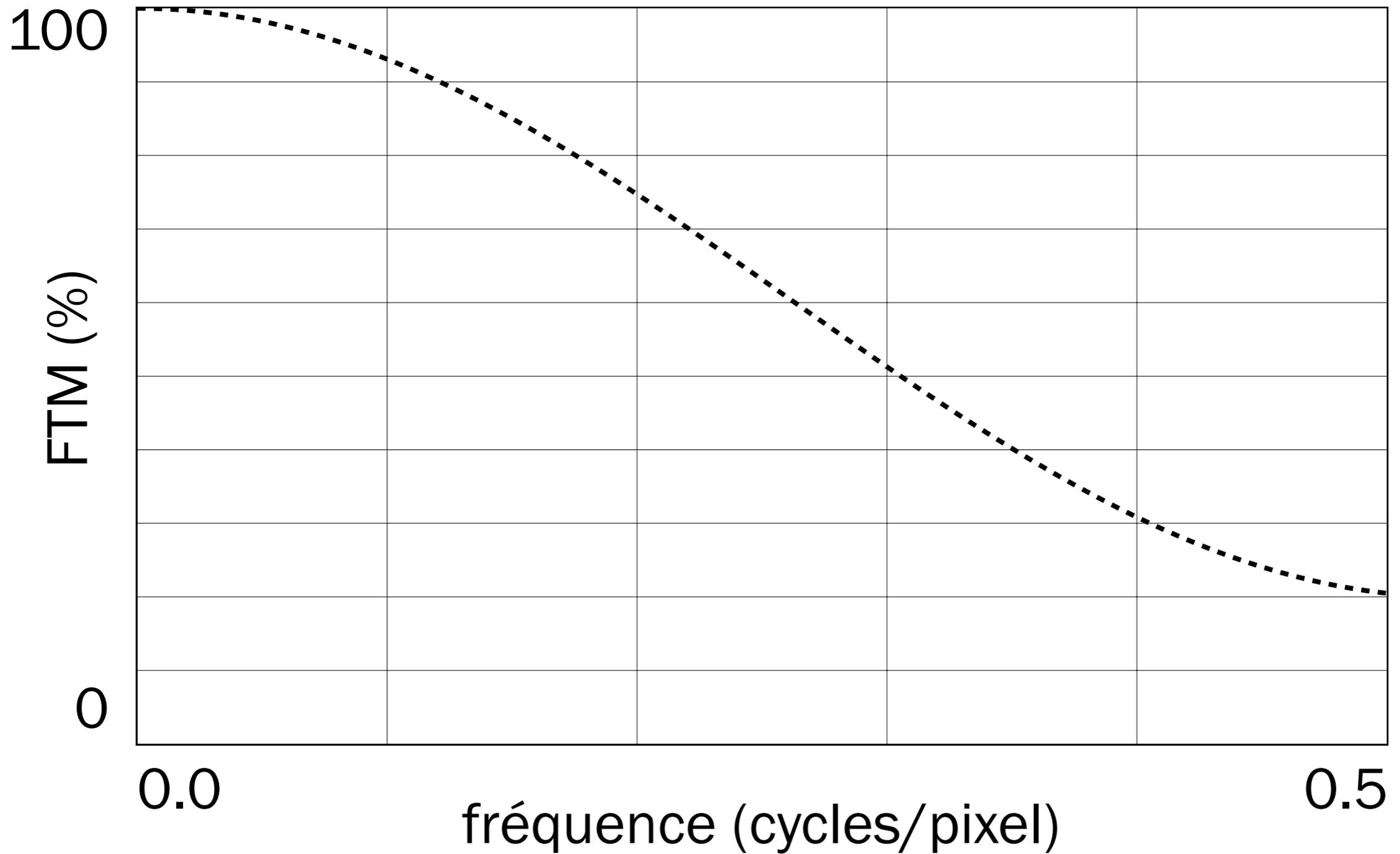
La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures



La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures



La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures

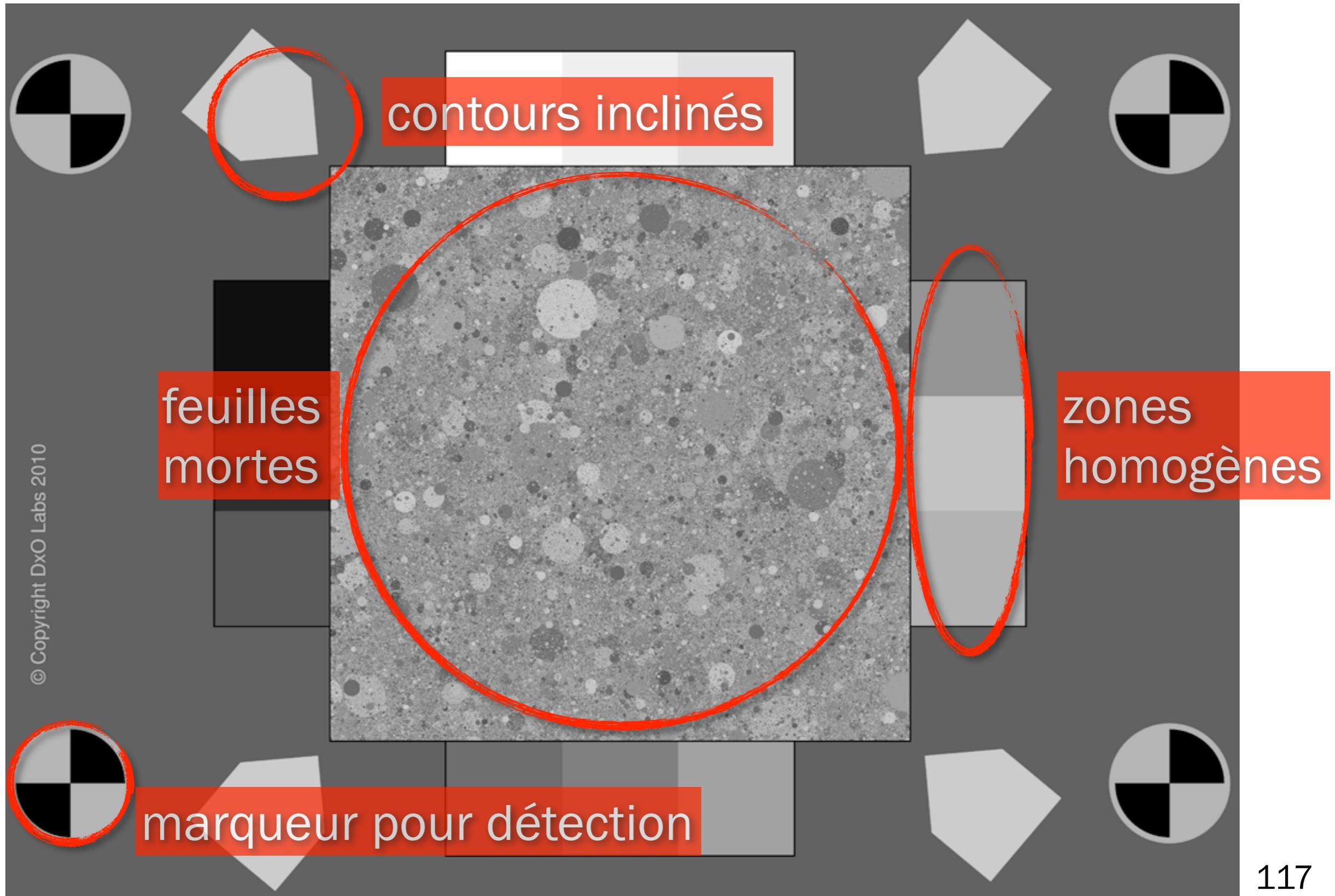
Sans traitements, les deux façons de mesurer la FTM devraient nous amener au même résultat.

S'il y a une différence, celle-ci est due au fait que le traitement sur les contours isolés et sur les textures n'a pas été le même.

L'écart entre les deux est une indication pour la quantité de détails perdus dans le débruitage.

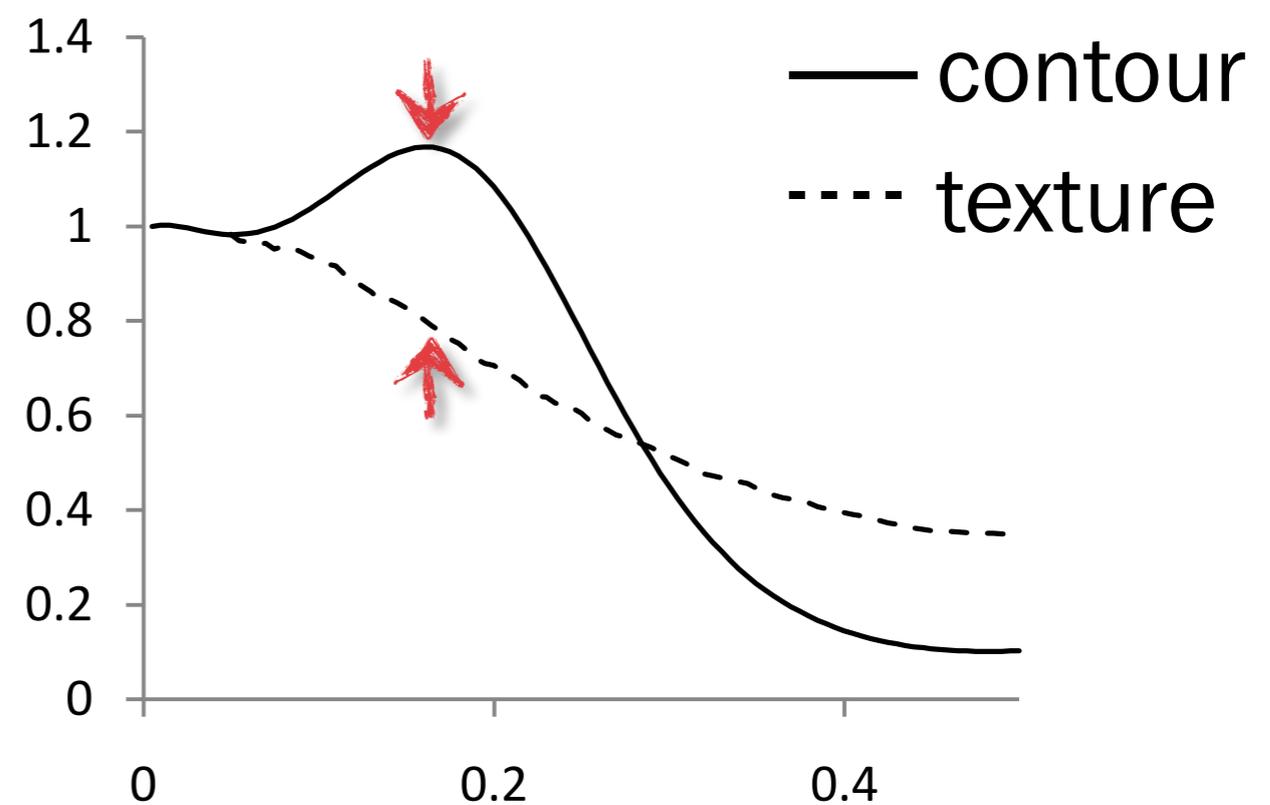
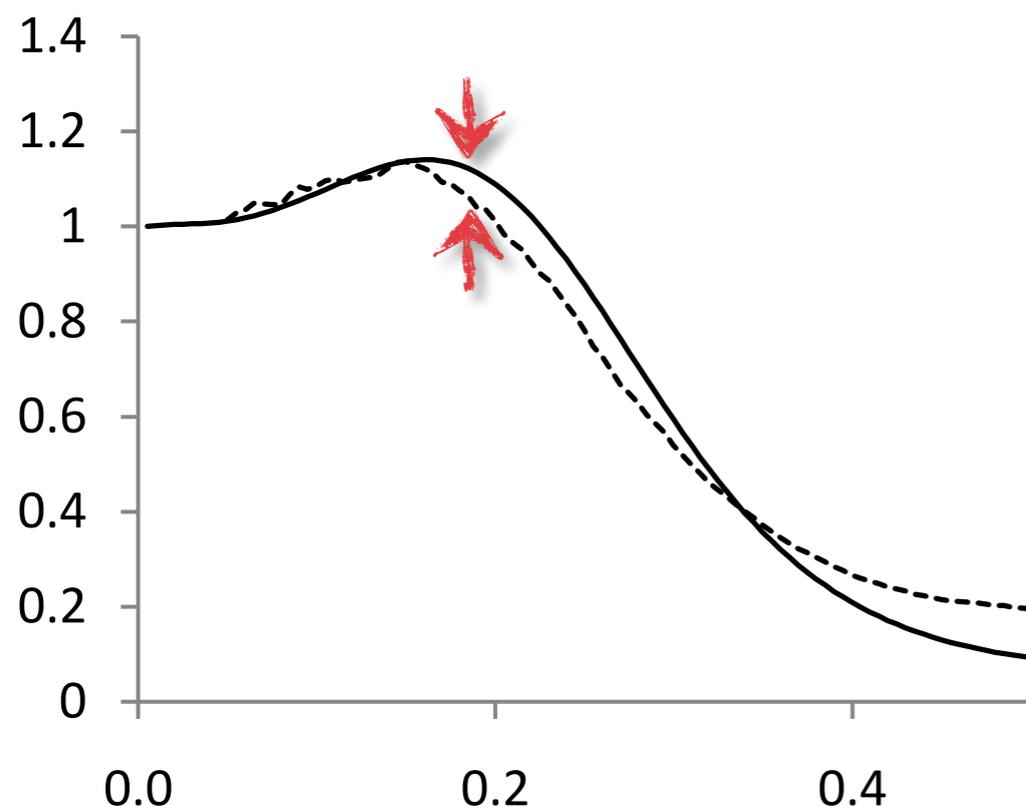
La mire de feuilles mortes

Mesure de préservation de textures



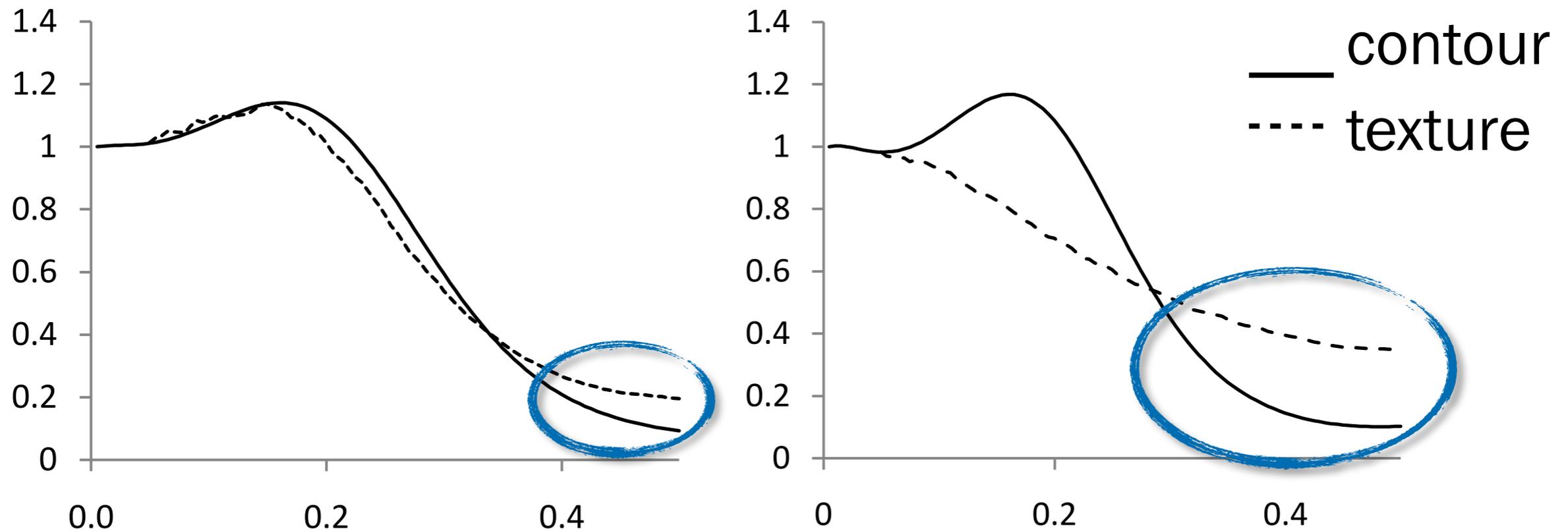
Comparatif entre

- le Nikon D3 (boîtier reflex, à gauche) et
- le Nokia N80 (téléphone de 2006, à droite)



Pour le Nikon, les deux courbes sont relativement proches : les contours de la texture sont traités comme de vrais contours. Pour le téléphone, ce n'est pas le cas.

Mais on note encore une chose...



La mesure de FTM sur les textures est plus sensible au bruit et a tendance à exagérer la FTM pour les hautes fréquences.

Besoin de compenser (sinon, rajouter du bruit à l'image améliore la mesure...).

La DSP mesurée sur les feuilles mortes contient et les détails de l'image et le bruit.

Sur une image RAW, le bruit est blanc, la DSP est donc constante.

Après le traitement, elle peut être quelconque.

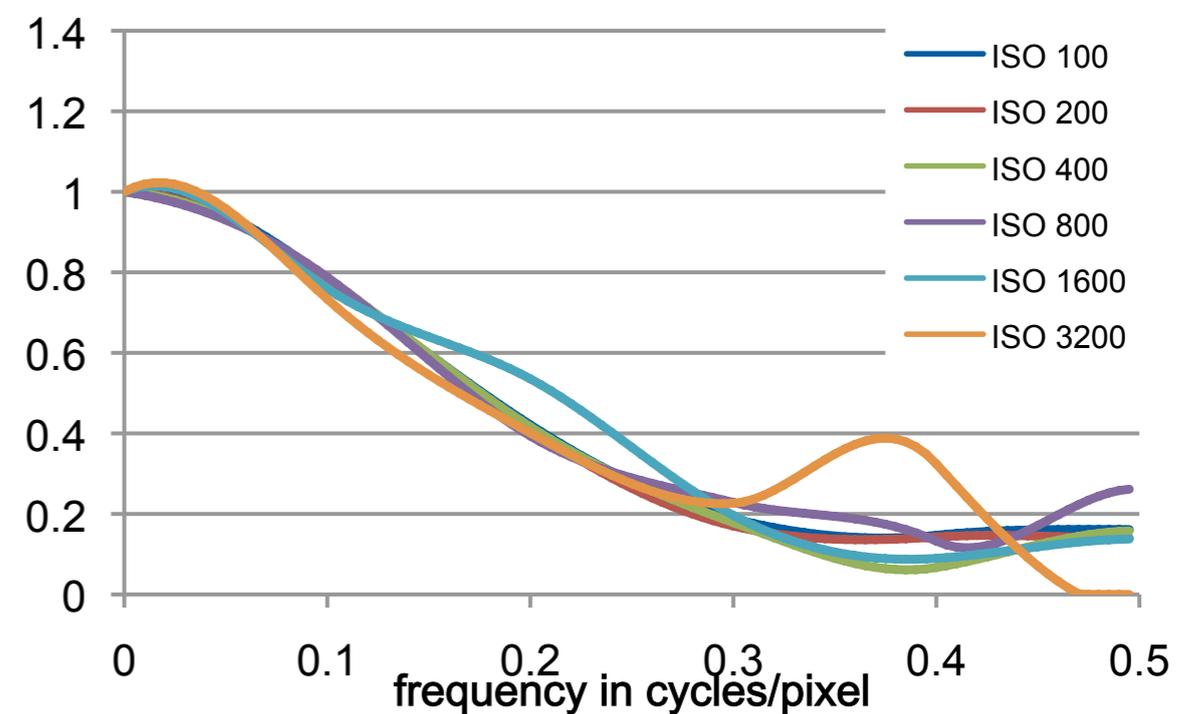
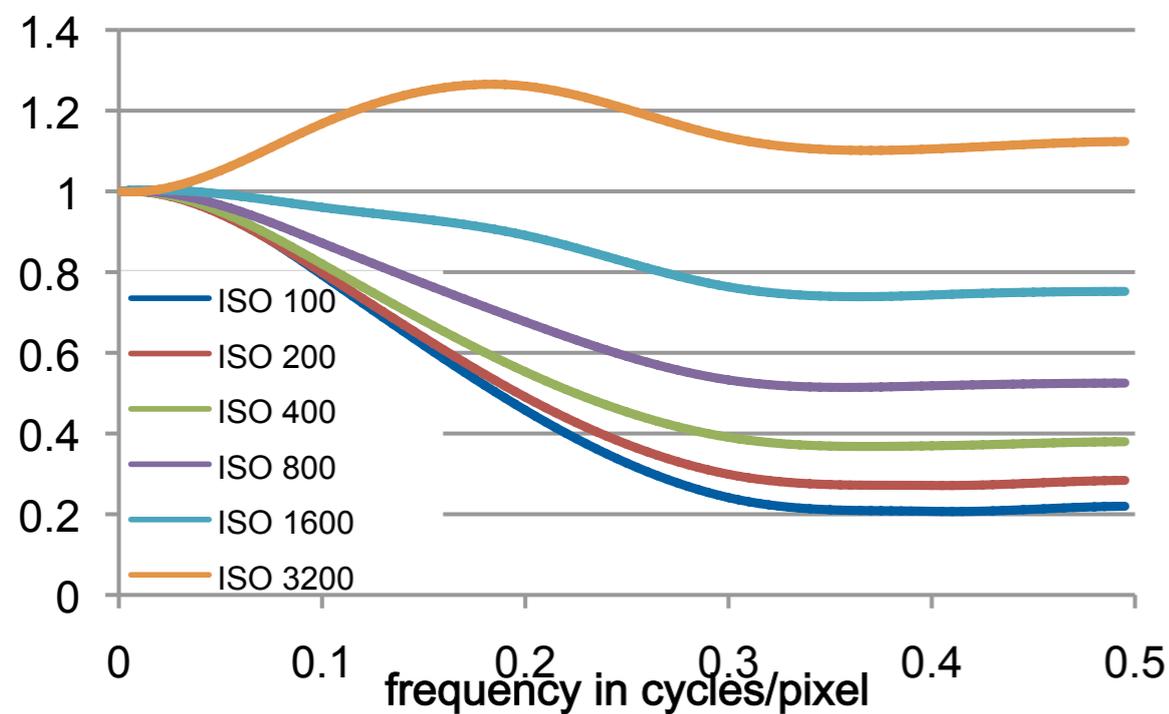
Approximation : le bruit sur la mire de feuilles mortes est identique à celui dans les zones homogènes.

Mesurer la DSP du bruit dans une zone homogène.

Soustraire cette DSP de la DSP mesurée.

$$FTM(f) = \sqrt{\frac{DSP_{\text{mesurée}}(f) - DSP_{\text{bruit}}(f)}{DSP_{\text{théorique}}(f)}}$$

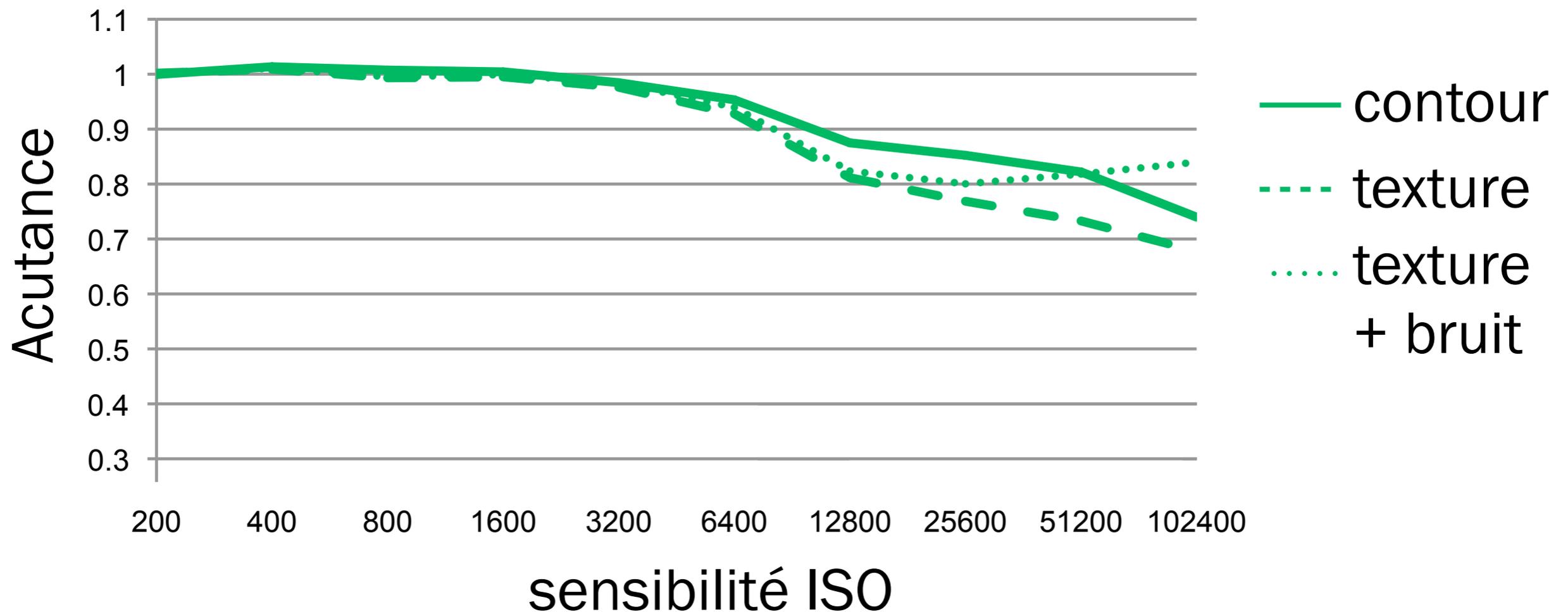
Validation sur des images traitées avec un traitement basique (sans débruitage):



Sans compensation, la FTM augmente avec la sensibilité.
Après compensation, les courbes se superposent.

Acutance en fonction de la sensibilité

Nikon D3s 50mm f/5.6



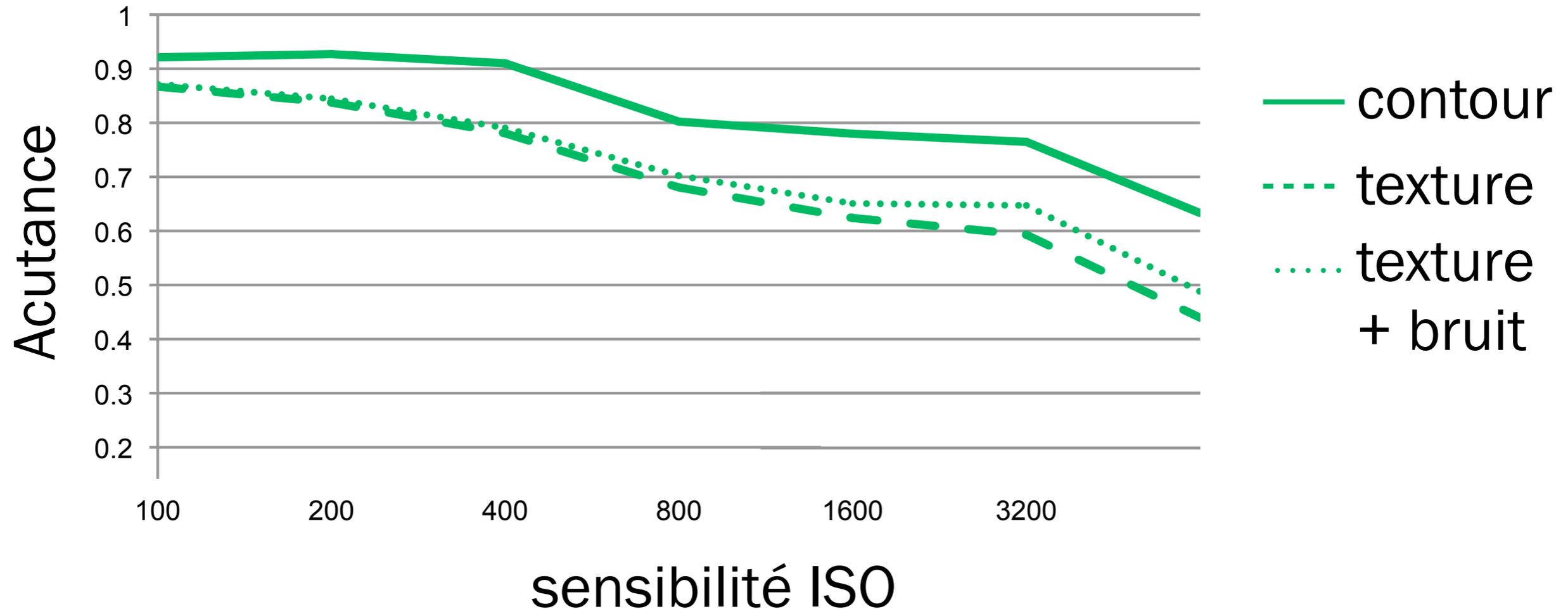
Très haute acutance jusqu'à ISO 6400

Perte de texture/transitions à partir d'ISO 12800

Augmentation du bruit à partir d'ISO 25600

Acutance en fonction de la sensibilité

Panasonic G2

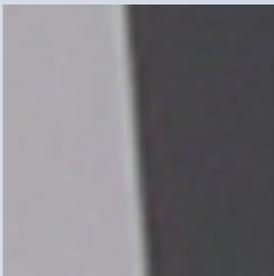
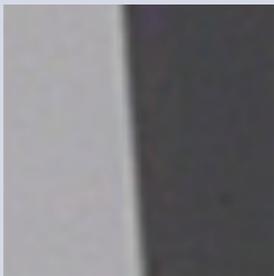
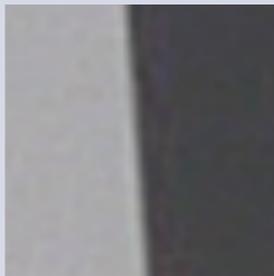
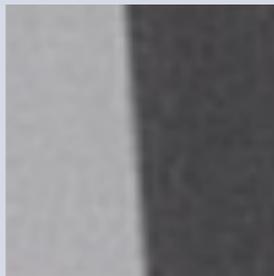
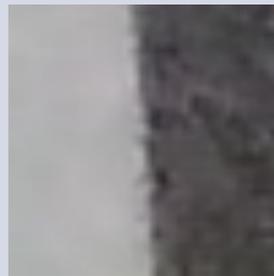
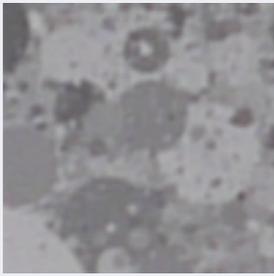
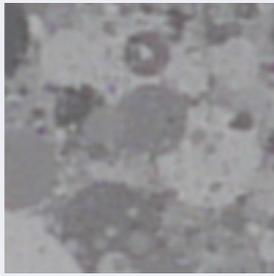
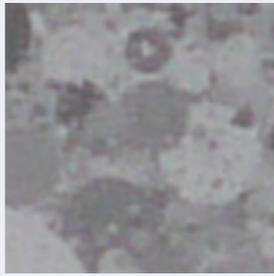
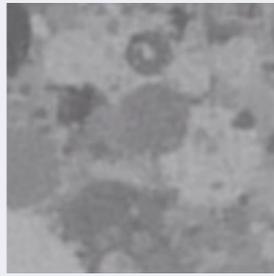
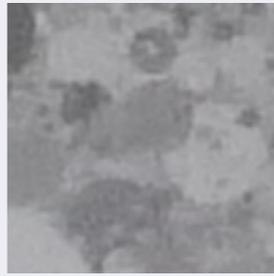
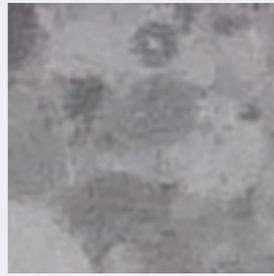


Perte d'acutance dès ISO 400

Différence importante entre texture et transition

Perte de texture très importante à ISO 6400

Panasonic G2

ISO	100	200	400	800	1600	3200	6400
Edge							
Texture							

Perte d'acutance dès ISO 400

Différence importante entre texture et transition

Perte de texture très importante à ISO 6400

1. Introduction au sujet
 - a. DxO Labs
 - b. La photographie numérique
 - c. La qualité d'image
2. Quelques caractéristiques à évaluer
 - a. Les défauts optiques
 - b. Le piqué
 - c. Le bruit
3. Résumé

La mesure de la qualité d'image a deux objectifs :
l'évaluation de la qualité des appareils et
de corriger les défauts numériquement.

Nous avons vu des approches pour mesurer, quantifier et
corriger numériquement dans trois domaines :

les défauts optiques ;

le piqué et

le bruit.

Les corrections numériques rendent l'évaluation de la
qualité plus compliquée, ce qui nécessite le
développement de nouvelles mesures et métriques.

Questions ?

- whauser@dxo.com

DxO recrute !

- Stage et 1^{er} emploi
- www.dxo.com

Fonctionnement des appareils photo numériques en général

Nakamura, J., “Image Sensors And Signal Processing For Digital Still Camera,” CRC Press, 2006.

Mesures de qualité d'image d'appareils photos du commerce (reflex, compact et caméraphones)

www.dxomark.com (plus technique)

www.dpreview.com (plus grand publique)

Quelques algorithmes « standard » de la photographie numérique

Dématriçage <http://www.ipol.im/pub/art/2011/bcms-ssdd/>

Débruitage http://www.ipol.im/pub/art/2011/bcm_nlm/

Mesure de FTM

ISO 12333, “Photography – Electronic still-picture cameras – Resolution measurements”.

Définition de la CSF

ISO 15739:2003, “Photography – Electronic still-picture imaging – Noise measurements”.

Mire de feuilles mortes

Matheron, G., “Random Sets and Integral Geometry,” John Wiley and Sons, New York 1975.

Lee, A.B. , Mumford D., Huang J., “Occlusion Models for Natural Images: A Statistical Study of a Scale-Invariant Dead Leaves Model,” IJCV 41 (1/2), 35-59, 2001.

Ruderman, D.L.. “The statistics of natural images,” Network, 5(4): 517-548, 1994.

Alvarez, L., Gousseau, Y., Morel, J.M., “The size of objects in natural and artificial images,” Advances in Imaging and Electron Physics, vol 111. Academic Press: San Diego, CA: 167-242, 1999.

Gousseau, Y., Roueff, F., “Modeling Occlusion and Scaling in Natural Images,” SIAM J. of Multiscale Modeling and Simulation, 6(1), 2007: 105-134, 2007.

Cao, F., Guichard, F., Hornung, H., “Measuring texture sharpen of a digital camera,” Proc. SPIE, Vol. 7250, 72500H (2009).

McElvain J.S., Campbell S.P, Jin E. Miller J., "Texture-based measurement of spatial frequency response using the dead leaves target: extensions, and application to real camera systems", Electronic Imaging 2010.

Cao, F., Guichard, F., and Hornung, H., “Dead leaves model for measuring texture quality on a digital camera”, Proc. SPIE, Vol. 7537, (2010).