

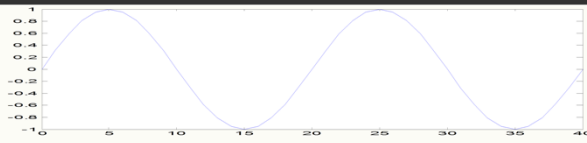
VTF

**Design de systèmes de traitement vidéo temps réel
par FPGA**

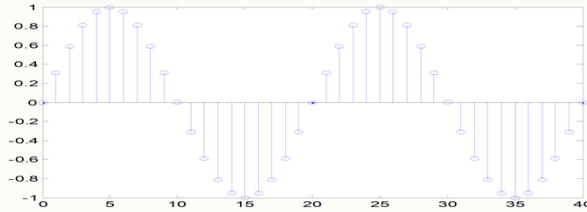
Introduction au traitement numérique du signal vidéo

Michel Starkier

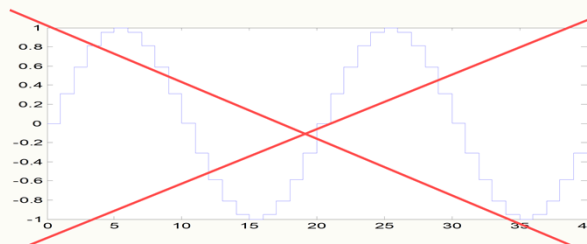
Représentation du signal



Les échantillons sont reliés par un segment de droite



Représentation des échantillons par un point. Les lignes verticales n'ont pas de signification physique.



Représente la sortie d'un DAC. Ne pas utiliser

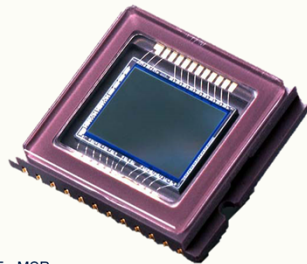
18/11/2010

VTF - MSR

4

Acquisition des images vidéo CCD

- CCD : Charge Coupled Devices
- Matrice de zones photo-sensibles (photosites)
- Transformation lumière en charge électrique
- Transferts des charges de photosites en photosites
- Echantillonnage en bout de chaîne avec un ADC



VTF - MSR
18/11/2010

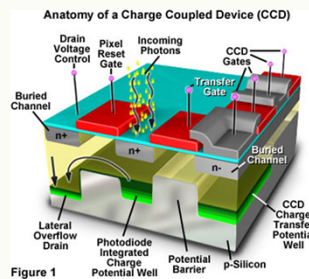


Figure 1

Image circuits today

Technologie CCD

<http://www.circuitstoday.com> - Under Creative Commons License

CCD was developed in the year 1969 by Willard Boyle and George E. Smith at AT & T Bell Labs. It is a shift register device which can be used for the movement of electrical charge within the device. This movement can be from one area of the device to another and the digital value of the moved charge can be easily found out. When the signals are moved, one at a time from one place to another within the device, the value of the charge can be easily manipulated. There are capacitive bins in the device that allow the movement of charge.

As told earlier, a CCD is used to convert a electrical signal into a digital signal. The photoactive region mainly consists of a capacitor array. These arrays can be one-dimensional or two-dimensional depending on the type of device that uses the CCD. If a line scan camera is used, it introduces a one-dimensional capacitor array. It is called 1D because it captures the image in 1D form, that is, a single slice of the image. 2D is used mostly in video applications. This device captures the image in 2D form. The photoactive region is made out of an epitaxial layer of silicon. It is made by doping a boron ion on a substrate such as p++. Sometimes CCD's are also implanted with a phosphorus ion so as to give them an n-doping. This is often carried out in devices consisting of n-channels. This is done in some areas of the silicon ion causing the movement of photo generated packets across them.

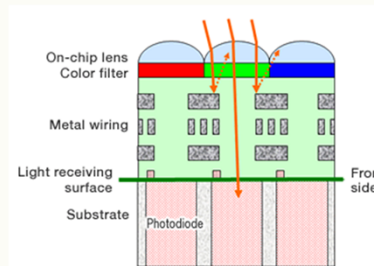
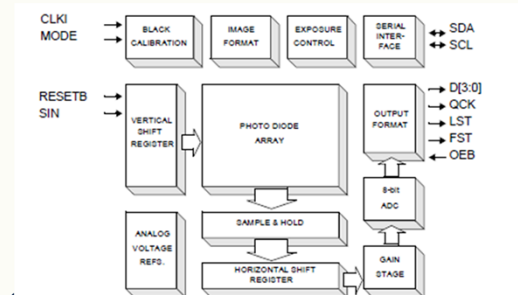
As soon as the silicon layer and substrates are made, a dielectric in the form of a gas oxide (mostly capacitor) is made to grow on top of them. Thus the separately lying gates will lie in a perpendicular angle to the channels. This is because the poly-silicon gates are undergoing chemical vapour deposition and then photolithography. Then the channel stop region and the charge carrying channel is made, and that too parallel to each other.

After the image is projected onto the capacitor array, the control circuit comes into action. This circuit makes the capacitors send the appropriate signal to a shift register. The shift register converts each signal into a voltage sequence. This is later sampled, digitized and then stored in the memory.

[Voir l'article complet pour plus d'information.](#)

Acquisition des images vidéo CMOS

- CMOS – Complementary Metal Oxide Semiconductor
- Ensemble (grille) de capteurs indépendants
- Une photodiode avec amplificateur par pixel
- Multiplexage (balayage ligne /colonne) des pixels
- Conversion numérique (ADC)



8

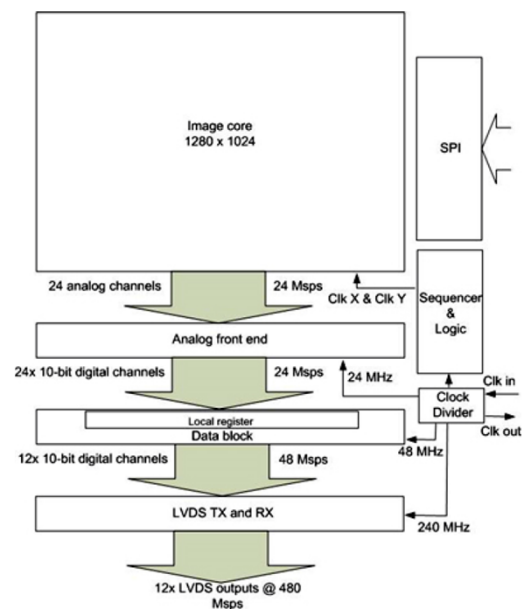
Cypress High Speed Cmos Sensor

Pieter Willems
Product Applications, Engineer,
Cypress Semiconductor

High speed image sensors are designed for use in general purpose, high end or custom high-speed cameras for applications like scientific research, crash tests, high-speed scanning, machine vision and military research. The sensors have resolutions from VGA up to 10Mpixels and some can run at 10,000 full frames per second. The outputs operate at speeds up to 50Msamples/s each, thus realizing a 5.5Gpix/sec pixel throughput -- the highest to date -- and with 10bit depth, the data throughput can be 55Gbit/sec.

High-speed CMOS image sensors are available in several types for a variety of markets, for use in general purpose, high end or custom high-speed cameras. Such cameras can be used for applications like scientific research, crash tests, high-speed scanning, machine vision and military research; all requiring high frame rate motion capturing.

[Voir l'article complet pour plus d'information.](#)



- **Théorème de Nyquist-Shannon :**
La fréquence d'échantillonnage d'un signal doit être égale ou supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans ce signal
- **Si la règle ci-dessus n'est pas respecté, il se produit un phénomène appelé aliasing ou repliement du spectre :**
 - Le signal échantillonné est incorrect
 - Il restera incorrect après conversion DA et filtrage
 - Le signal contient toutes les parties du signal dont la fréquence est supérieure à $\frac{F_s}{2}$, mais transposées (repliés) à des fréquences inférieures à $\frac{F_s}{2}$

Harry Nyquist (7 février 1889 - 4 avril 1976) a été un important contributeur à la théorie de l'information et à l'automatique.

Il est né à Nilsby en Suède. Il émigra vers les États-Unis en 1907 et entra à l'université du Dakota du Nord en 1912. Cinq ans plus tard, il fut reçu comme docteur en physique à l'université Yale. Après avoir travaillé de 1917 à 1934 chez AT&T, il partit pour les laboratoires Bell.

Aux Bell Labs, il fit des recherches sur le bruit thermique appelé également «bruit de Johnson-Nyquist» et sur la stabilité des amplificateurs bouclés. Ses travaux théoriques sur la détermination de la bande passante nécessaire à la transmission d'information, publiés dans l'article. Certains de ces travaux préfigurent les recherches de Claude Shannon qui amèneront la théorie de l'information. (Source Wikipedia).

Claude Elwood Shannon (30 avril 1916 - 24 février 2001) est un ingénieur électricien et mathématicien américain. Il est l'un des pères, si ce n'est le père fondateur, de la théorie de l'information.

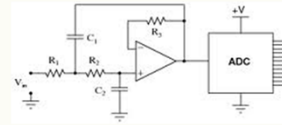
Il étudia le génie électrique et les mathématiques à l'Université du Michigan en 1932. Il utilisa notamment l'algèbre booléenne pour sa maîtrise soutenue en 1938 au Massachusetts Institute of Technology (MIT). En 1940, il obtint un doctorat en mathématique.

Shannon travailla vingt ans au MIT, de 1958 à 1978. Parallèlement à ses activités académiques, il travailla aussi aux laboratoires Bell de 1941 à 1972.

Auteur de plusieurs ouvrages, il a également rédigé plus d'une centaine de publications dans des domaines aussi variés que la théorie de la communication, la théorie de l'information, la cryptographie, les calculateurs, les circuits et les jeux. (Source Wikipedia).

Aliasing : Filtrage avant échantillonnage

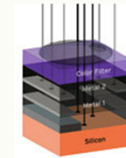
- Filtre passe-bas analogique
- Filtrage passe-bas optique (flou)



- Filtrage par moyennage en entrée de pixel
- La lumière parvenant à un pixel d'un capteur ne provient pas d'un point unique, mais de plusieurs :

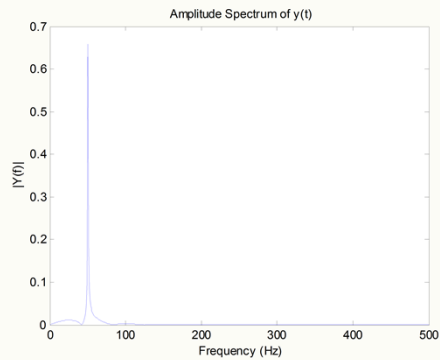
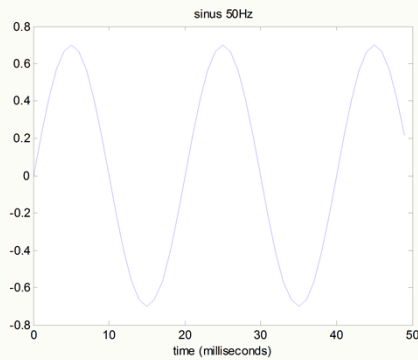
$$L_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$$

 *n pixels*



Aliasing : représentation fréquentielle

- Représentation d'un signal dans le domaine fréquentiel (FFT), limité à la fréquence max ($F_s/2$) :
- Exemple : $F_s = 1\text{KHz}$, $F_{\text{max}} = 500\text{KHz}$
- $\text{Period} = 20\text{ms} \Rightarrow F = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = 50\text{ Hz}$



18/11/2010

VTF - MSR

11

Normalisation de la fréquence

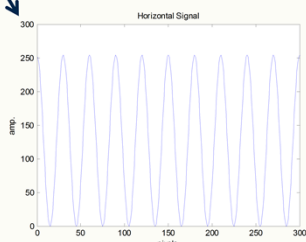
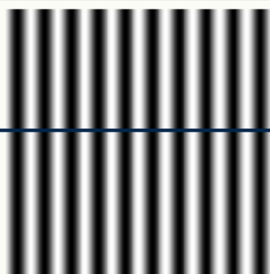
- La fréquence maximale d'un signal échantillonné (la moitié de la fréquence d'échantillonnage) est normalisée à 1 et exprimée en π radians / sample
- A la fréquence $\frac{F_s}{2}$
1 cycle (soit 2π radians) \Leftrightarrow 2 échantillons
- Pour une image, la fréquence normalisée peut être exprimée en π radians / pixels

Analyse fréquentielle de l'image

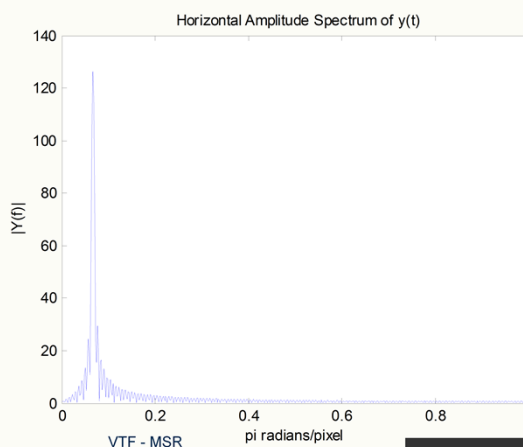
Sinus horizontal
Amp. crête : 127

Image : 300x300 pixels
Période du sinus : 30 pixels

$$F = \frac{2}{30} = 0.066 \text{ pi rad./pixel}$$

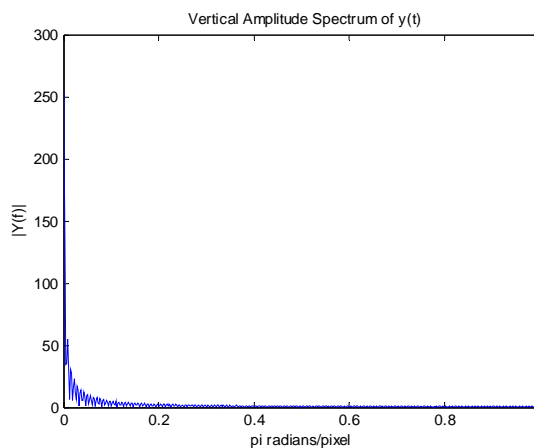
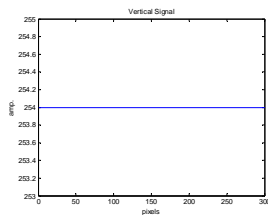
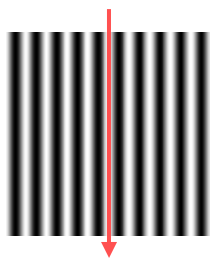


18/11/2010

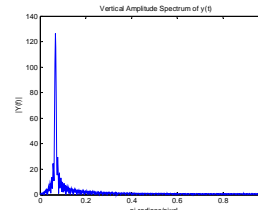
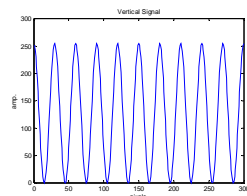
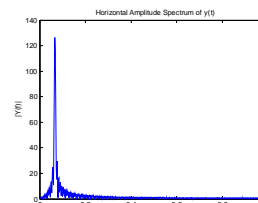
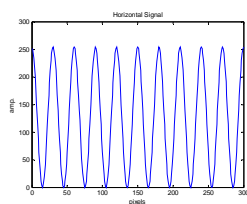
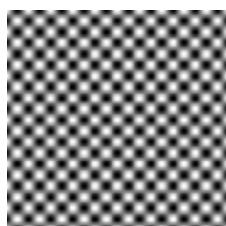


13

Analyse verticale de l'image



Sinus horizontal et vertical



Aliasing: ambiguïté dans le domaine fréquentiel (1)

Une sinusoïde de fréquence F_0 est échantillonnée à une fréquence F_s , la période d'échantillonnage est :

$$T = \frac{1}{F_s}$$

$x[n] = \sin(2\pi F_0 t_s)$ avec $t_s = nT$ (n est un entier)

Nous pouvons écrire :

$x[n] = \sin\left(2\pi F_0 nT + 2\pi k n \frac{T}{T}\right)$, avec k entier, car le deuxième terme prends les valeurs $2\pi, 4\pi, 6\pi \dots$

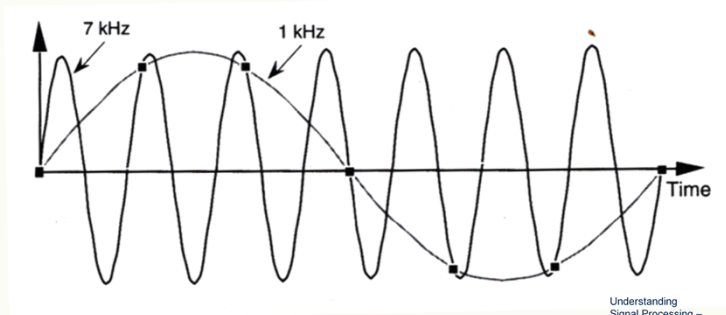
d'où :

$$x[n] = \sin(2\pi F_0 nT + 2\pi k n F_s T) = \sin(2\pi(F_0 + kF_s)nT)$$

Aliasing: ambiguïté dans le domaine fréquentiel (2)

- Avec un sampling rate de F_s samples/s, et k un entier (positif ou négatif), nous ne pouvons pas distinguer les valeurs échantillonnées d'une sinusoïde de fréquence F_0 Hz de celles d'une sinusoïde de fréquence $(F_0 + F_s)$

$F_s = 6$ kHz



18/11/2010

VTF - MSR

Understanding
Signal Processing -
Lyons

15

Aliasing: exemple (1)

Image 300 x 3000 pixels = A + B

A : sinus horizontal période 12, amplitude 77

B: sinus horizontal période 100, amplitude 50

$$F_A = \frac{2}{12} = 0.1667$$

$$F_B = \frac{2}{100} = 0.02$$

F_A et F_B inférieurs à 1 (moitié de la fréquence d'échantillonnage)

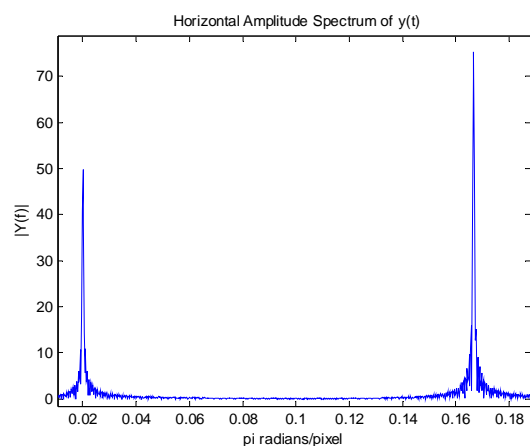
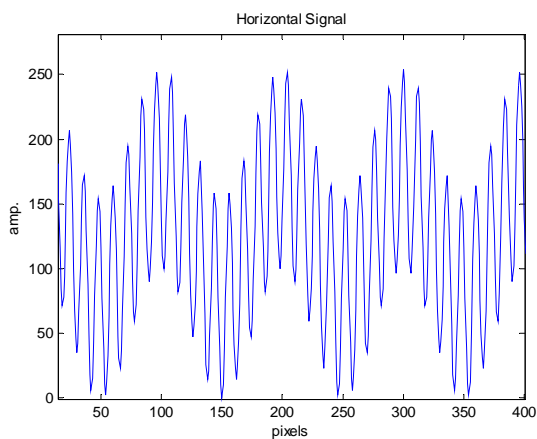
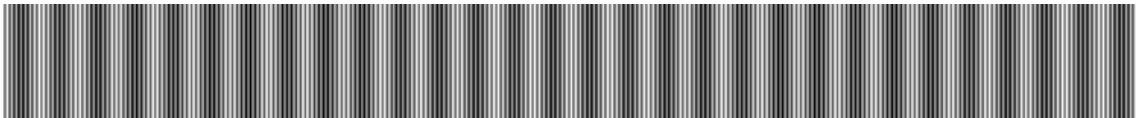
=> Le critère de Nyquist est respecté (voir FFT)

18/11/2010

VTF - MSR

16

Image A+B



Aliasing: exemple (2)

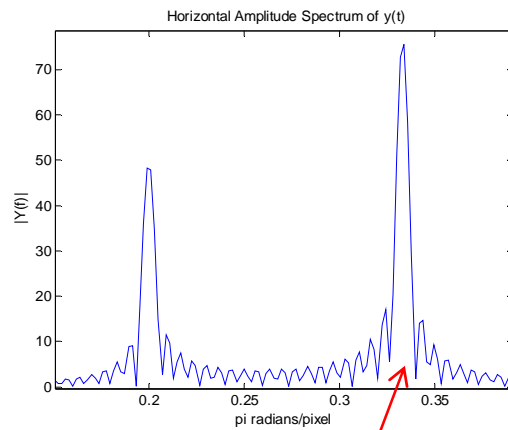
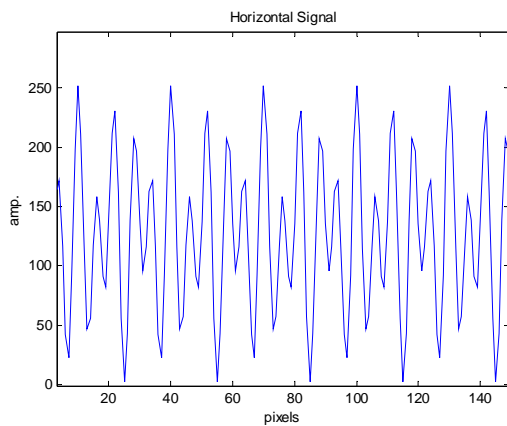
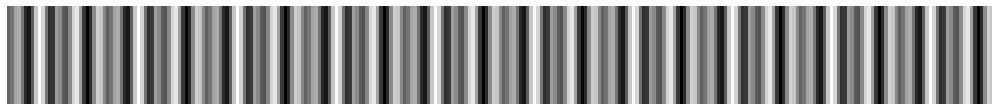
Resampling image 30 x 300 pixels

$$F_A = \frac{2}{1.2} = 1.667 \quad F_B = \frac{2}{10} = 0.2$$

F_A ne respecte pas le critère de Nyquist => aliasing

$$F_A = 1.667 - 2 = |-0.333| \text{ (fréquence négative !)}$$

Image A+B après resampling 30 x 300



Aliasing

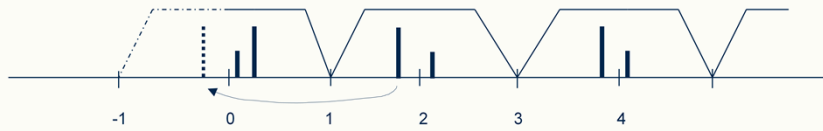
Aliasing: exemple (3)

Resampling image 300 x 3000 pixels

$$F_A = 0.333/10 = 0.0333 \quad F_B = 0.2/10 = 0.02$$

L'erreur due à l'aliasing est toujours présente :

Image initiale	300 x 3000	$F_A = 0.1667$	$F_B = 0.02$
Image finale	300 x 3000	$F_A = 0.0333$	$F_B = 0.02$

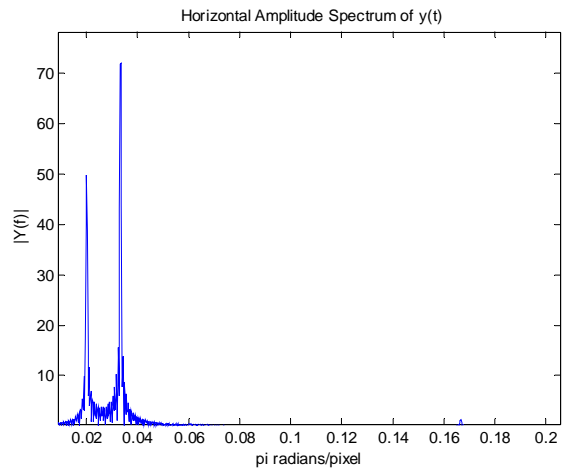
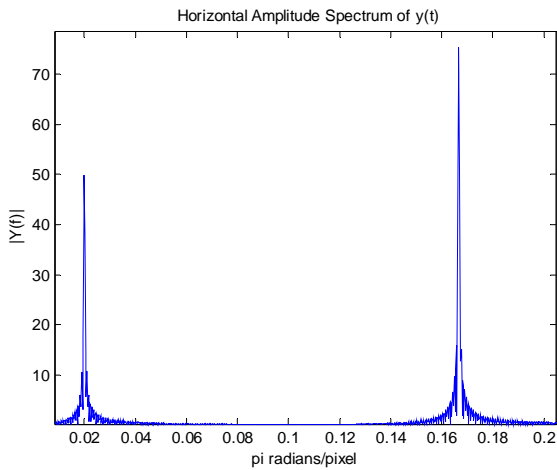
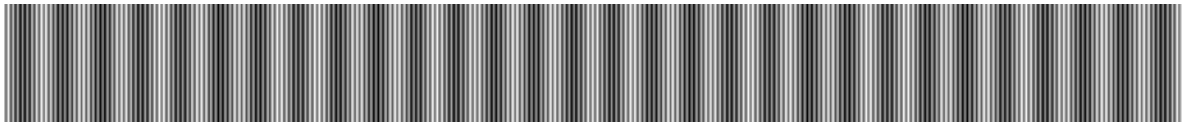


18/11/2010

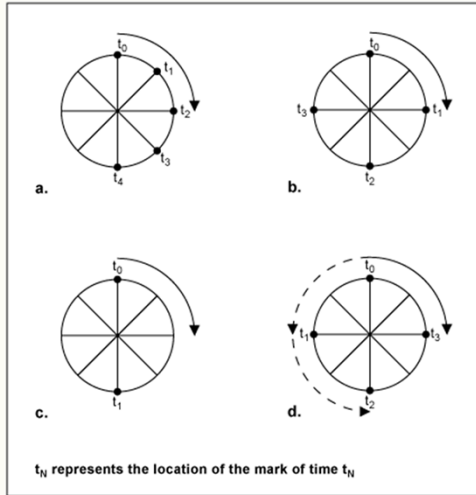
VTF - MSR

18

Image initiale 300x300 et image finale 300 x 3000



Aliasing temporel : image en mouvement



- Effet stroboscopique (flash) = aliasing
- Le disque semble tourner en sens inverse quand la fréquence des flashes est inférieure au double de la vitesse de rotation (tours/s)

● Exemple :



Vidéo hélicoptère youtube : **HOW the f#@ is this helicopter flying?**

http://www.youtube.com/watch?v=Isi2cwJsp4&feature=player_embedded#!

Aliasing : sous-échantillonnage et rééchantillonnage (resampling)

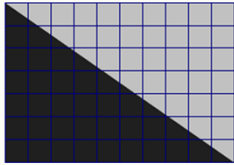


Image échantillonnée avec un grand nombre de points => vision d'une ligne droite oblique

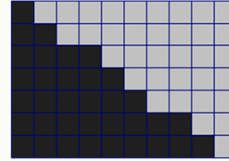


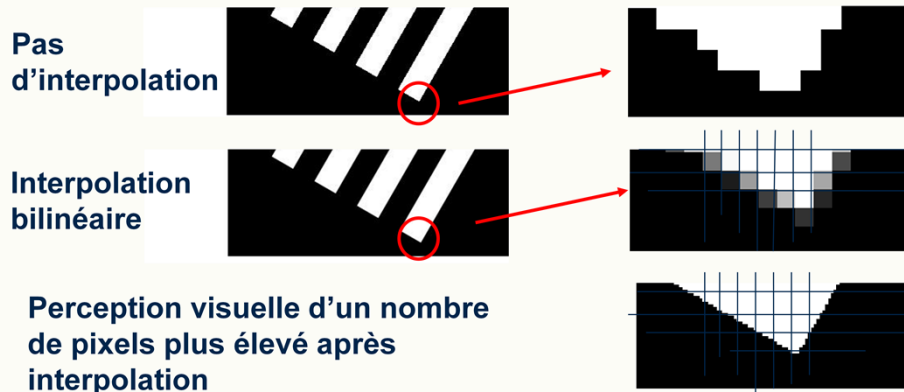
Image rééchantillonnée avec un faible nombre de points => effet de crénelage

● **Les effets d'aliasing d'une image apparaissent dans deux cas :**

1. **Quand la fréquence d'échantillonnage est insuffisante à l'acquisition**
2. **Quand l'image échantillonnée est rééchantillonnée à une fréquence trop basse (décimation) par rapport au contenu fréquentiel**

Aliasing: interpolation

- Des méthodes d'interpolation (bilinéaire, bicubique, ...) permettent de limiter les effets d'aliasing.
- Interpoler : calculer la valeur d'un pixel en fonction de celles de pixels voisins

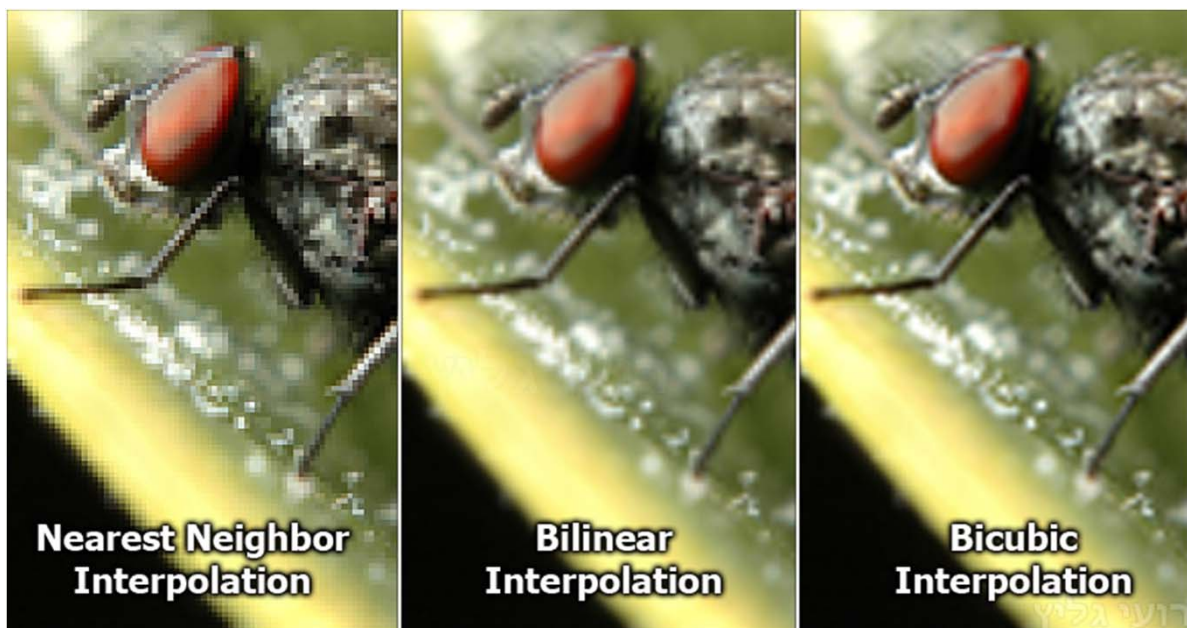


18/11/2010

VTF - MSR

21

Copyright Image Roie Galiz – Photographer



Resampling des images

- **Expérimentation avec des images de références :**

- **Méduse :** 1024 x 768
- **Bandes :** 300 x 300 10 bandes verticales
- **Sinus :** 300 x 300 sinus horizontal
période 30 pixels

18/11/2010

VTF - MSR

22

768x1024



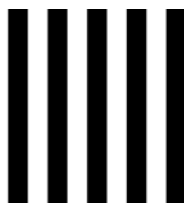
/10: 77 x 102



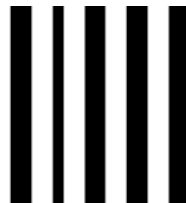
/50: 15 x 20



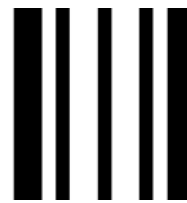
Bandes: 300 x 300



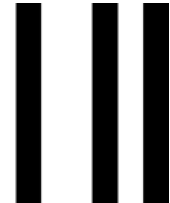
/16: 18 x 18



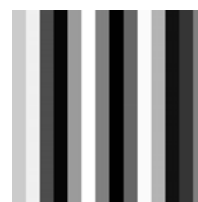
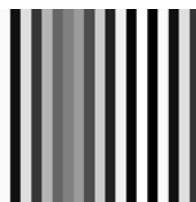
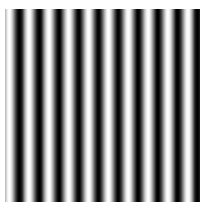
/23: 13 x 13



/42: 7 x 7



Sinus



Exemple d'aliasing

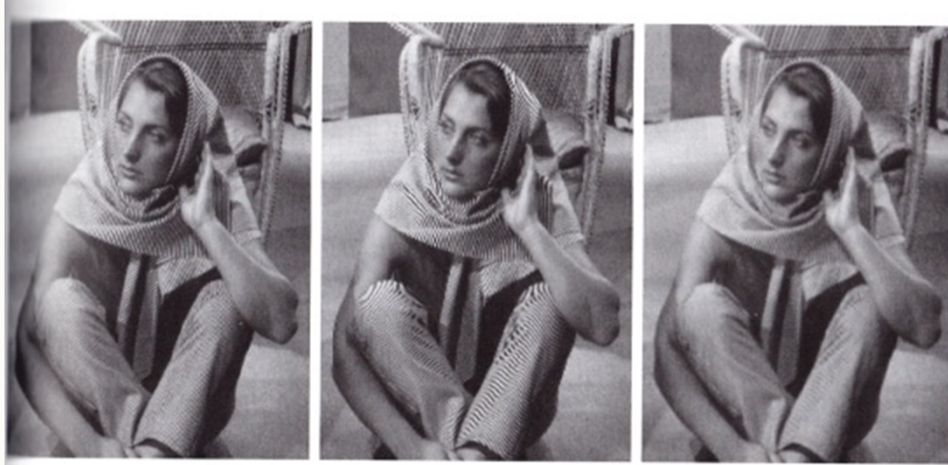


Image originale :
Pantalon et foulard à
fines rayures

18/11/2010

Image
rééchantillonnée :
Aliasing visible

VTF - MSR

Image filtrée (flou) :
Aliasing peu visible

Digital Image Processing
C. Gonzalez, E. Wood

23

Artefacts d'aliasing :



www.kriscoster.com

- [1] **Understanding Digital Signal Processing**
Richard G. Lyons

- [2] **Signals and Systems**
Edward W. Kamen, Bonnie S. Heck

- [3] **Digital Image Processing [Hardcover]**
Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods