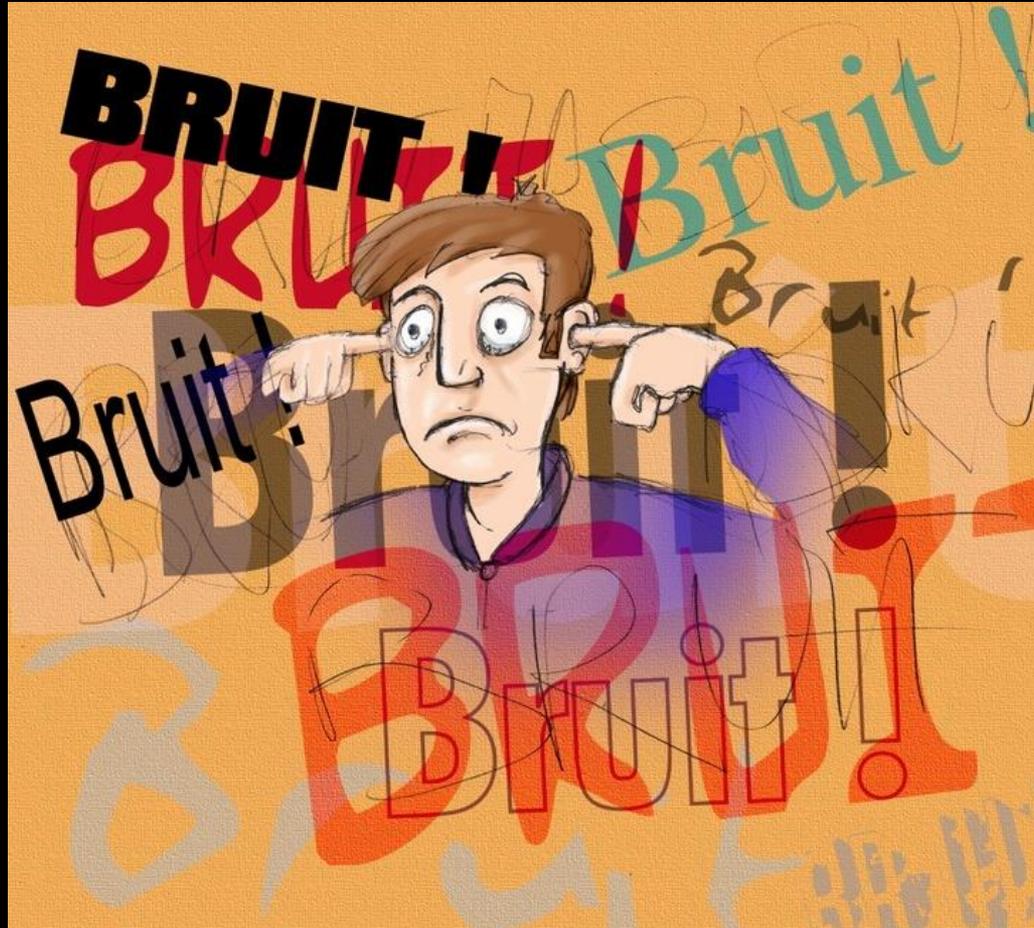


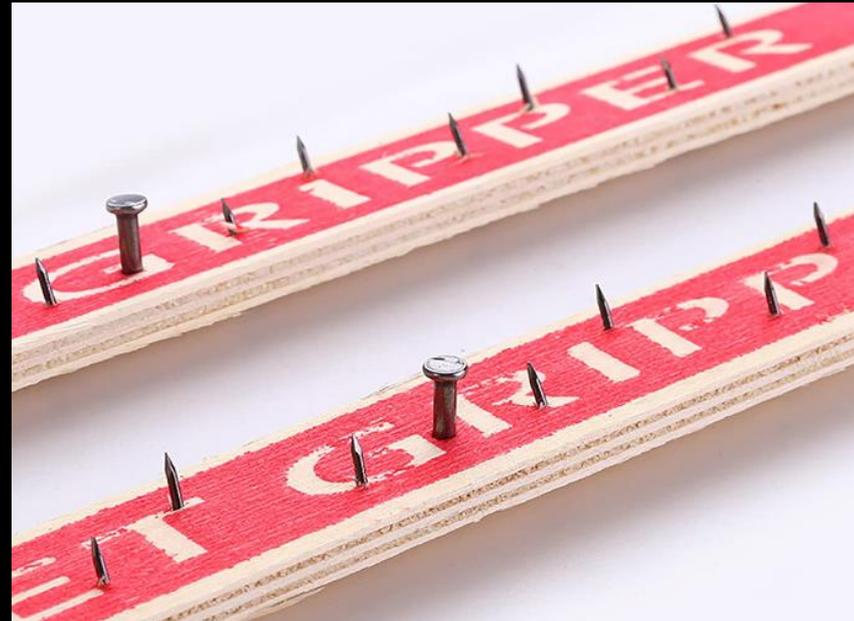
~~bruit~~
Du ~~son~~ dans les CCD!



Exemple de bruit pour les pieds!



Ici, vous allez faire beaucoup de bruit!



60 secondes

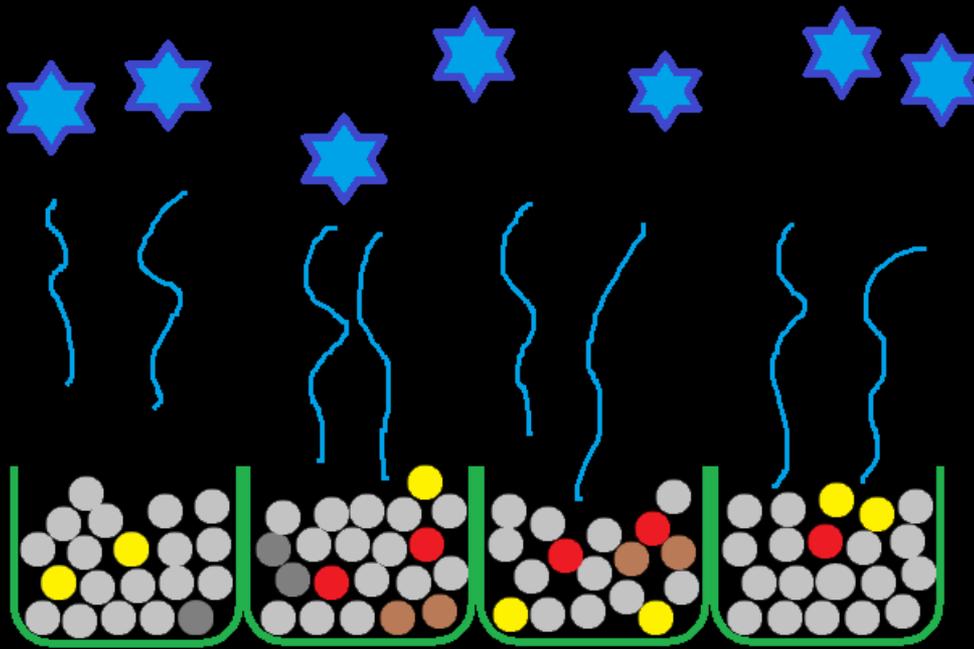


900 secondes

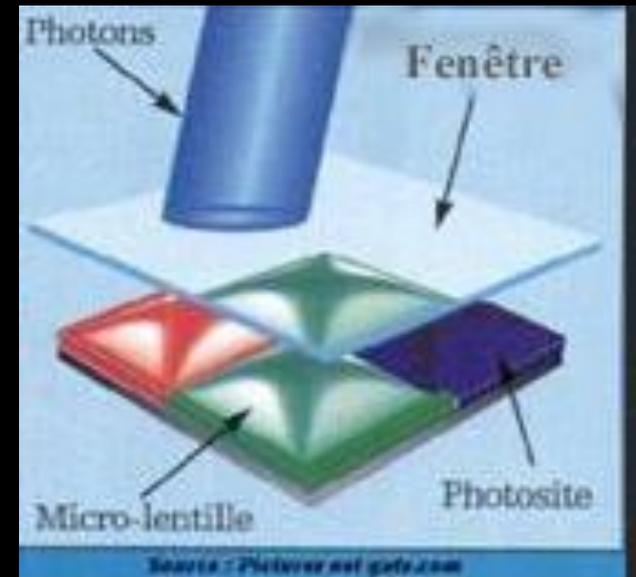
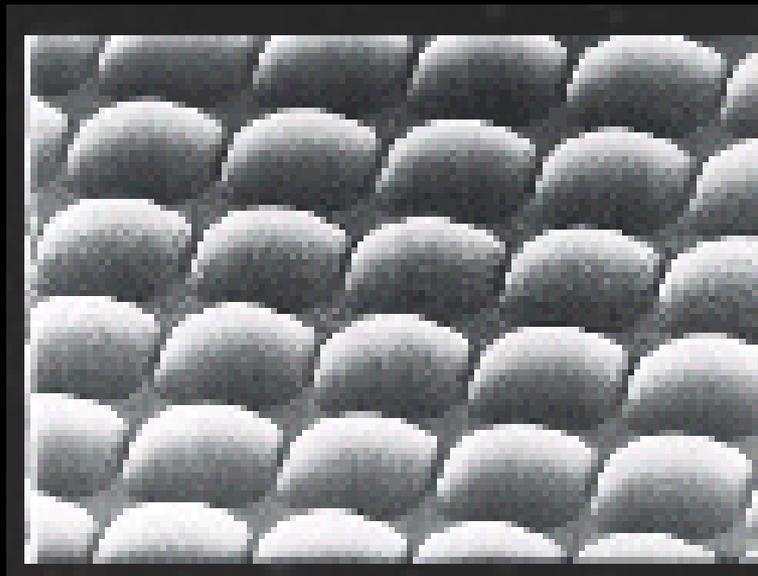


900 secondes
(moyenne de
125 images)





Bruit thermique
 Bruit fond du ciel
 Bruit courant d'obscurité
 Bruit transfert de charge
 Bruit d'amplification



Un CCD est composé d'une matrice de pixels dont le rôle est de transformer les photons incidents en électrons. Ces électrons lus par l'électronique du système sont convertis en une grandeur numérique qui représente un niveau de gris de l'image.

$$\text{Image pixel}(x,y) = \text{Nbr}_{\text{photons}}(x,y) + \text{Nbr}_{\text{bruit}}(x,y)$$

Pour chaque image $\text{Nbr}_{\text{photons}}$ et $\text{Nbr}_{\text{bruit}}$ ne seront pas identique.

$\text{Nbr}_{\text{photons}}$ fluctue selon la loi de Poisson et l'écart type est égal à la racine carrée de la valeur moyenne (signal). $\sigma = \sqrt{S}$

Il existe plusieurs types de bruit, celui-ci s'additionne pour donner le bruit total.

$$\text{Nbr}_{\text{bruit}} = b_1 + b_2 + b_3 \dots$$

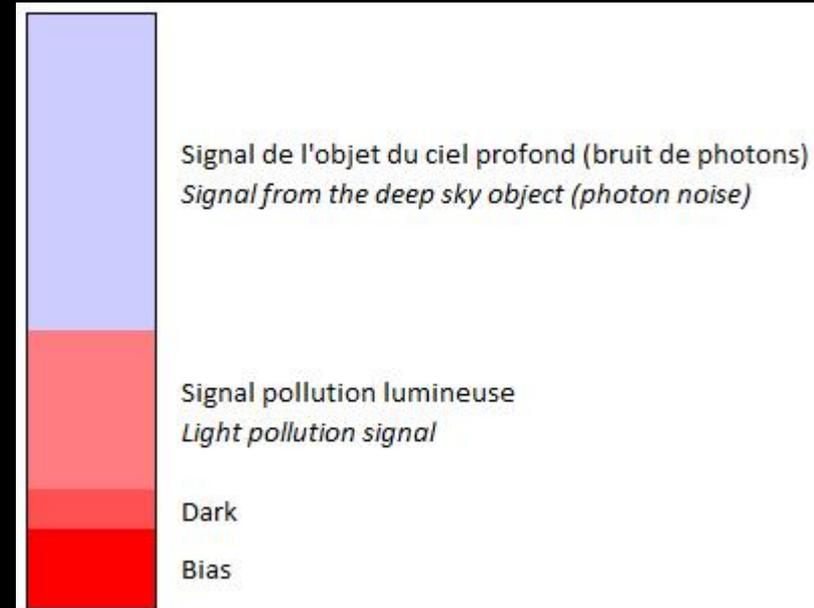
La quantité de bruit thermique dépend de la température et du temps. Pour un pixel (x,y)

$$\text{Bruit} = b_1 = N(x,y) 2^{(T-T_0 / \Delta T)} * t$$

Il faut donc réduire le plus possible la température du CCD!

Donc pour réduire le bruit :

- **Moyenne de plusieurs images de l'objet**
- **Moyenne de plusieurs images « dark » avec le même temps de pose.**
- **Moyenne de plusieurs images « bias » temps de pose < 1 sec.**
- **Moyenne de plusieurs images « flat » (fond blanc)**



<https://www.desmos.com/>

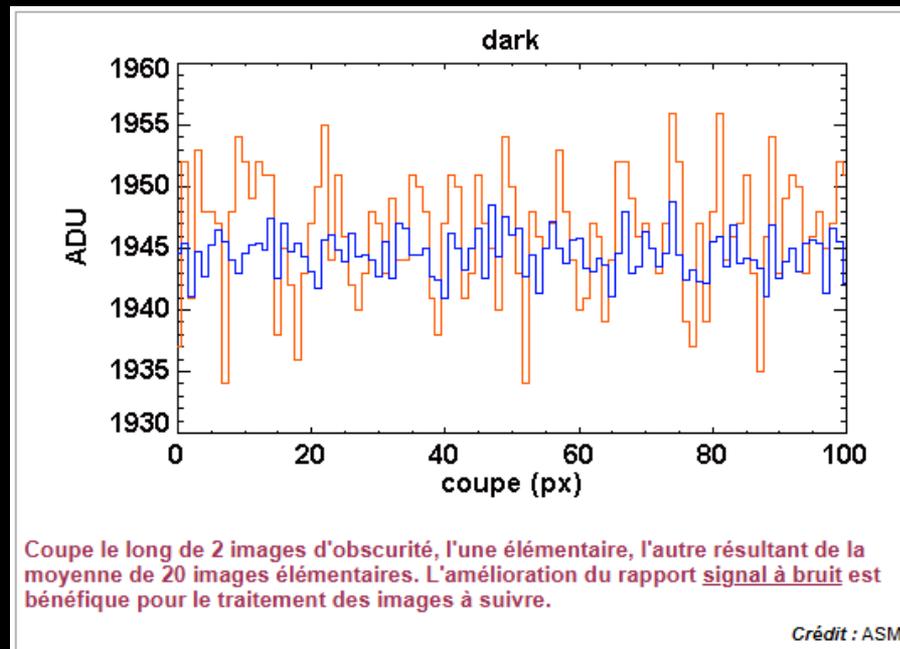
Nombre images	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
Bruit	1.00	1.41	2.00	2.83	4.00	5.66	8.00	11.31	16.00	22.63	32.00
Rapport (bruit/nbr images)	1.00	0.71	0.50	0.35	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03
Réduction du bruit		29%	50%	65%	75%	82%	88%	91%	94%	96%	97%
Réduction avec la précédente			21%	15%	10%	7%	5%	4%	3%	2%	1%

Ce ratio est indépendant du temps de pose
mais...

pour en gagner plus... il faut augmenter le temps de pose et refroidir plus la caméra!

Un temps de pose plus long donnera un meilleur signal/bruit

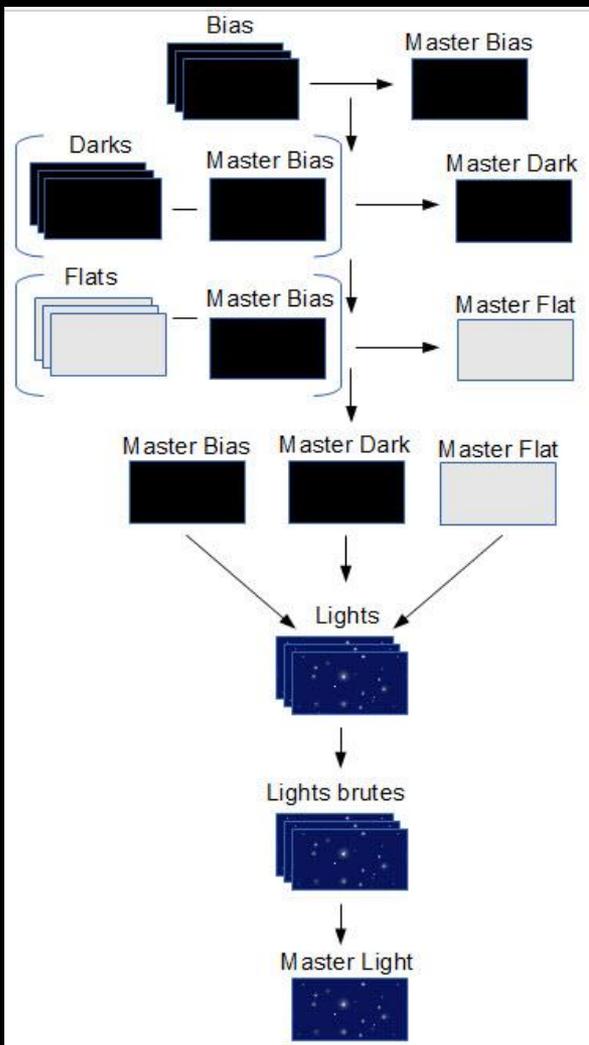
Exemple d'une rangée de pixels



Programme... NoiseDemo

Recette magique pour éliminer le bruit.

1) Pré-traitement



2) Logiciel spécialisé de réduction de bruit



Est-ce que le pré-traitement est utile si je peux éliminer le bruit par un logiciel spécialisé?

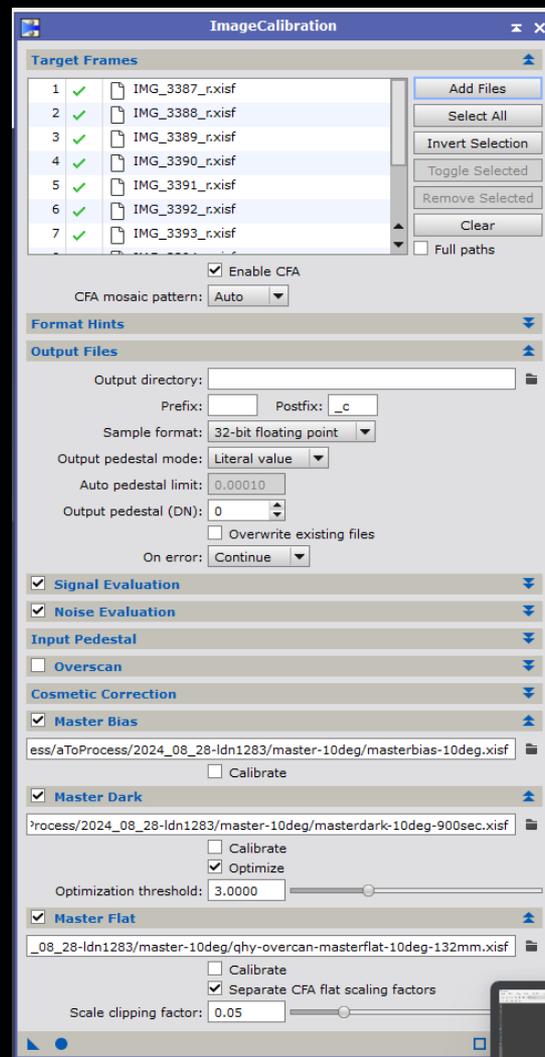
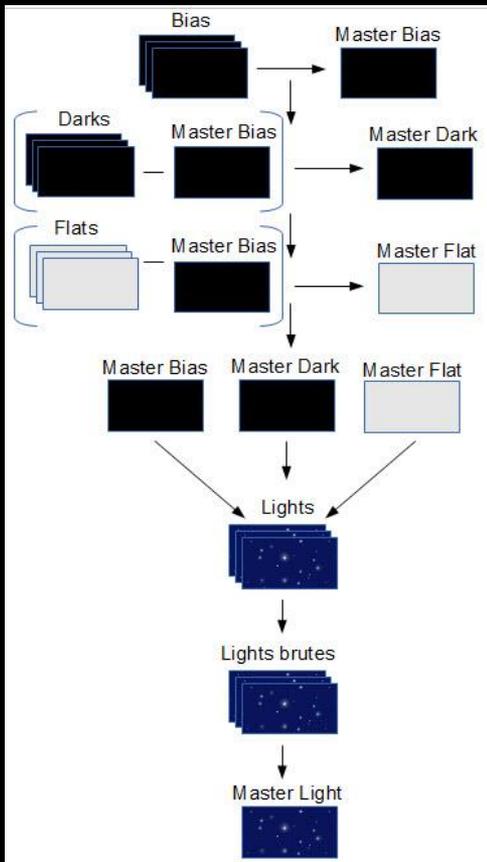


Image calibrée = (Image brute – Master dark) / (Master flat – Master bias)

Après on fait la moyenne de toute les images (avec un sigma reject!)

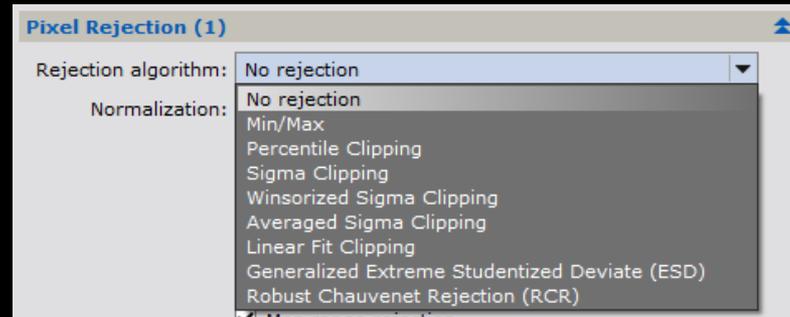
Pour un pixel donné, le sigma reject permet de ne pas compter dans la moyenne les images qui sont hors norme par rapport au reste.

Exemple :

N Signal

- 1 - 65
- 2 - 75
- 3 - 64
- 4 - 67
- 5 - 64
- 6 - 68
- 7 - 64
- 8 - 176
- 9 - 65
- 10 - 62

Le programme va rejeter cette valeur
Plusieurs options sont possibles



... et oui on élimine les
trainées de satellites avec
cette option!



count (%) 100.00000
count (px) 16863840
mean 59.640
modulus 1005763451.197
norm 1005763451.197
sumOfSquares 514822461678.780
meanOfSquares 30528.187
median 57.919
variance 26971.231
stdDev 164.229
avgDev 4.401
MAD 2.214
sqrt(BWMV) 2.217
sqrt(PBMV) 2.223
Sn 2.224
Qn 2.239
minimum 29.736
maximum 65508.879

count (%) 100.00000
count (px) 16863840
mean 74.5
modulus 1255983292.0
norm 1255983292.0
sumOfSquares 550399471633.2
meanOfSquares 32637.8
median 72.0
variance 27090.9
stdDev 164.6
avgDev 9.5
MAD 5.9
sqrt(BWMV) 7.5
sqrt(PBMV) 7.9
Sn 4.8
Qn 8.9
minimum 4.0
maximum 65528.0

Statistique de Poisson

Les photons qui arrivent sur le CCD, ne sont pas identiques, ils suivent une distribution de Poisson. C'est aussi les cas pour le bruit.

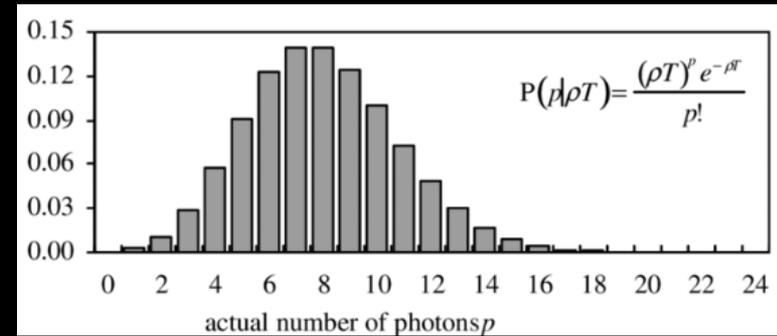
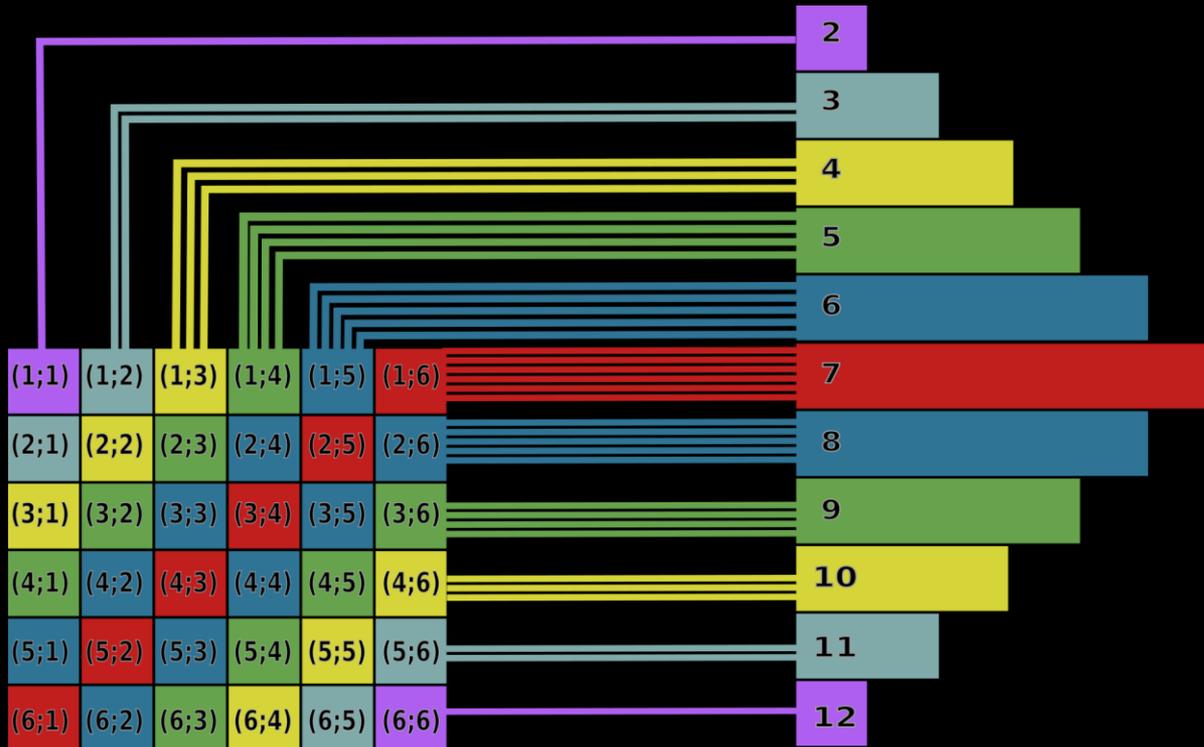


Diagramme représentant les résultats du lancer de deux dés et les probabilités des sommes possibles :



Dans une caméra CCD.
Les photons reçus
restent proche de la
moyenne.

On utilise l'écart type
pour évaluer la
distribution autour de la
moyenne.

Ecart Type

L'écart-type est une mesure statistique qui indique dans quelle mesure les valeurs d'un ensemble de données sont dispersées par rapport à la moyenne (ou la moyenne arithmétique) de cet ensemble. Autrement dit, il mesure la **variabilité** ou la **dispersion** des données.

Comment fonctionne l'écart-type :

- Si les données sont proches de la moyenne, l'écart-type est faible.
- Si les données sont dispersées loin de la moyenne, l'écart-type est élevé.

Formule de l'écart-type :

1. **Calcul de la moyenne (μ)** : Additionner toutes les valeurs et diviser par le nombre total de valeurs.
2. **Calcul des écarts à la moyenne** : Soustraire la moyenne de chaque valeur.
3. **Élever au carré chaque écart** : Cela élimine les différences négatives.
4. **Calculer la moyenne des carrés des écarts** : C'est la variance.
5. **Extraire la racine carrée de la variance** : Cela donne l'écart-type.

La formule de l'écart-type pour une population est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

où :

- σ est l'écart-type,
- N est le nombre total de données,
- x est chaque valeur,
- μ est la moyenne des données.

Ecart type	Valeurs	Écart moyen	Carée
	1	4	16
	2	3	9
	2	3	9
	0	5	25
	5	0	0
	6	-1	1
	9	-4	16
	6	-1	1
	9	-4	16
	10	-5	25
Moyenne :	5		118
Ecart type			3.435113

En résumé, l'écart-type est une mesure utile pour comprendre la dispersion des données dans un ensemble et est utilisé dans divers domaines pour interpréter la variabilité des résultats.

Programme... Image3D

https://www.telescopes-et-accessoires.fr/fonctionnement_capteur

<https://www.astreos.eu/la-technique-ccd.html>

<http://www.jeandijon.com/bruit%20CCD.htm>

https://ciel-astro-ccd.com/wp/acquisition_images_pretraitement/