

Prospective In2p3 Détecteur & Instrumentation associée

Orsay, 23 & 24 Janvier 2020

R&D Skipper CCD

Antoine Letessier Selvon
LPNHE

Objectif

Fournir à la communauté un détecteur massif (~ 10 kg) assemblé à partir de capteurs de haute précision ayant les caractéristiques suivantes :

- Haute résolution spatiale (quelques $10 \mu\text{m}$)
- Haute résolution en énergie (2% à 1 keV)
- Très bas seuil 1 à 3 paires e-h, (<10 eV équivalent électron)
- Bas bruit (<0.2 électrons)
- Massifs (pour du silicium) > 50 g (~ 200 capteurs pour un détecteur de 10 kg)

Applications : DM, neutrinos, ...

Défis

❖ Fabrication : Où est la limite ?

- Aujourd'hui 15 x 15 cm x 1mm est envisageable, peut-on augmenter l'épaisseur à 2 ou 5 mm ?

❖ Temps de lecture

- Aujourd'hui une dizaine de millisecondes par pixel pour une résolution de 0,1 électrons, soit environ 2,5 jours pour lire un CCD 9kx9k sur 4 canaux ! Il faut descendre en dessous de la milliseconde

❖ Maîtrise des courants de fuite ($10^{-21} \xrightarrow{?} 10^{-25} \text{ A/cm}^2$)

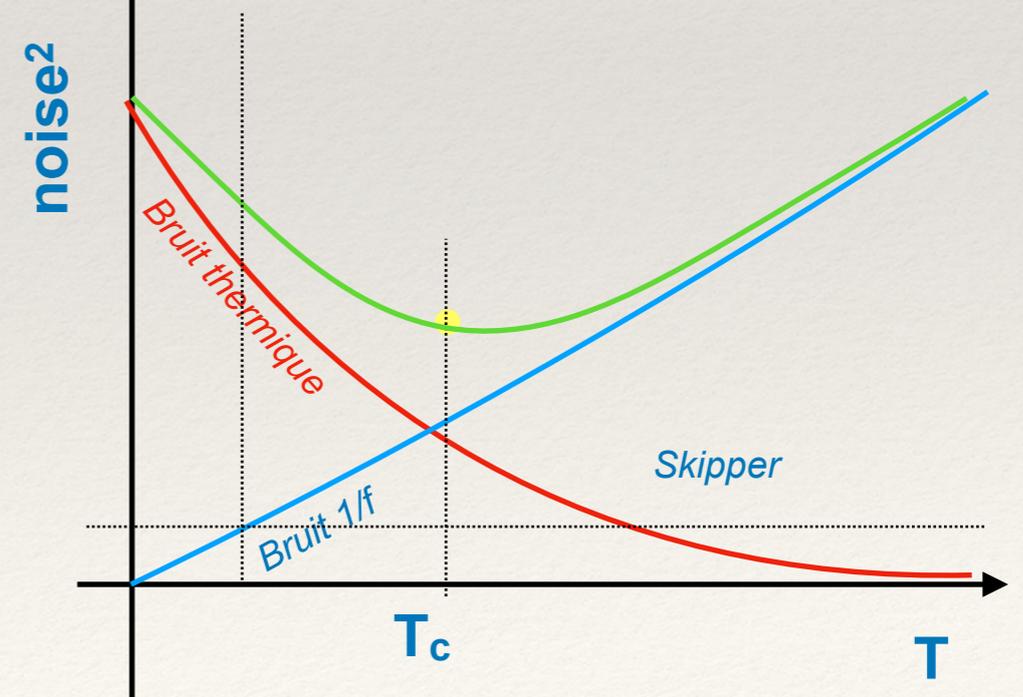
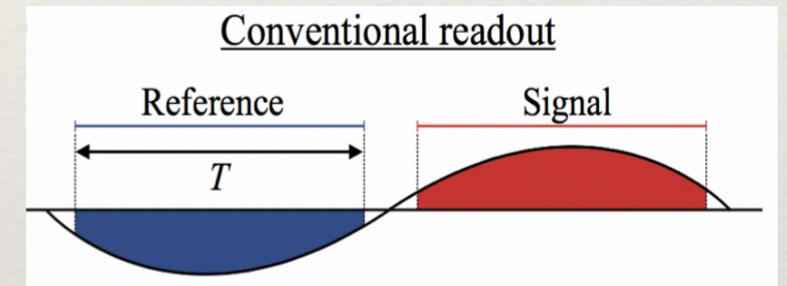
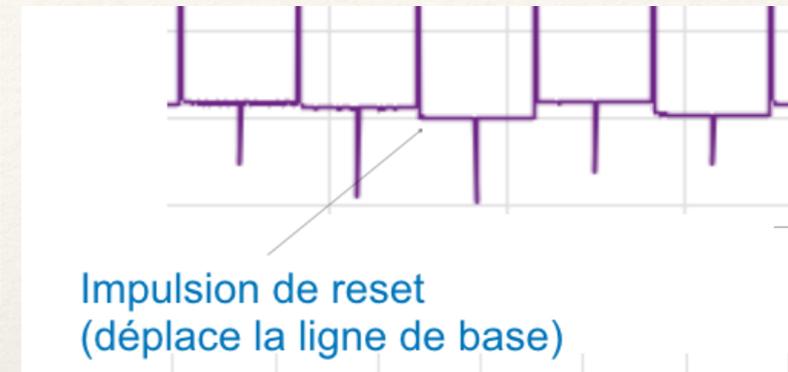
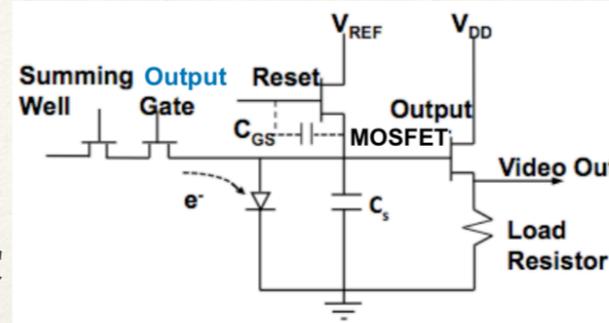
Principe de lecture Skipper I

❖ Le niveau de référence de la grille du transistor de sortie du CCD varie avec le temp

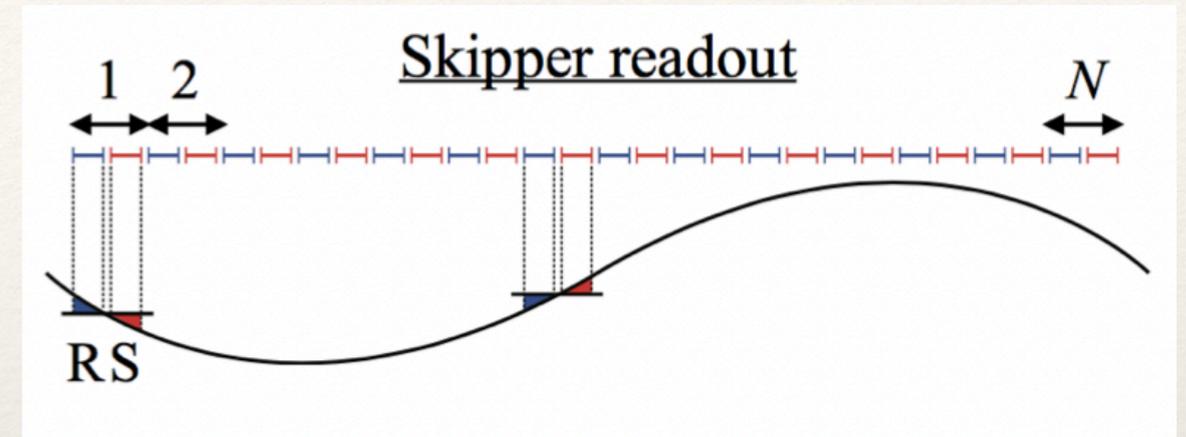
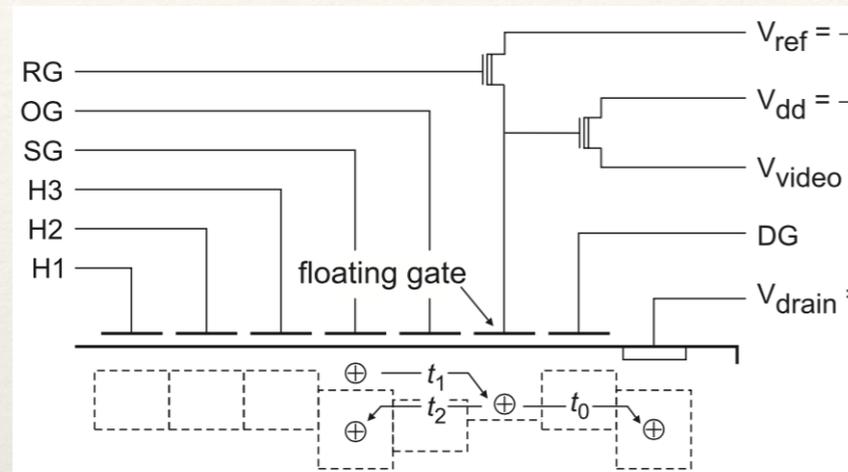
- Un système de reset ramène la grille à la reference avec une precision de l'ordre de 50 à 100 equivalent e^- !
- Une mesure en deux temps, d'abord la reference puis la reference + le signal permet de réduire ces fluctuations

❖ Le bruit de ce transistor est formé de deux composantes:

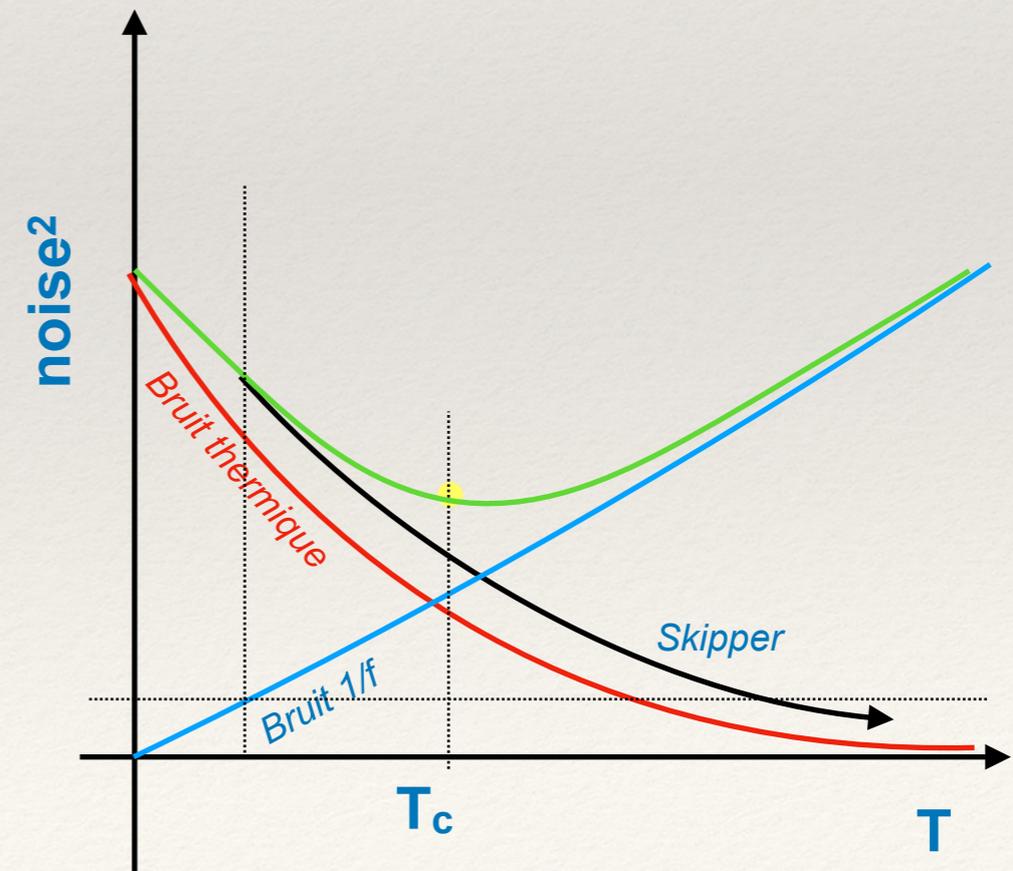
- Un bruit blanc de variance décroissante avec le temp de lecture ($V \sim 1/T$)
- Un bruit en $1/f^{(n)}$ de variance croissante avec le temp de lecture ($V \sim T$)



Principe de lecture Skipper II



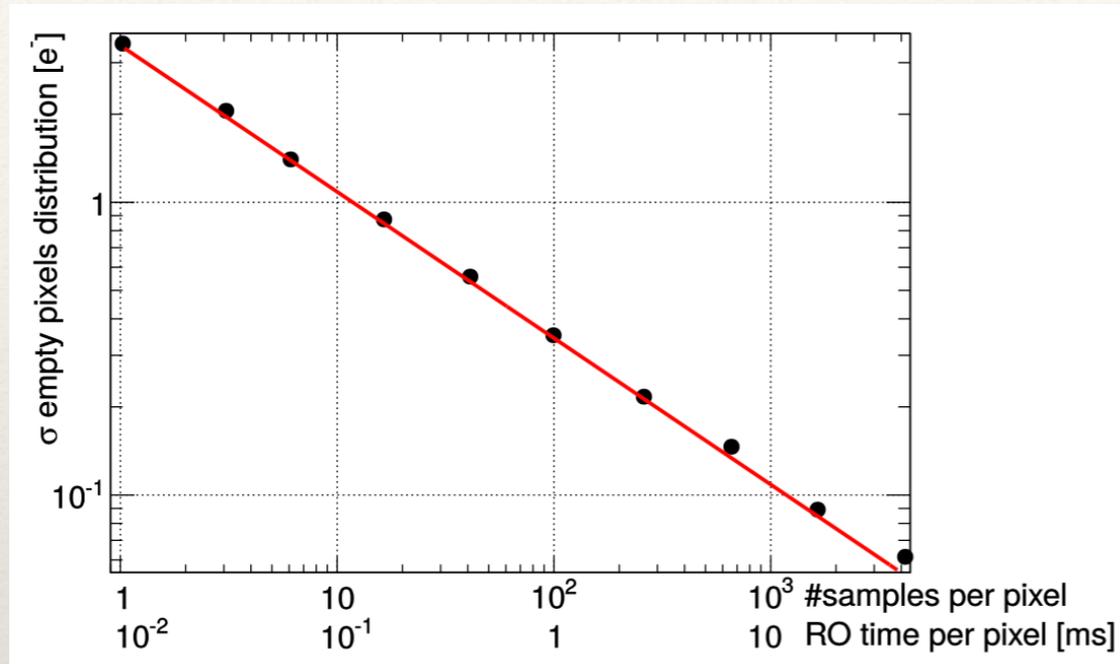
- ❖ En mode skipper la charge et le niveau de référence sont lues pendant un temps court mais de multiples (n) fois
 - le bruit en $1/f^{(n)}$ est arbitrairement faible
 - le bruit blanc est important mais sa contribution diminue comme $1/\sqrt{n}$



État de l'art

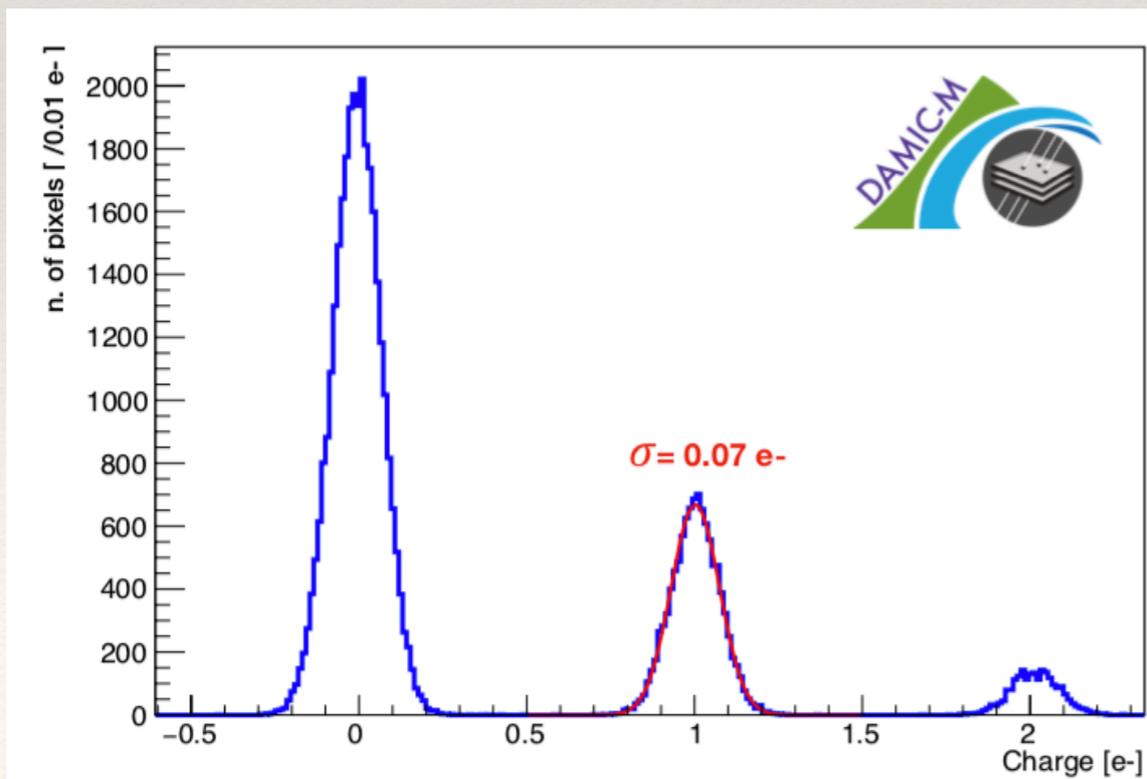
- ❖ CCD DAMIC-M
 - ❖ 36M pixels de $15 \times 15 \mu\text{m}$ ($9 \times 9 \text{ cm}$)
 - ❖ 0,675 mm d'épaisseur (12 g)
 - ❖ 4 voies de lecture
 - ❖ Bruit de lecture 0,07 électron (3000 mode skipper)
 - ❖ Temps de lecture pour 0,07 e : 90 ms / pixel,
 - ❖ Objectif 2021 $< 1 \text{ ms} / \text{pixel}$ pour un bruit $< 0,2$ électron (on est à 9 ms actuellement)

État de l'art



FERMILAB

Évolution de la résolution
avec le nombre d'échantillons
(temps total de lecture)



UoC/LPNHE

CCD Teledyne/DALSA 1kx6k
bruit de l'ampli de sortie
en CDS ($15 \mu s$) : $4 e^-$

résolution 0.07 électron
3000 échantillons de $15(x2) \mu s$ (90 ms/pixel)

Lignes d'explorations

- ❖ Encore plus épais ?
- ❖ Amélioration de l'électronique de sortie ($T \propto \sigma^2$)
- ❖ Augmentation du nombre de voies de lecture (x4)
- ❖ technologie CMOS (Full Surface)?
 - ❖ skipper
 - ❖ substrat épais et résistif

R&D lancée aux USA (en particulier avec nos partenaires UoC & FERMILAB)

Compétences en France (IPHC, LAL, LPNHE, ...)