

Rapport de caractérisation

CAPTEUR IMX477 4056 × 3040, BGGR	RAW 12 bits SBGGR12_CSI2P	CONVERSION 2,327 e-/ADU PTC · gain 1,000	TEMPÉRATURE 26,0 °C 8 télémétries absentes
---	--	---	---

Synthèse des résultats

Résultats principaux et limites d'interprétation.

Courbe PTC À CONFIRMER Gain de conversion : 2,327 e-/ADU Dynamique : 11,21 diaphragmes Saturation observée ; capacité effective et dynamique calculées depuis la plage utile RAW. Les grandeurs non établies sont indiquées comme indisponibles.	Analyse du courant d'obscurité VALIDÉ Courant typique : non résolu au-dessus de la dérive d'offset. Statut de l'analyse thermique : VALIDÉ. Expositions : 8 paliers, de 0,1 à 300,0 s Le statut qualifie l'analyse, pas le courant mesuré.
--	--

Qualité des mesures

Statut de validité des analyses, indépendamment du résultat mesuré.

Format des données brutes (RAW)	VALIDÉ
Bruit de lecture	VALIDÉ
PTC / linéarité	À CONFIRMER
Courant d'obscurité	VALIDÉ
Stabilité thermique	VALIDÉ

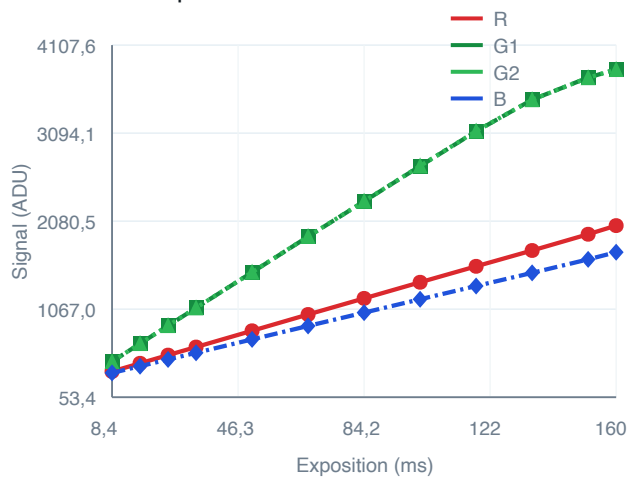
Critères d'interprétation

Les conclusions privilégient les mesures stables et reproductibles.

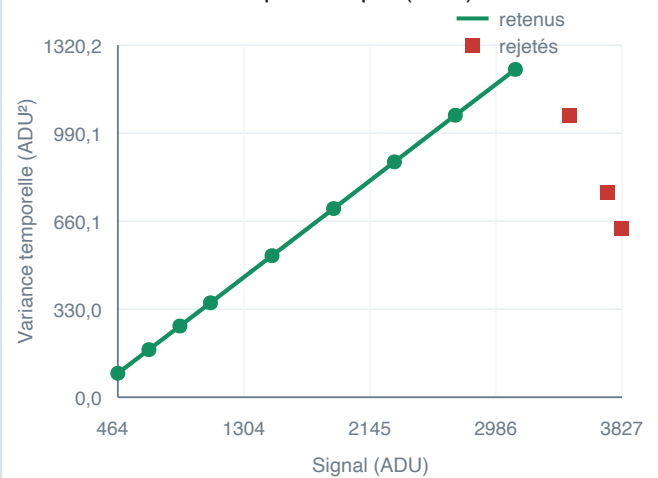
- Le gain de conversion est estimé sur la zone linéaire de la PTC.
- Les points proches de la saturation qualifient l'écrêtage, pas l'ajustement linéaire.
- Les images d'obscurité longues sont interprétables si la température reste stable.
- La température est quantifiée au degré, avec une marge de 2 °C crête à crête.
- Après reprise, seule la télémétrie thermique manque : les images sont conservées.

Visualisation des mesures

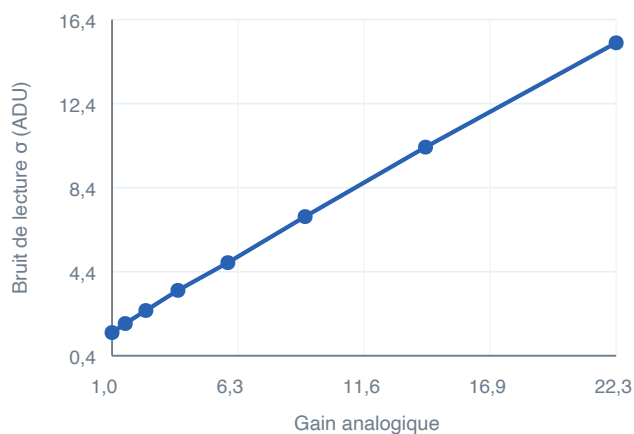
Courbe de réponse / linéarité



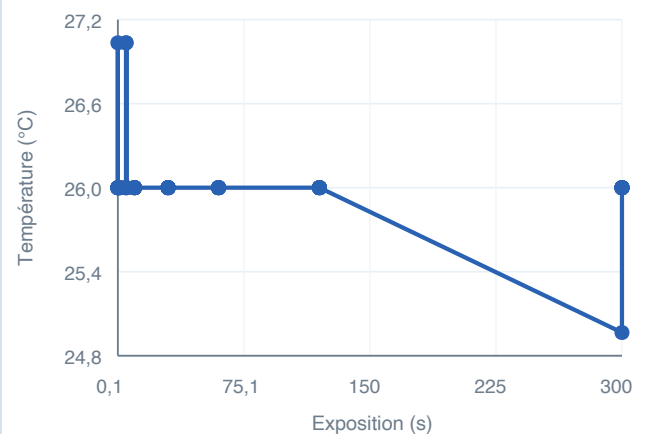
Courbe de transfert photonique (PTC)



Bruit de lecture



Images d'obscurité longues : température



Interprétation

La pente PTC permet d'estimer le gain de conversion.

La dynamique utile combine la plage des données brutes (RAW) et le bruit de lecture.

Les images d'obscurité longues ne sont concluives que sous température stable.

Les statuts décrivent la validité de l'analyse, indépendamment du résultat scientifique.

Rapport de caractérisation

Calibration des données brutes (RAW)

Niveau noir converti et plage utile en profondeur native.

Bits utiles : 12 bits

Niveau noir source : 64 · 10 bits ; niveau noir RAW converti : 256

Code blanc RAW : 4095 ; plage utile : 3839 ADU

Calibration PTC

Zone linéaire, incertitude et saturation observée.

Gain : 1,000 ; conversion : 2,3271 e-/ADU ± 0,0011

R² : 1,0000 ; niveaux acquis / retenus / rejetés : 12/9/3

Écrêtage maximal : 0,27032 ; seuil : 0,000100 ; saturation : observée

Code blanc observé : 3827 ADU ; capacité effective avant saturation : 8310,33 e⁻ ; dynamique : 11,21 diaphragmes / 67,47 dB

Bruit de lecture

Différence de paires ; bruit σ = écart-type(A-B)/√2.

Gain analogique	R (ADU)	G1 (ADU)	G2 (ADU)	B (ADU)	Global (ADU)	Global (e⁻)
1,000	1,492	1,529	1,529	1,494	1,512	3,518
1,556	1,935	1,949	1,949	1,934	1,942	2,928
2,427	2,556	2,572	2,571	2,554	2,563	2,492
3,779	3,514	3,533	3,540	3,516	3,525	2,212
5,885	4,833	4,861	4,902	4,833	4,847	1,962
9,143	7,021	7,063	7,153	7,025	7,044	1,841
14,222	10,328	10,382	10,505	10,334	10,358	1,753
22,261	15,284	15,375	15,538	15,294	15,335	1,669

Conversion e⁻ indisponible aux gains sans PTC valide correspondante.

Courant d’obscurité et pixels chauds

Population normale, queue positive et dérive globale du niveau noir.

Expositions analysées : 100 000 · 1 000 000 · 5 000 000 · 10 000 000 · 30 000 000 · 60 000 000 · 120 000 000 · 300 000 000 μs

Pente médiane : -0,00544 ADU/pixel/s ; p90 : 0,00903 ; p99 : 0,04031

Population normale : courant typique non résolu au-dessus de la dérive d’offset.

Pixels chauds détectés par évolution temporelle : régression par pixel.

Seuil : max(10 × Imédianel, 6 × 1,4826 MAD) = 0,0544 ADU/pixel/s.

Population temporelle : 16 060 pixels ; détectés 75 (0,47 %)

Dérive globale du niveau noir : -0,001092 ADU/pixel/s ± 0,000922 ; R²=0,189 ; pente non significative

Température

Synthèse thermique des images d’obscurité longues.

Stabilisation thermique : repos entre paliers 60 s

Images d’obscurité : Tmin 25,0 °C, Tmax 27,0 °C, amplitude 2,0 °C

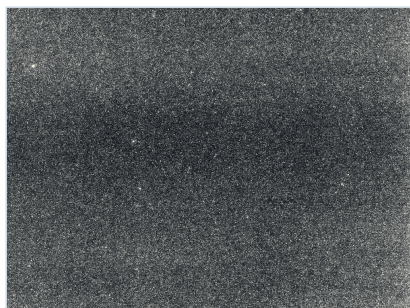
Corrélation température / log10(exposition) : r = -0,59

Statut de l’analyse thermique : VALIDÉ

Produits spatiaux dérivés

Master d'obscurité — vue réduite

Master médian plein capteur réduit par surface · ADU



Échelle robuste : 254,911 à 258,764 ADU

Structure basse fréquence (vue réduite)

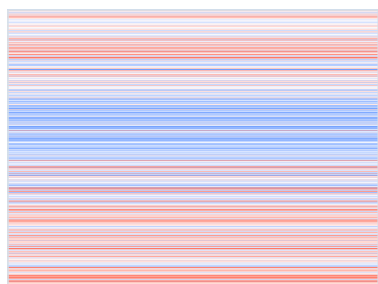
Moyennes Bayer 2 × 2 · blocs directs 32 × 32 cellules
64 × 64 pixels · médiane par bloc · rendu interpolé · ADU



Échelle robuste : 255,490 à 256,277 ADU

Composante horizontale

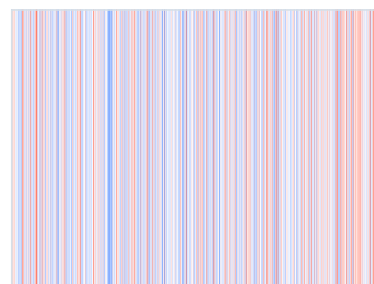
Vue réduite · carte rendue, moyenne par ligne
(master réduit – basse fréquence) · ADU



Échelle : -0,213 à +0,213 ADU

Composante verticale

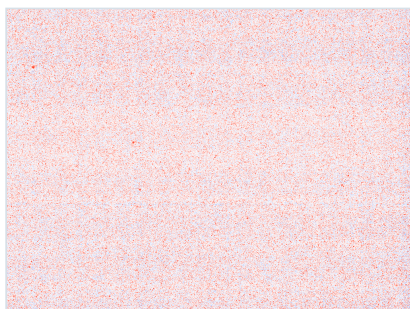
Vue réduite · carte rendue, moyenne par colonne
(master réduit – basse fréquence) · ADU



Échelle : -0,212 à +0,212 ADU

Résidu haute fréquence

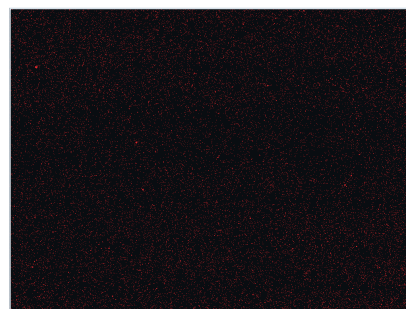
Vue réduite · master – fond – lignes – colonnes · ADU



Échelle : -2,854 à +2,854 ADU

Candidats spatiaux de pixels chauds

Vue réduite · seuil 1,9521 ADU · masque binaire



DéTECTÉS : 33283 / 785408 (4,24 %)

Session : 20261006-000849_libcamera

Algorithme : spatial_dark_analysis 1.1 · Capteur : IMX477 · CFA BGGR

Master : médiane temporelle entière de 10 images, 4056 × 3040 pixels · 300,000 s · gain 1,000

Vue : réduction surfacique du master plein capteur en 1024 × 767 pixels.

Mesures natives plein capteur : master médian entier ; masque p99,9 ; blocs directs 32 × 32 cellules Bayer.

Profils natifs : moyenne Bayer – médiane du bloc ; médiane par ligne/colonne ; profils centrés.

RMS des profils centrés : écart-type de population.

Cartes rendues : composantes horizontale/verticale = moyennes par ligne/colonne de (master réduit – fond basse fréquence).

Carte basse fréquence interpolée bilinéairement au rendu ; mesures natives sans interpolation.

Candidats spatiaux : cellules de la vue réduite, pas des photosites ; seuil médiane(Irésidul) + 6 MAD, repli max(1e–9, p98).

Caractérisation PTC multi-gain

Évolution des performances avec le gain analogique

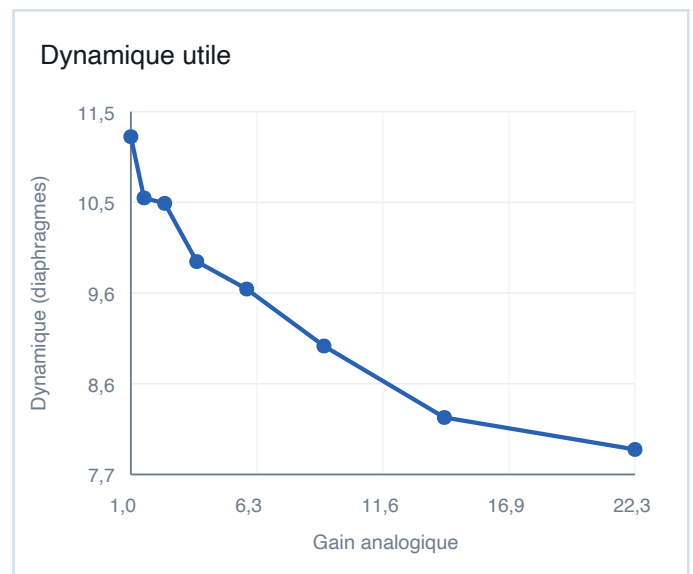
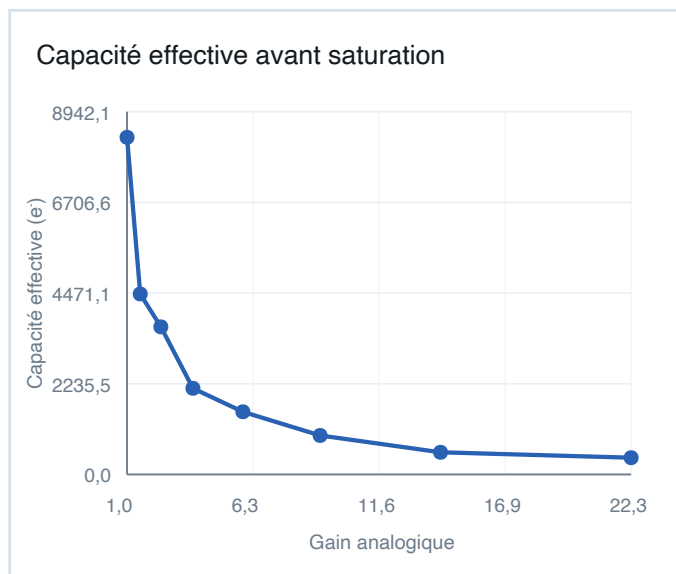
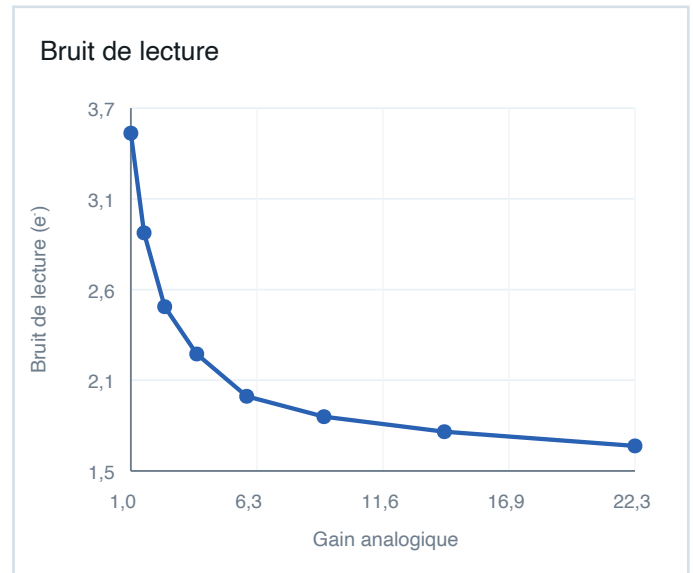
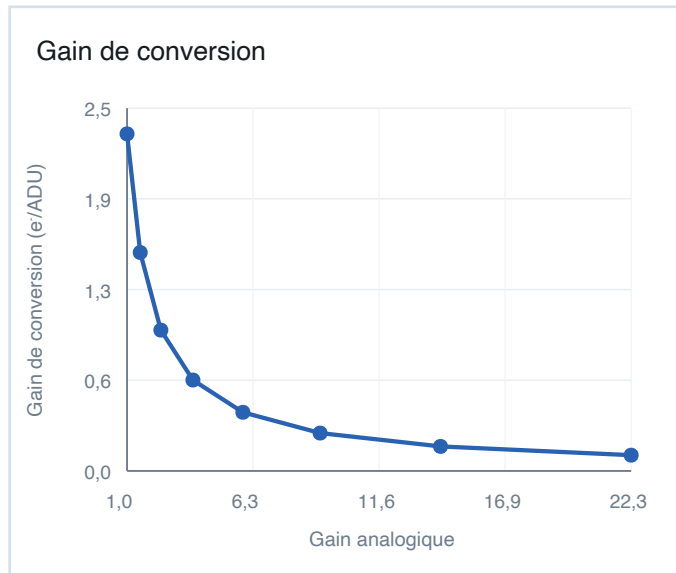
page 5/6

Gains analogiques réellement mesurés : 8

Rupture de régime : aucune rupture statistiquement démontrée

Modèle continu retenu : $c(g)=\exp(\text{polynôme}(\log g))$, degré 3, BIC 9,44, monotone

Comparaison par loi de puissance : $C = 2,328$; $p = 0,987$



Interprétation des résultats

Augmenter le gain analogique réduit généralement le bruit de lecture exprimé en électrons, mais diminue aussi la charge maximale mesurable avant saturation.

Une rupture candidate doit battre le meilleur modèle continu ($\Delta\text{BIC} \geq 6$ et valeur p de rééchantillonnage $\leq 0,01$) ; elle reste à confirmer par une campagne indépendante et n'est ni un gain optimal ni une consigne.

Détail de la PTC multi-gain

Tous les gains disposant d'une PTC valide sont présentés.

Capacité effective avant saturation : limite instrumentale issue de la plage utile RAW et du gain de conversion. Ce n'est pas la capacité physique du photosite.

Gain demandé	Gain réel	Conversion e-/ADU ± incertitude	Niveaux acquis / retenus / rejetés	Paires	Signal retenu (ADU)	Capacité effective (e)	Écrêtage global
1,000	1,000	2,3271 ± 0,0011	12/9/3	120	463,5 à 3116,0	8 310	observé
1,558	1,556	1,5080 ± 0,0016	12/9/3	120	412,1 à 2433,1	4 449	observé
2,427	2,427	0,9720 ± 0,0017	12/7/5	120	495,8 à 2655,7	3 639	observé
3,780	3,779	0,6276 ± 0,0007	12/9/3	120	440,2 à 2837,9	2 123	observé
5,889	5,885	0,4048 ± 0,0005	12/6/6	120	541,3 à 2552,6	1 545	observé
9,173	9,143	0,2614 ± 0,0003	12/8/4	120	478,7 à 2928,5	961	observé
14,290	14,222	0,1692 ± 0,0002	12/9/3	120	428,5 à 2666,2	546	observé
22,261	22,261	0,1088 ± 0,0002	12/6/6	120	525,2 à 2400,7	413	observé

Écrêtage observé globalement par la fraction de photosites au code blanc ; l'écrêtage par canal CFA n'est pas mesuré.