

## CHAÎNE DE LECTURE X-IFU ATHENA

- Projet ATHENA (Advanced Telescope for High-ENERgy Astrophysics): 2 instruments de rayon X: X-IFU (X-ray Integral Field Unit) et WFI (Wide Field Imager);
- Laboratoire APC, responsable du développement de WFEE (Warm Front End Electronics) - le premier étage à température ambiante dans la chaîne de lecture de X-IFU;
- LNA développé pour la chaîne de lecture du X-IFU, intégré dans le WFEE;
- 3840 détecteurs TES pour 96 canaux différentiels en FDM, 1 LNA/canal.

Paramètre	Valeur requise	Commentaire
Gain	$\approx 80 V/V$	Différentiel, adaptation de sortie (/2)
Stabilité du gain	$17 \mu V/V \times N_{FB} \approx 10$	Variation de l'impédance d'entrée
Bruit	$< 1 nV/\sqrt{Hz}$	Bruit équivalent ramené à l'entrée
Bande passante	1 - 6 MHz	-1 dB, sans DC
$Z_{in}$	But: $5 k\Omega$ différentiel	$\gg Z_{out}$ de SQUID (200 $\Omega$ )
$Z_{out}$	100 $\Omega$ différentiel	= ADC $Z_{in}$ (adaptée)
CMRR	$\geq 60 dB$	structure entièrement différentielle
Amplitude d'entrée	12 mV <sub>pp</sub> différentiel	6 mV <sub>pp</sub> sur chaque entrée
Amplitude de sortie	1 V <sub>pp</sub> différentiel	0.5 V <sub>pp</sub> sur chaque sortie
Linéarité	But: $\leq 1\%$ V/V distorsion	meilleure que celle des SQUIDS

Table 1: Spécifications de LNA

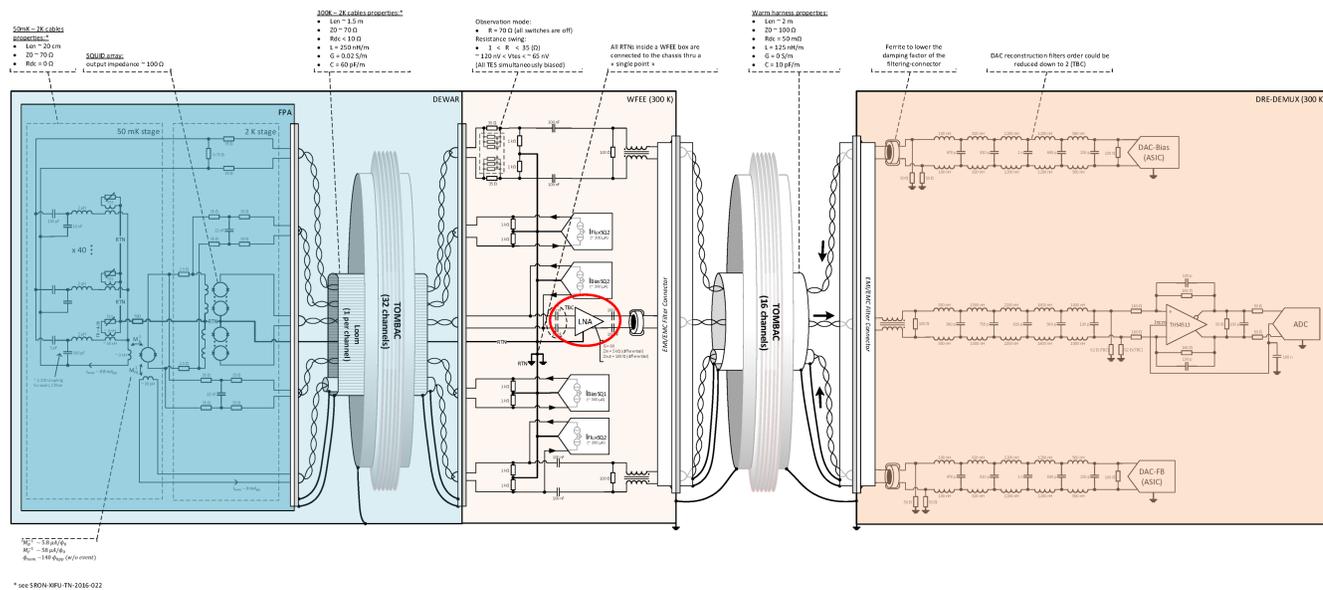


Figure 1: Chaîne de lecture de X-IFU

## AMPLIFICATEUR BAS BRUIT À CHARGE À DIODES

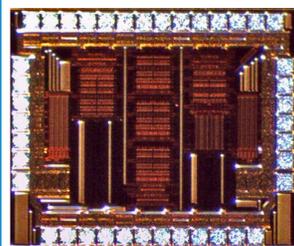


Figure 2: AwaXe\_v1b  
1.5 mm x 1.25 mm

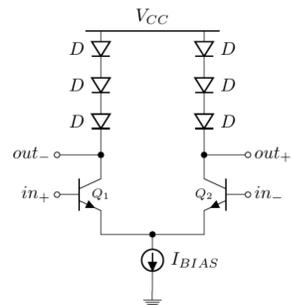


Figure 3: Amplificateur A1

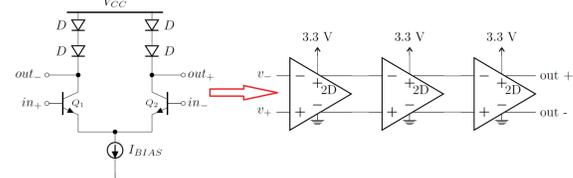


Figure 4: Amplificateur A2

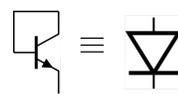


Figure 5: Diode

- $\sqrt{S_v}$ : Bruit en tension
- $g_m$ : Transconductance

- $\beta$ : Gain en courant
- $q$ : Charge élémentaire absolue
- $k_B$ : Constante de Boltzmann
- $T$ : Température en Kelvin
- $h_{11}$ : Impédance d'entrée de BJT/HBT
- $R_{bb'}$ : Résistance d'accès à la base
- $R_s$ : Résistance de source (SQUID)
- $r_d$ : Impédance de diode
- $n_d$ : Nombre de diodes de charge en série

$$|Gain| = g_m \times r_d \times n_D \approx \frac{qI_C}{k_B T} \times \frac{k_B T}{qI_D} \times n_D = n_D$$

$$|Gain_{A1}| = 3, |Gain_{A2}| = 2 \times 2 \times 2 = 8$$

$$\sqrt{S_v} = \sqrt{2} \times \sqrt{4k_B T R_{bb'} + 2qI_B \left( \frac{R_{bb'} + R_s}{R_{bb'} + R_s + h_{11}} \right)^2 + \frac{2qI_C}{g_m} + \frac{4k_B T}{g_m^2}}$$

$$\sqrt{S_v} \approx \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{2qI_C}{\beta} R_s^2 + \frac{2(k_B T)^2}{qI_C}} \Rightarrow I_{Copt} \approx 4 \text{ mA, (pour bruit)}$$

$$I_C = 4 \text{ mA} \rightarrow \sqrt{S_v} \approx 600 \text{ pV}/\sqrt{Hz}, h_{11} \approx 1500 \Omega;$$

$$I_C = 2 \text{ mA} \rightarrow \sqrt{S_v} \approx 700 \text{ pV}/\sqrt{Hz}, h_{11} \approx 3000 \Omega.$$

## PERFORMANCES

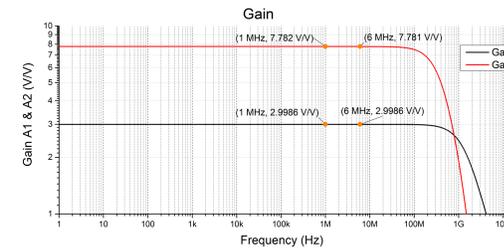


Figure 6: Gain - Simulation

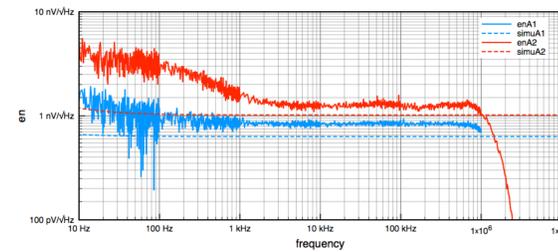


Figure 8: Bruit - Mesure

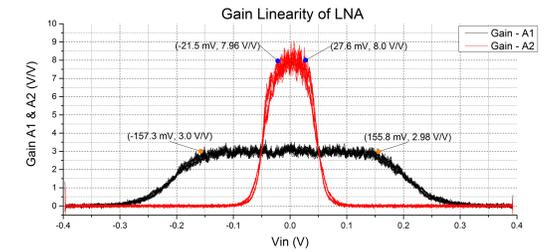


Figure 7: Linéarité - Mesure

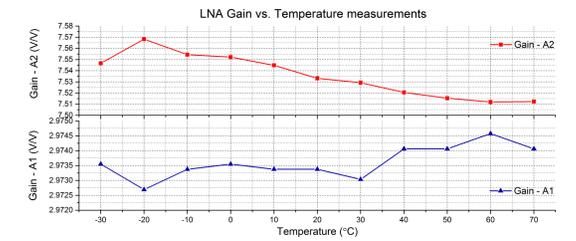


Figure 9: Gain vs. Température - Mesure

## SYSTÈME D'AJUSTEMENT DE COURANT DE CHARGE EN AC

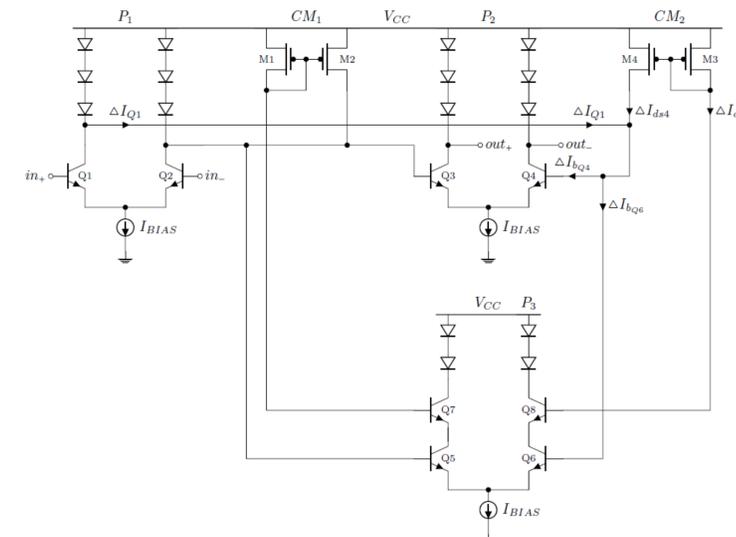


Figure 10: Système d'ajustement du courant de charge en AC

- $\mu_p$ : Mobilité des trous dans PMOS
- $C_{ox}$ : capacité de l'oxyde de grille par unité de surface
- $V_{th}$ : Tension de seuil
- $\lambda$ : Coefficient de modulation de la longueur du canal
- $W$ : Largeur du canal des PMOS
- $L$ : Longueur du canal des PMOS

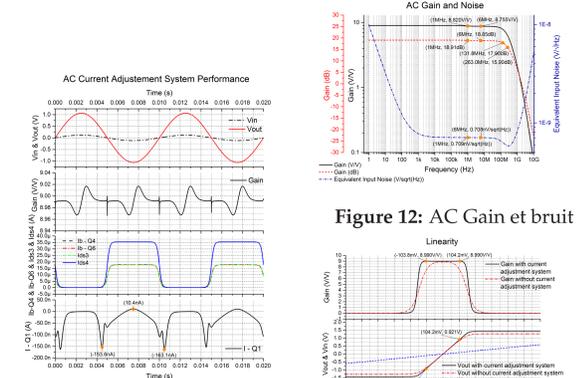


Figure 11: Performance de l'ajustement du courant AC

Figure 12: AC Gain et bruit

Figure 13: Linéarité

$$Si \Delta I_{bQ4} \approx \Delta I_{bQ6} \approx \Delta I_{dS3} \text{ (1) et } \Delta I_{dS4} \approx 2\Delta I_{dS3} \text{ (2)}$$

$$\Rightarrow \Delta I_{Q1} = \Delta I_{bQ4} + \Delta I_{bQ6} - \Delta I_{dS4} \approx 0 \text{ (3)}$$

$$g_m = \frac{dI_{DS}}{dV_{GS}} = \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})(1 + \lambda V_{DS})$$

$$avec L = 25 \mu m, \lambda \approx 0, \frac{dI_{DS3}}{dI_{dS4}} \approx \frac{\Delta I_{dS3}}{\Delta I_{dS4}} \approx \frac{(W/L)_3}{(W/L)_4} = \frac{1}{2} \Rightarrow \text{(2)}$$

$$\frac{dI_B}{dV_{BE}} = \frac{qI_C}{\beta k_B T}, avec W = 25 \mu m \Rightarrow \beta_{Q6} \approx \beta_{Q8}, \Rightarrow \text{(1)}$$

## RÉFÉRENCES

- Damien Prêle and others. Gain drift compensation with no feedback-loop developed for the X-Ray Integral Field Unit/ATHENA readout chain. *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 2016.
- R. den Hartog and others. Requirements for the detectors and read-out of ATHENA X-IFU. In *SPIE Astronomical Telescopes+ Instrumentation*, 2014.

## REMERCIEMENT

Supported by CNRS and CNES under the WFEE project.

## CONTACT INFORMATION

Web [www.apc.univ-paris7.fr](http://www.apc.univ-paris7.fr) Email [sichen@apc.in2p3.fr](mailto:sichen@apc.in2p3.fr)