



# Awaxe\_v1: ASIC pour la mission spatiale ATHENA

APC – Microélectronique

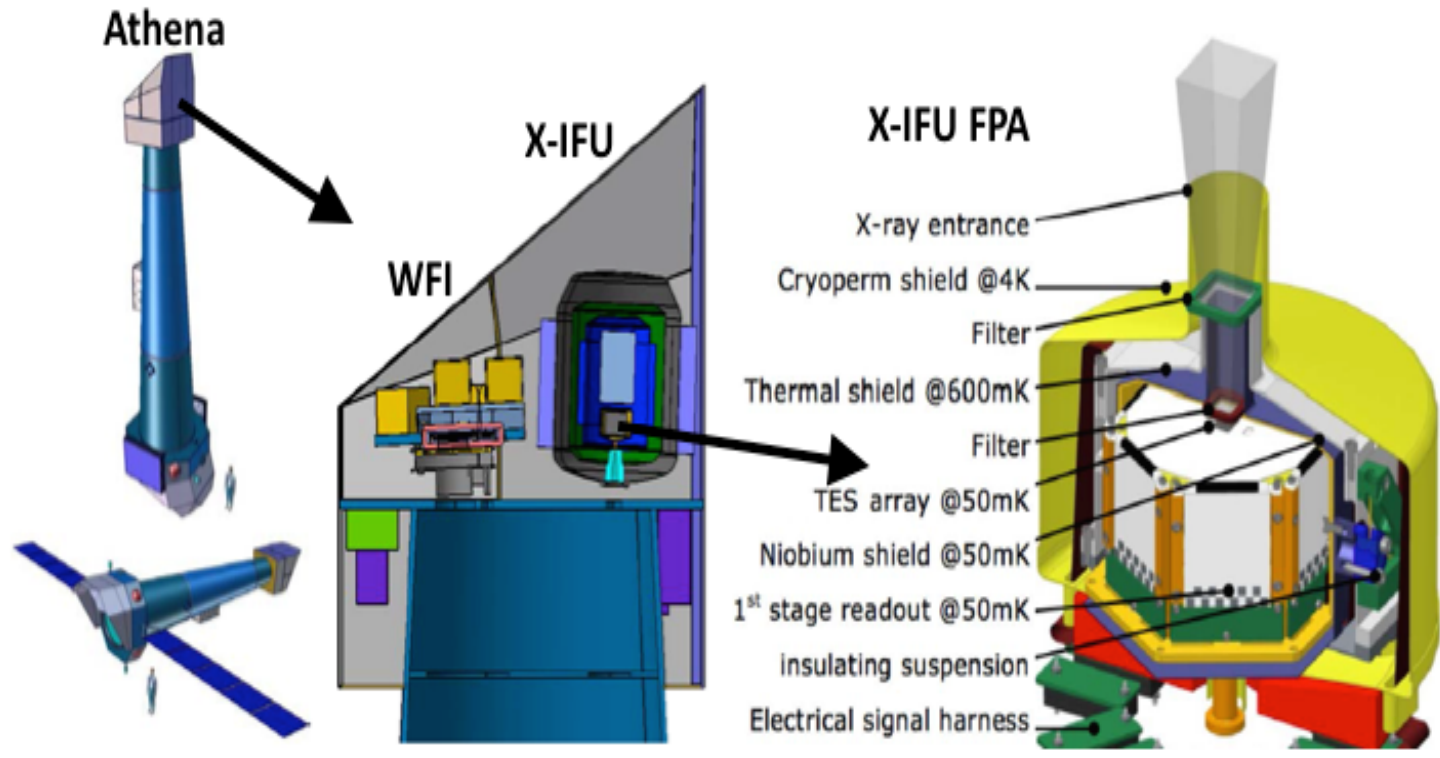
C. Beillimaz, D. Prêle, F. Voisin, S. Chen

- Mission type L de l'ESA (**ATHENA** : **A**dvanced **T**elescope for **H**igh **E**Nergy **A**strophysics)

Lancement prévu en 2028

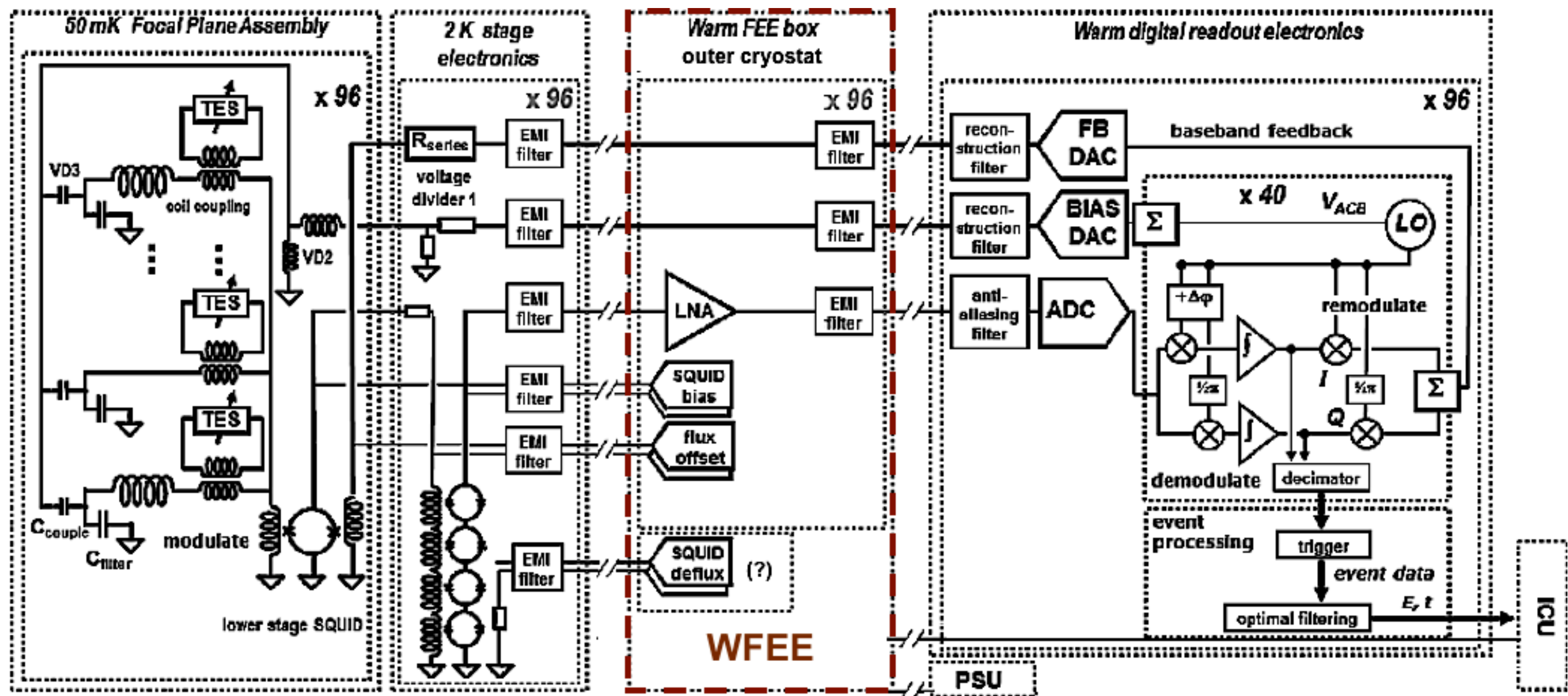


- APC impliqué dans l'étude de l'instrument **X-IFU** (**X**-Ray **I**ntegral **F**ield **U**nit)



=> conception d'ASIC pour la chaîne de lecture X-IFU





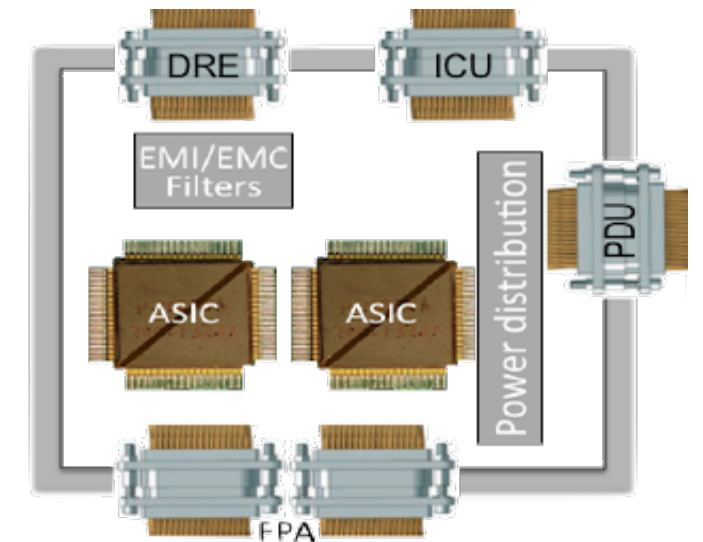
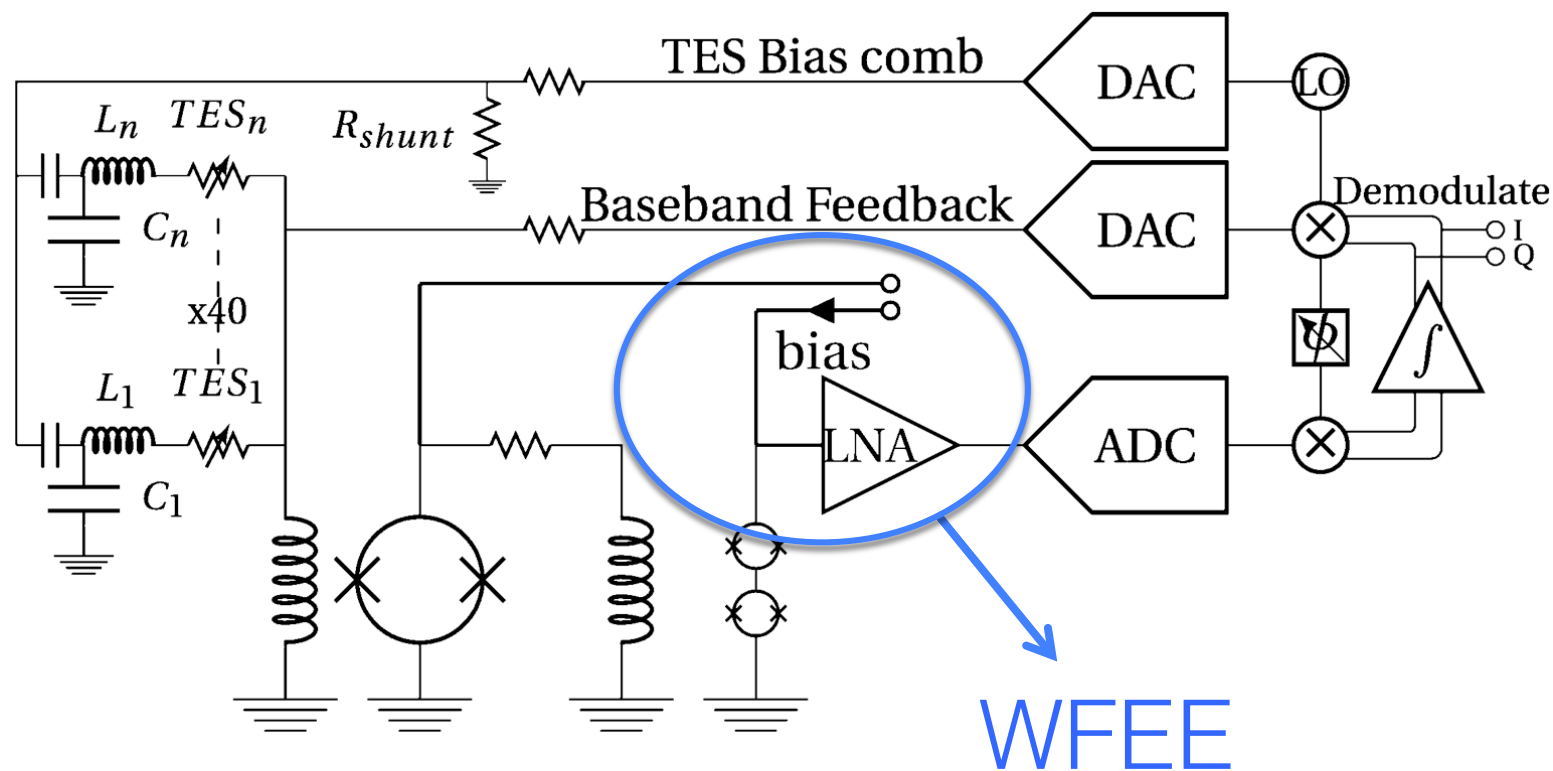
3840 TES en FDM avec un taux de 40 => **96 voies**  
=> Impossible à réaliser en électronique discrète

## Rôle du WFEE

- 1) Amplification très bas bruit
  - 2) Polarisation SQUID
- } X 96

## Contenu du WFEE

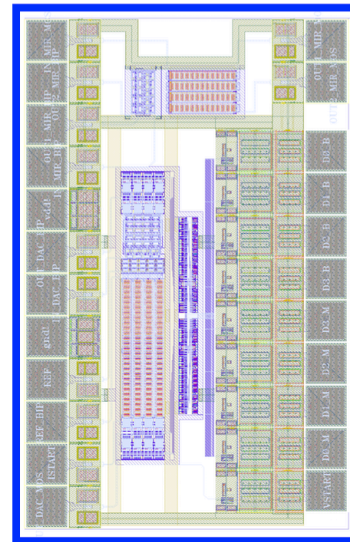
- 96 LNA
- 384 DAC polar SQUID
- 192 décodeurs I2C
- 12 ASIC (8 voies par ASIC)





- Caractérisation de sources de polarisation en courant (awaXe\_v1a)
- Mesures des performances de 3 topologies d'amplificateurs (awaXe\_v1b)
- Tests aux radiations des 3 sous circuits
- Validation fonctionnelle du bloc I2C (awaXe\_v1c)

awaXe\_v1a

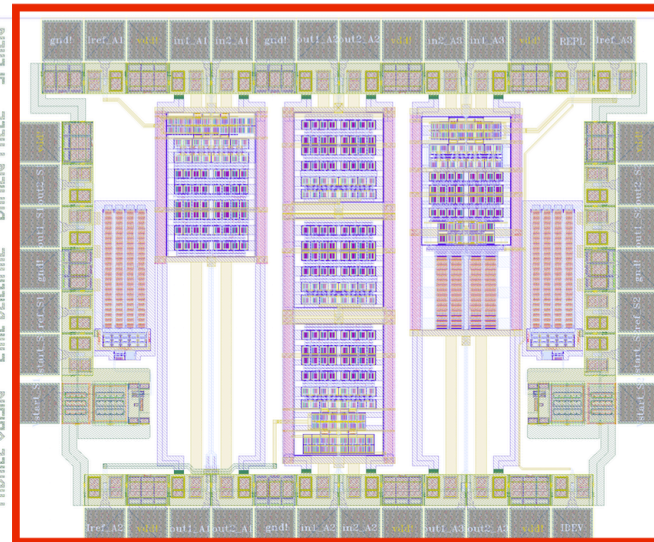


Dimensions = 2,2 x 2,2 mm

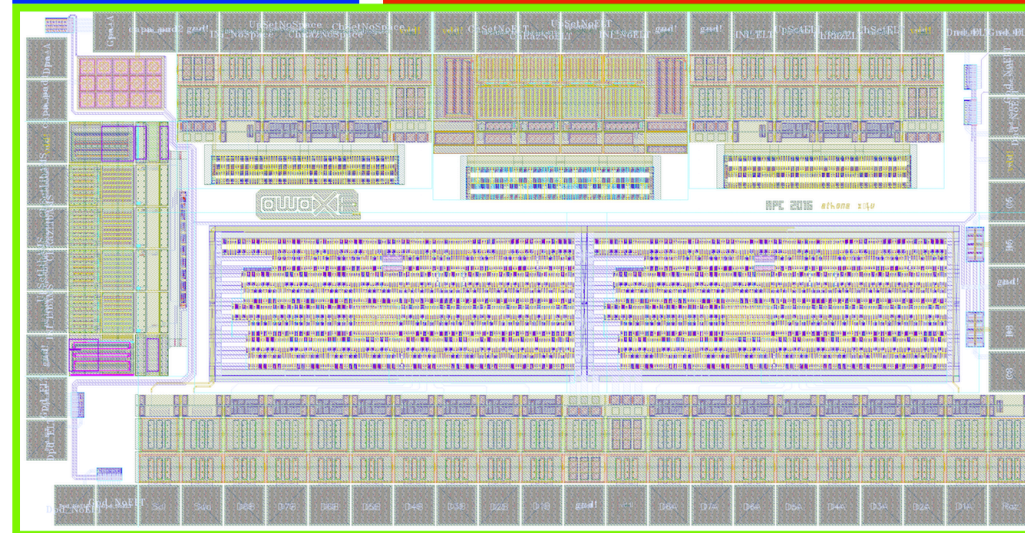
Technologie BiCMOS SiGe 0,35µm d'AMS :

- Bonne performances fréquentielles
- Pérennité de minimum 10 ans assurée

awaXe\_v1b



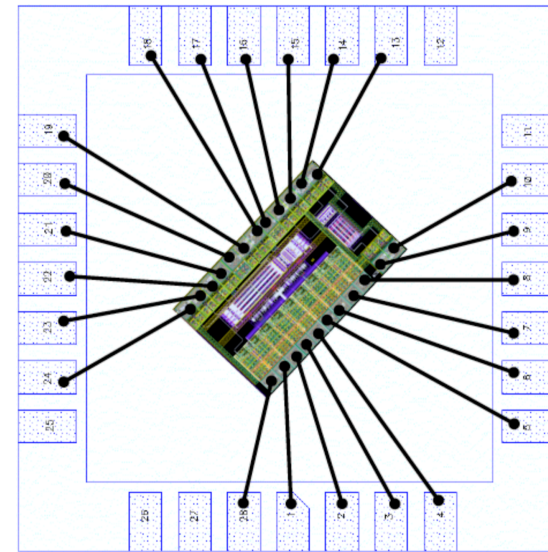
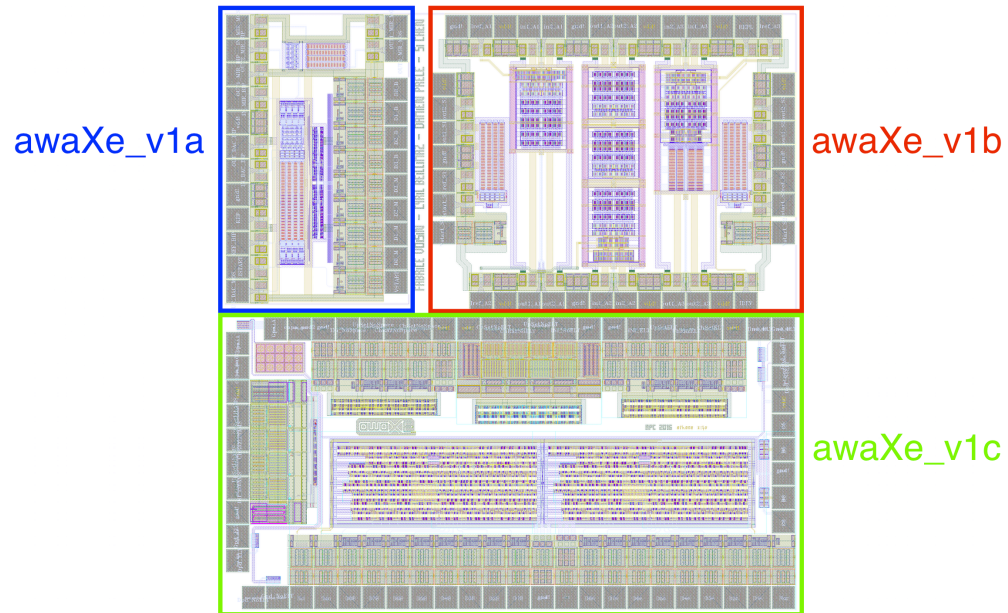
awaXe\_v1c



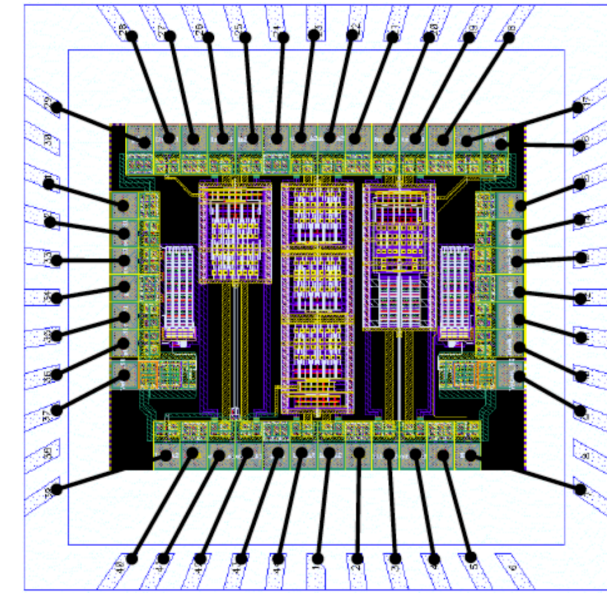
Vue globale de l'ASIC awaXe v1



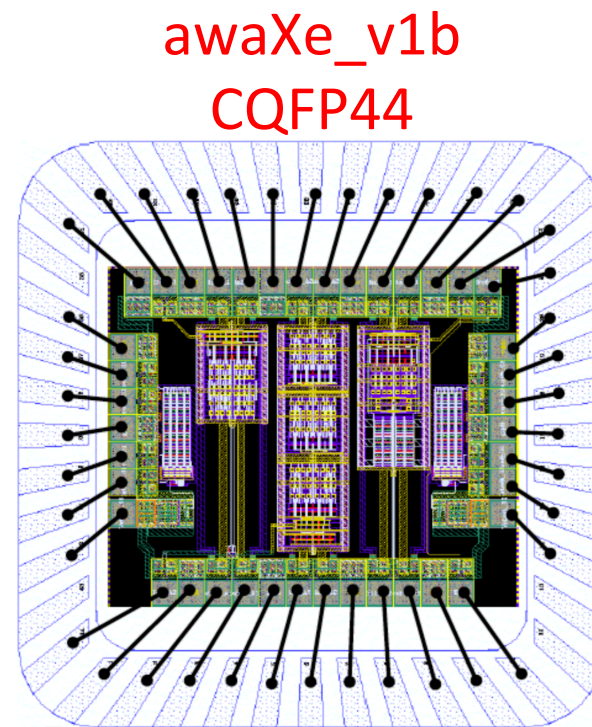
- a) 5 x JLCC28
- b) 5 x JLCC44 et 5 x CQFP44
- c) 5 x JLCC68
- + 5 puces nues



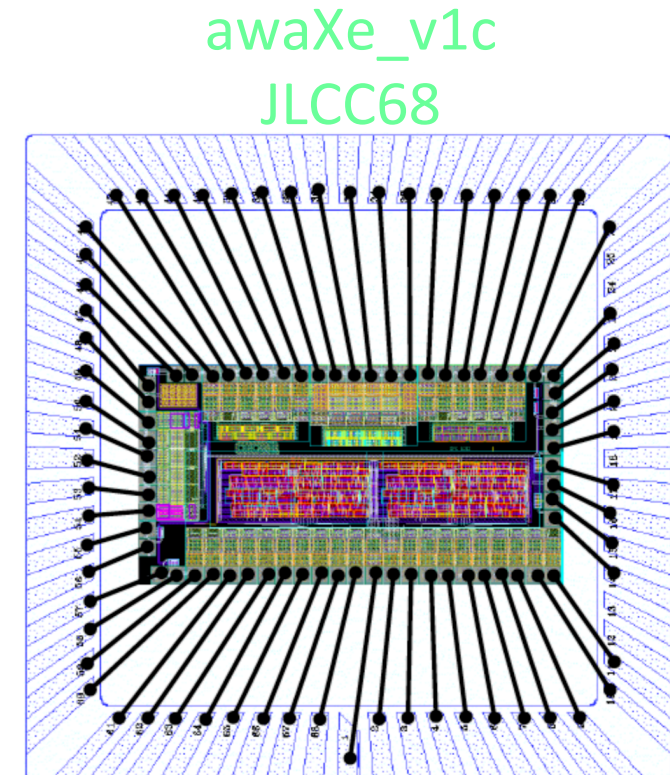
awaXe\_v1a  
JLCC28



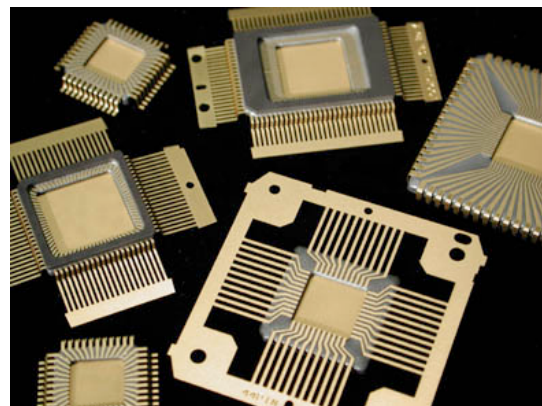
awaXe\_v1b  
JLCC44



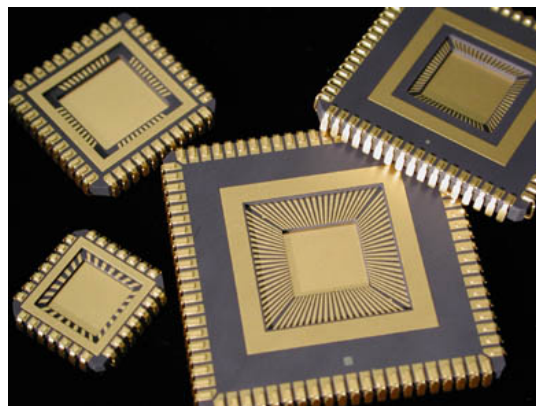
awaXe\_v1b  
CQFP44



awaXe\_v1c  
JLCC68



Boitier CQFP



Boitier JLCC

Meilleures performances visées  
avec le boitier type CQFP



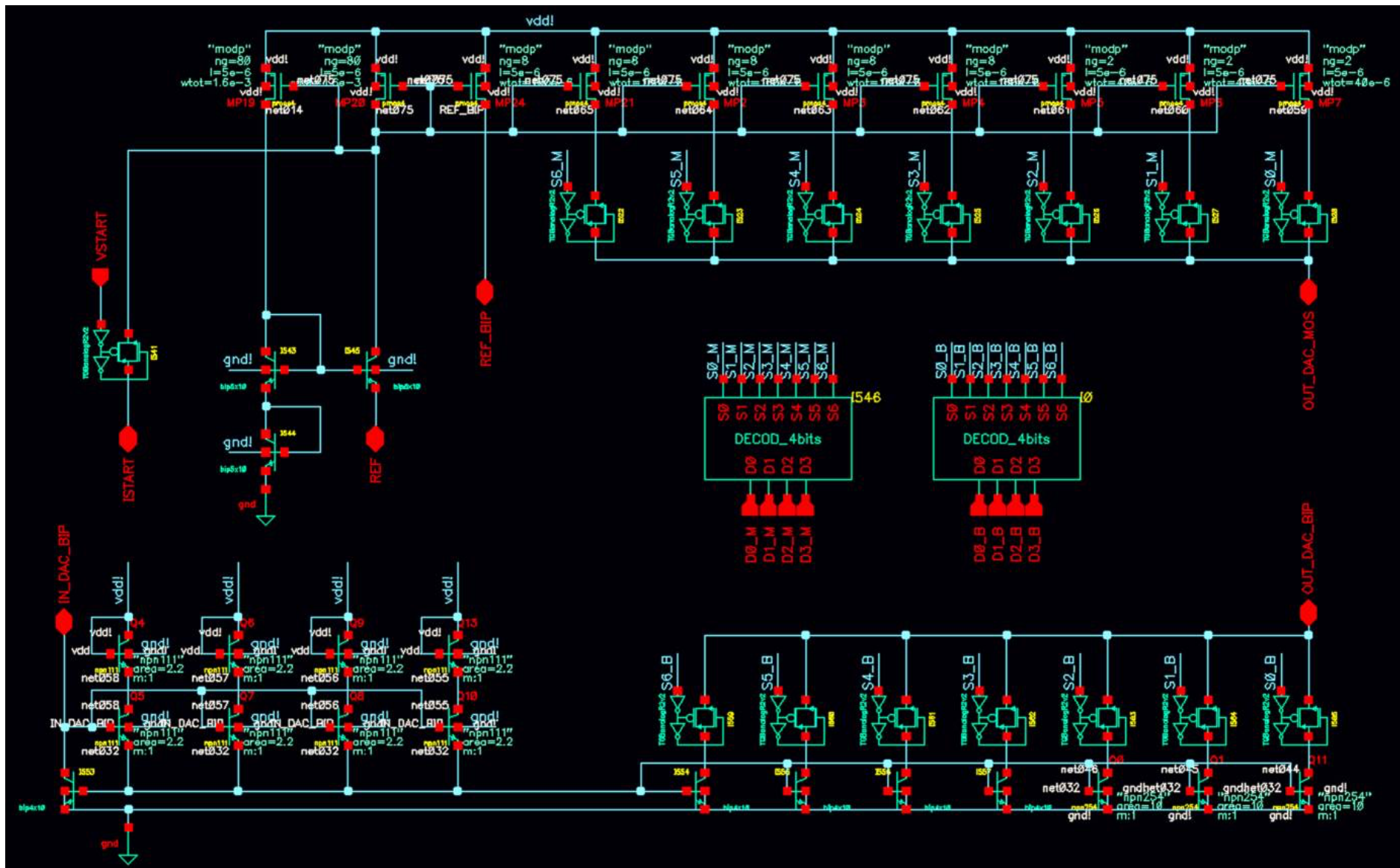
## Fonction : polariser les SQUID

Courant nominal de référence pour le cœur de source = **100μA**  
(Rbias = 7kΩ)

Dynamique : **5μA à 40μA**

Pas = **2,5μA**

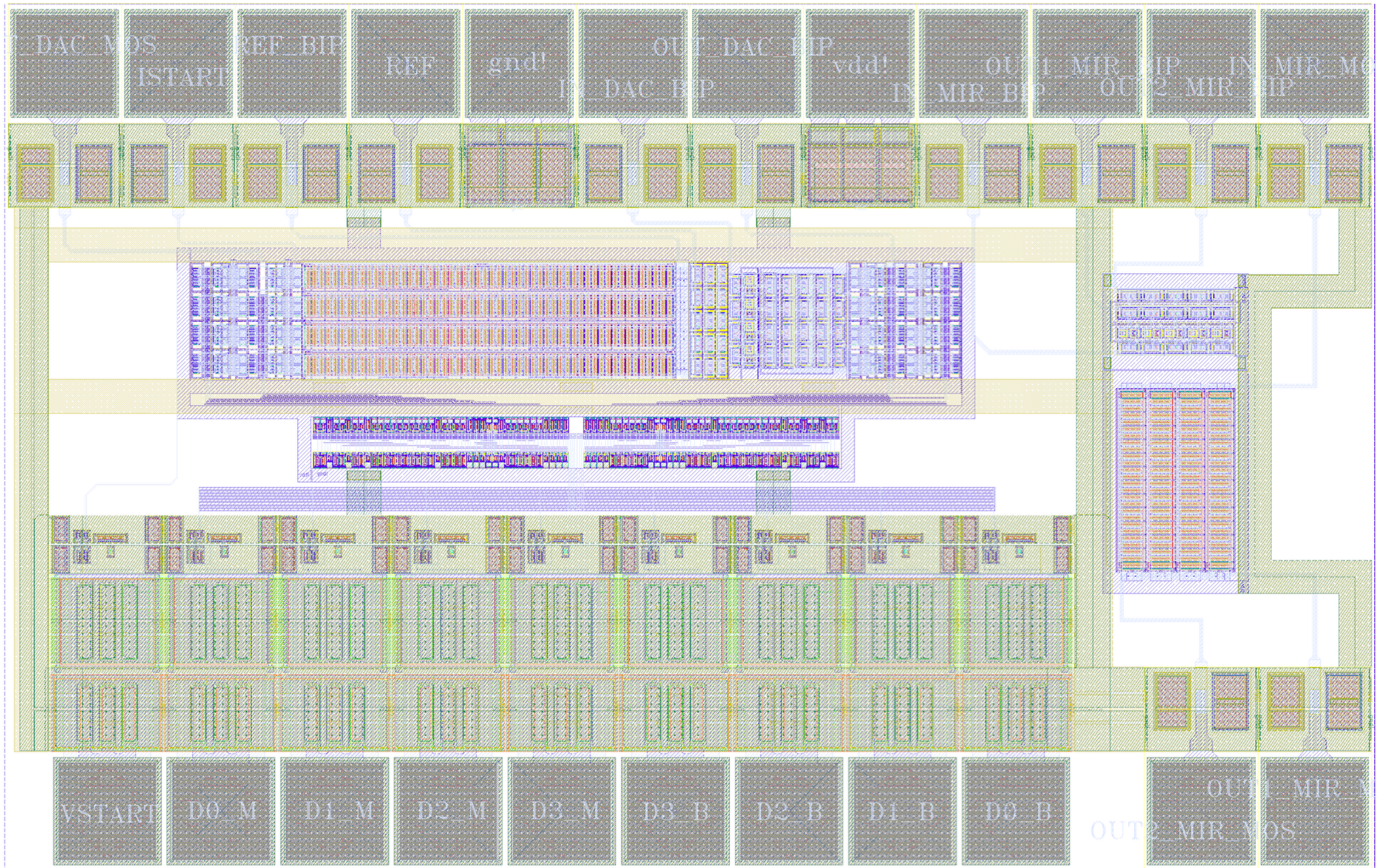
Nb pas = **15**



## Contenu :

- 1 DAC MOS 4 bits
- 1 DAC Bipolaire 4 bits
- 1 miroir de courant MOS
- 1 miroir de courant bipolaire

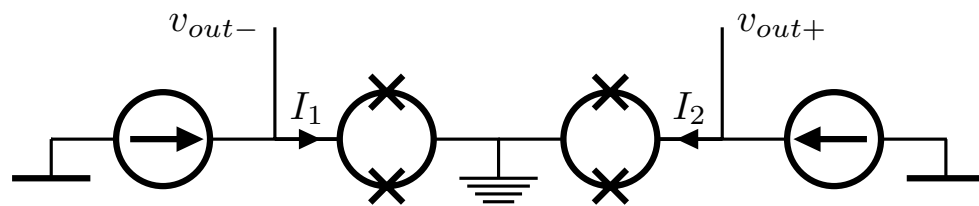




100  $\mu$ m

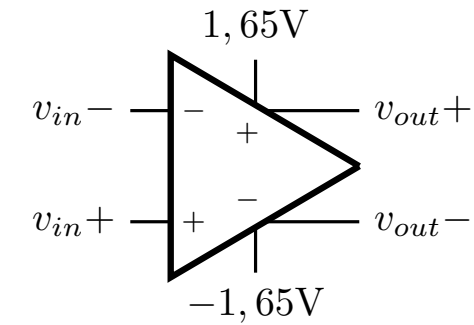


## SQUID différentiels



=>

## Amplificateurs différentiels



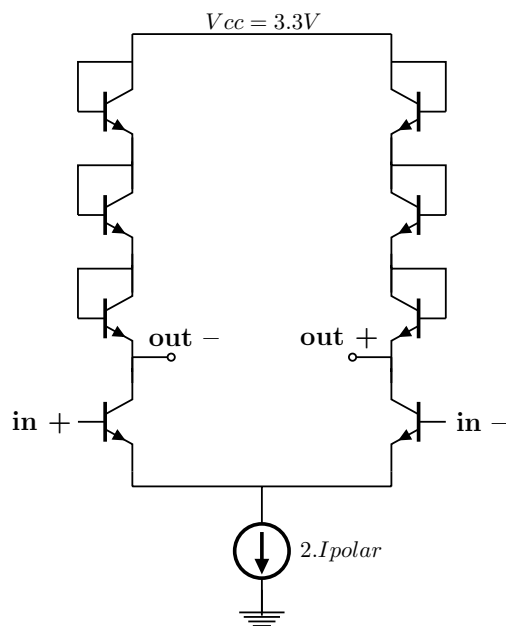
### Performances requises :

- Niveau de bruit  $< 1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Gain **stable** vis à vis des fluctuations de température et d'alimentation ( $< 17\mu\text{V}/\text{V}$ )
- Bande passante : 1MHz à 6MHz  
(=> structure à diodes)

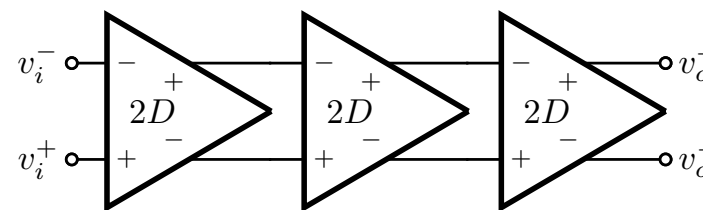
### Contenu :

- 1 ampli 3 diodes (1)
- 3 amplis cascades à 2 diodes (2)
- 1 ampli à déviation du courant (3)
- 2 sources de polarisation

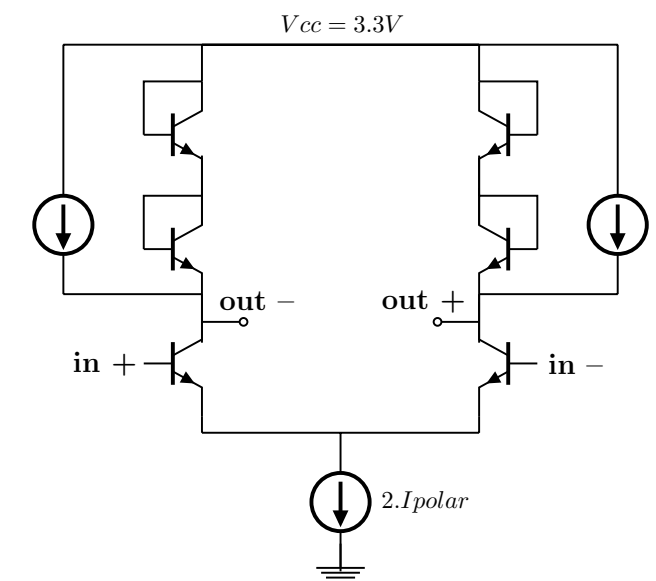
(1)



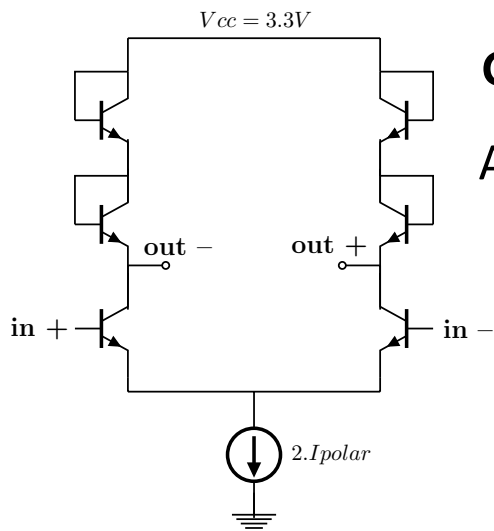
(2)



(3)



## Ampli 2 diodes



**Gain en tension**  $A_v = -g_{m1}(2/g_{m2})$

Avec  $g_{m1} = g_{m2} = q \cdot I_c / k_B \cdot T$

$$\Rightarrow |A_v| = 2$$

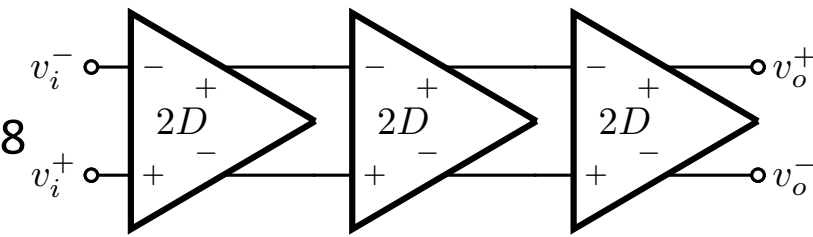
**Bruit ramené en entrée :**

$$e_n^2 = 4 \cdot (k_B \cdot T)^2 / (q \cdot I_c) \propto 1 / I_c$$

## 3 amplis à 2 diodes cascades

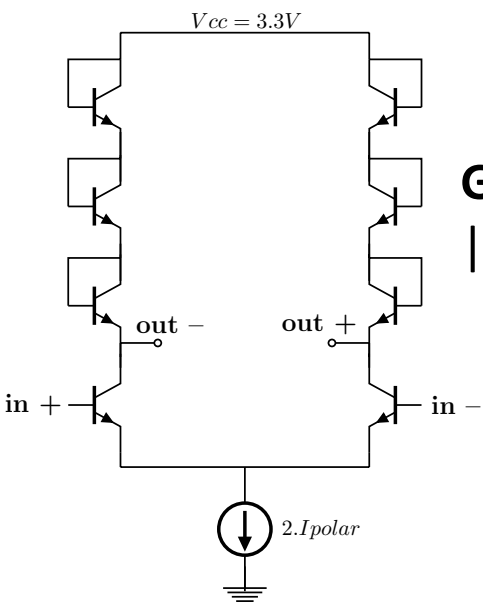
**Gain en tension**

$$|A_v| = 2 \times 2 \times 2 = 8$$



(c'est principalement le 1<sup>er</sup> étage qui contribue au bruit)

## Ampli à 3 diodes



**Gain en tension**

$$|A_v| = 3$$

## Ampli à déviation du courant

**Gain en tension**

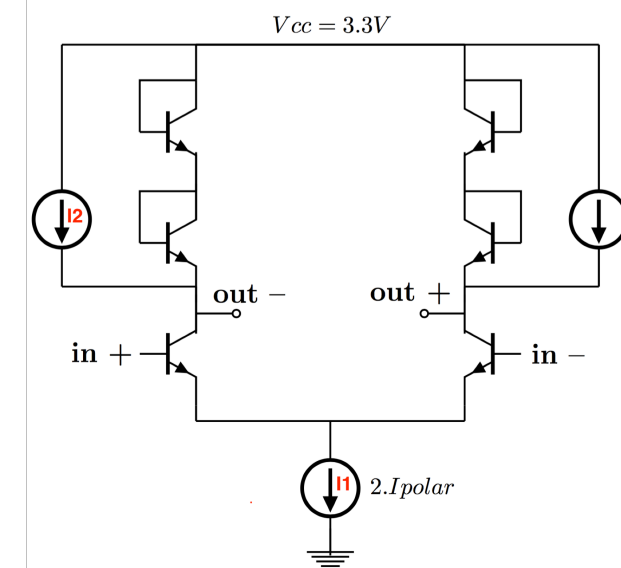
$$A_v = -g_{m1} \cdot (2/g_{m2})$$

Si  $I_2 = M \cdot I_1$  avec  $M = 0,8$

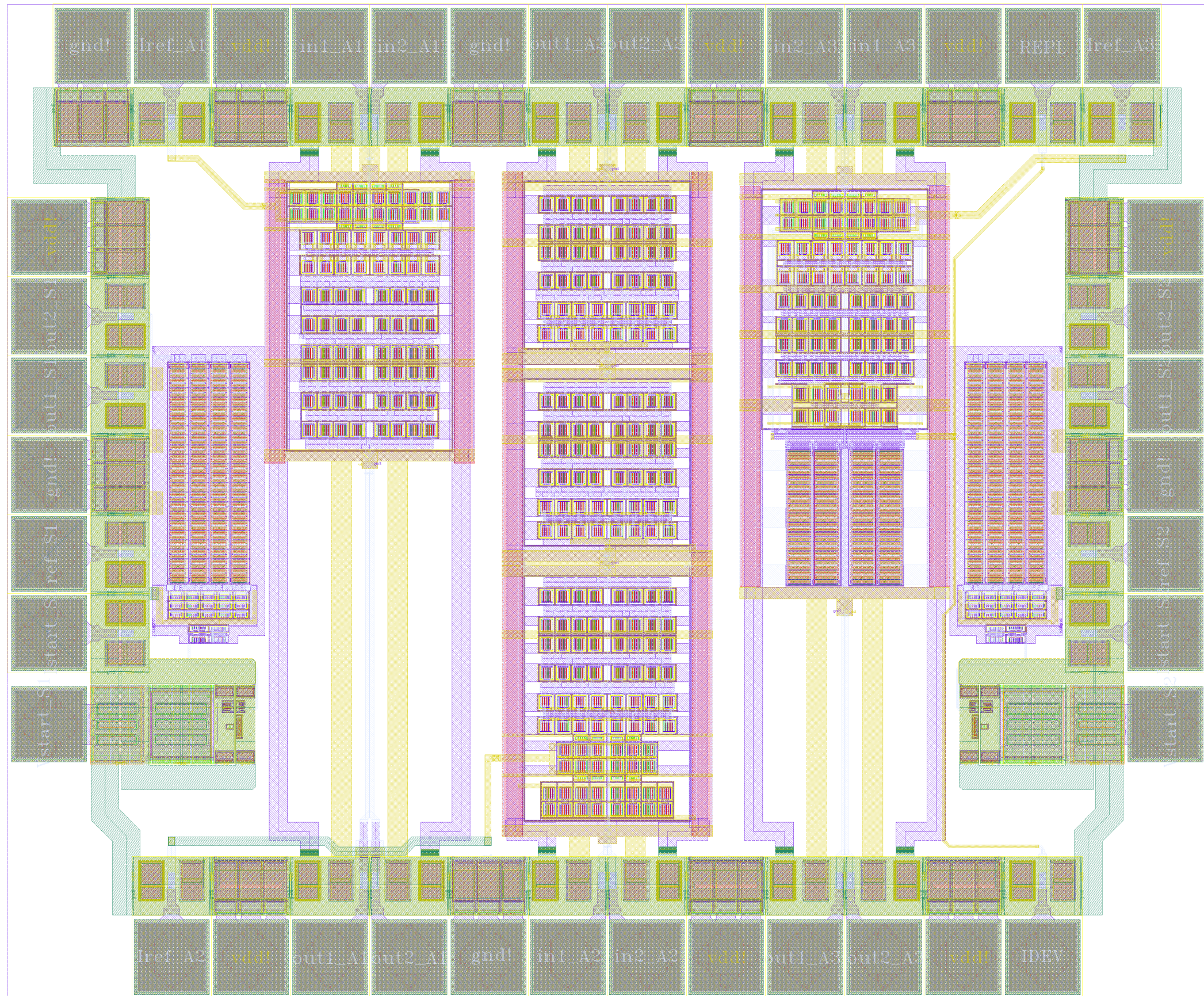
$$\Rightarrow g_{m1} > g_{m2}$$

$$\Rightarrow |A_v| = 2 / (1 - M)$$

$$\Rightarrow |A_v| = 10$$







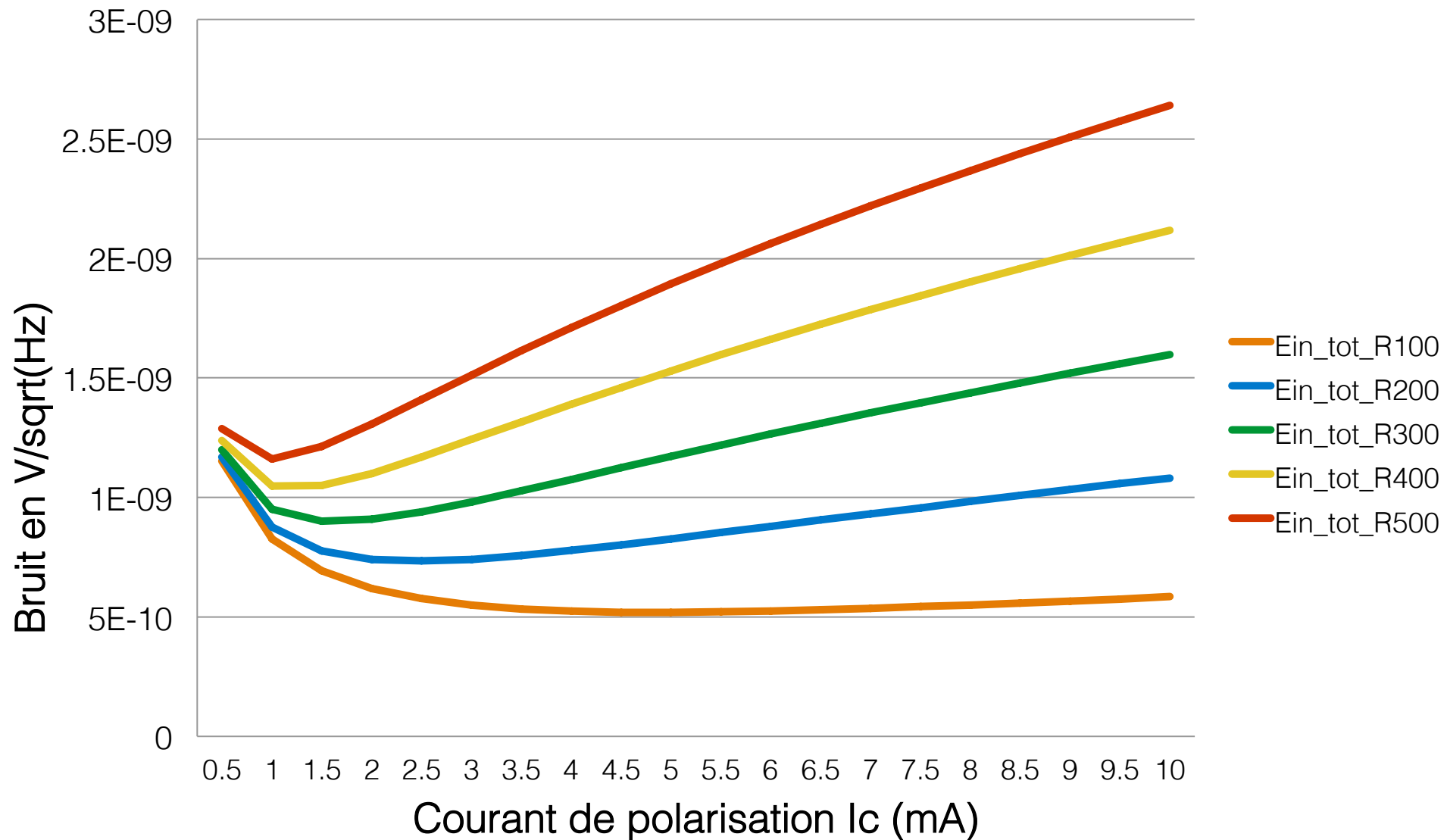
200 μm



Conditions	Paramètres	Ampli 3D		Ampli cascadié 2x2x2	Ampli 2D + dev
<b>Ic</b>		2 mA (nom)	6 mA (opt)	1 mA	$I_1=2\text{mA}, I_2=0.4\text{mA}$
<b>Rs = 0Ω</b>	<b>Av<sub>D</sub></b>	2.998	2.998	7.785	10.108
	<b>Fc à -1dB</b>	784 MHz	2.12 GHz	113.2 MHz	179.7 MHz
	<b>f<sub>1/f</sub></b>	1,052 Hz	4.5 Hz	3.62 Hz	172.6 Hz
	<b>En<sub>IN</sub></b>	634.4 pV/√Hz	460 pV/√Hz	1.023 nV/√Hz	605.9 pV/√Hz
<b>Rs = 200Ω</b>	<b>Av<sub>D</sub></b>	2.87	2.202	6.658	10.033
	<b>Fc à -1dB</b>	82.17 MHz	90.4MHz	79.4 MHz	44.68MHz
	<b>f<sub>1/f</sub></b>	321.6 Hz	1.474 KHz	51.67 Hz	479.88 Hz
	<b>En<sub>IN</sub></b>	737.8 pV/√Hz	820.4 pV/√Hz	1.066 nV/√Hz	720.9pV/√Hz

Conditions	Paramètres	Ampli 3D		Ampli cascadié 2x2x2	Ampli 2D + dev
<b>T = 310K, Vcc = 3.3V</b>	<b>Av<sub>D</sub></b>	2.998	2.914	7.774	10.1
<b>T = 300K, Vcc = 3.6V</b>	<b>Av<sub>D</sub></b>	2.998	2.998	7.785	10.156

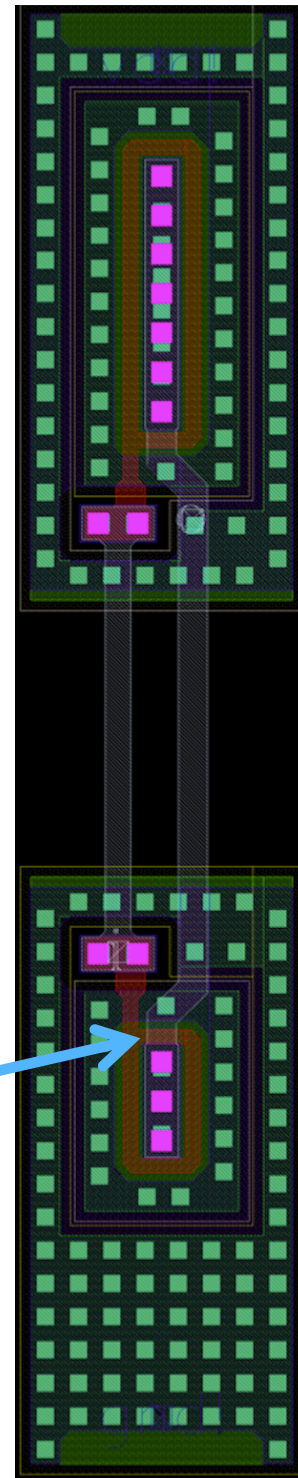
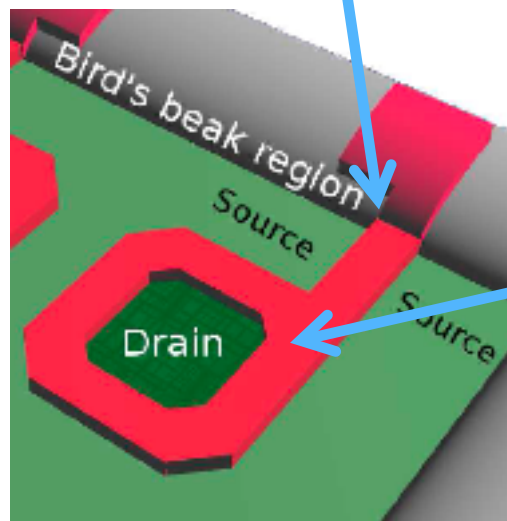
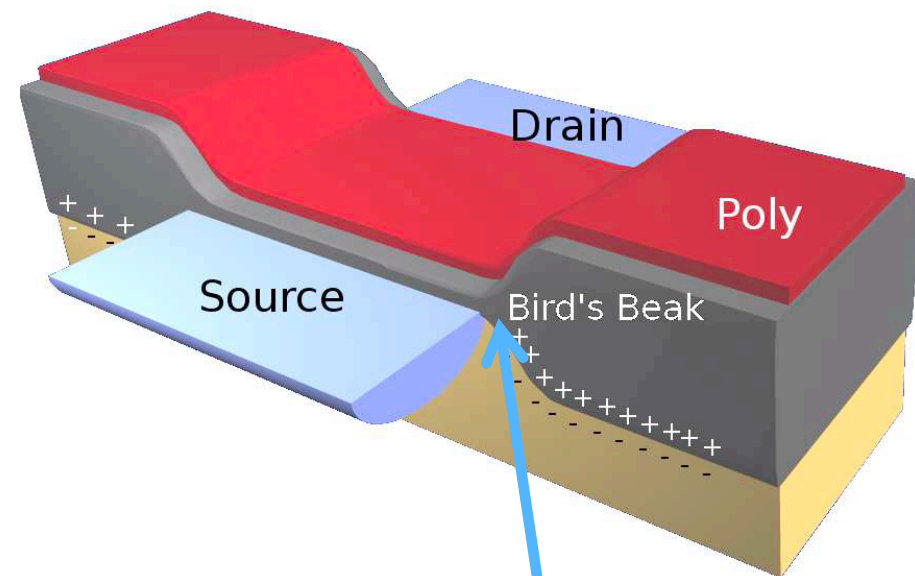
Tension de bruit ramenée en entrée sur l'amplificateur à 3 diodes  
 $f(I_c, R_{source})$



$$e_{n_{in}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot I_c \cdot R_s^2}{\beta} + \frac{2 \cdot (k^B \cdot T)^2}{q \cdot I_c}}$$

(Charge idéale, non bruyante)

Valeur maximale  $R_s \approx 200\Omega$   
 Polarisation optimale = 2 mA ( $R_s = 200\Omega$ )



### Effet de dose :

- charges piégées dans l'oxyde épaisse
- Décalage de la tension de seuil

### Solution:

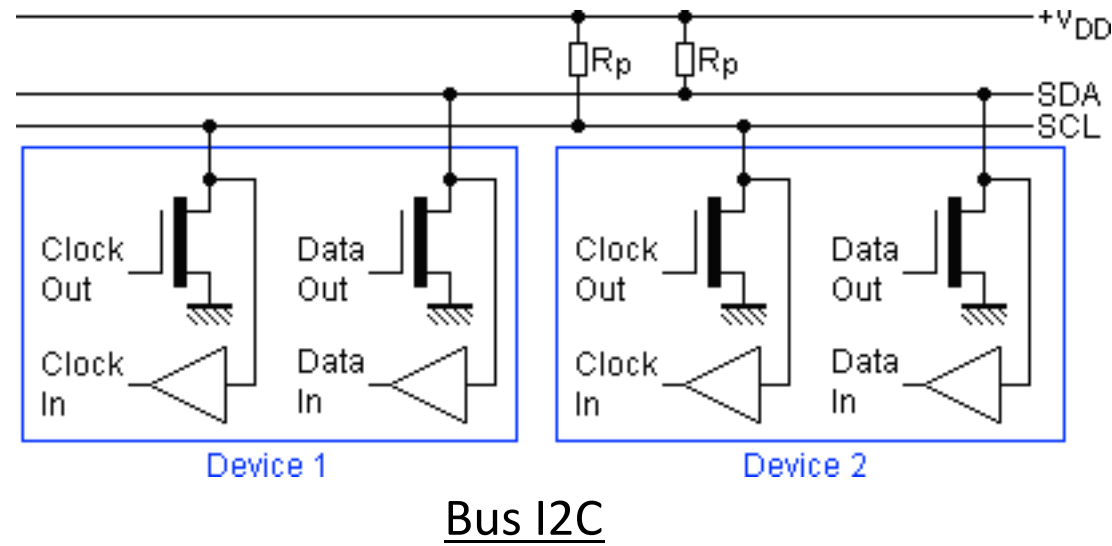
- ELT : Enclosed Layout Transistor
- Zone active éloignée du bec d'oiseau

Inverseur « rad-hard »



## I2C :

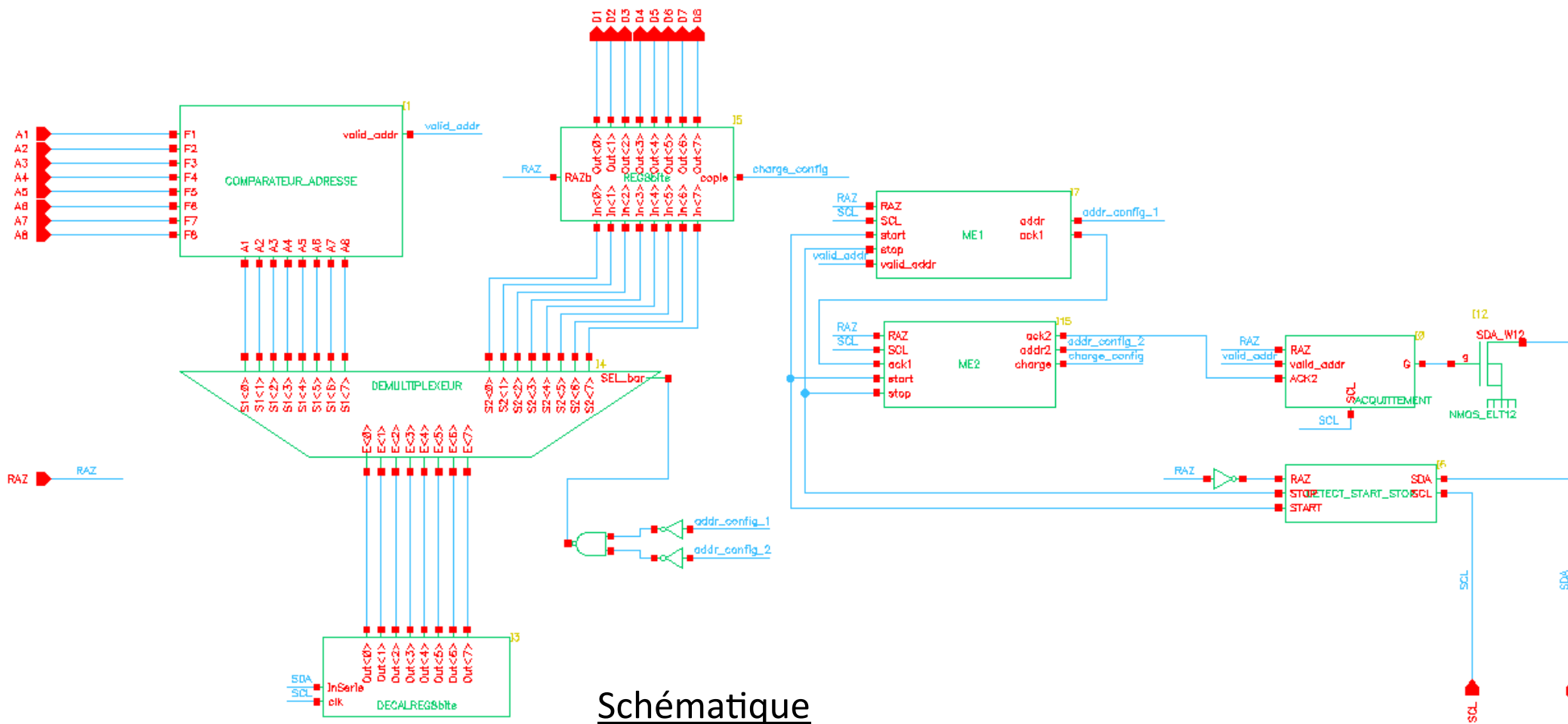
- Protocole standard
- Uniquement deux fils SDA et SCL
- Bits d'acquittement
- 8 bits d'adresse (suppression bit DIR)
- 8 bits de données

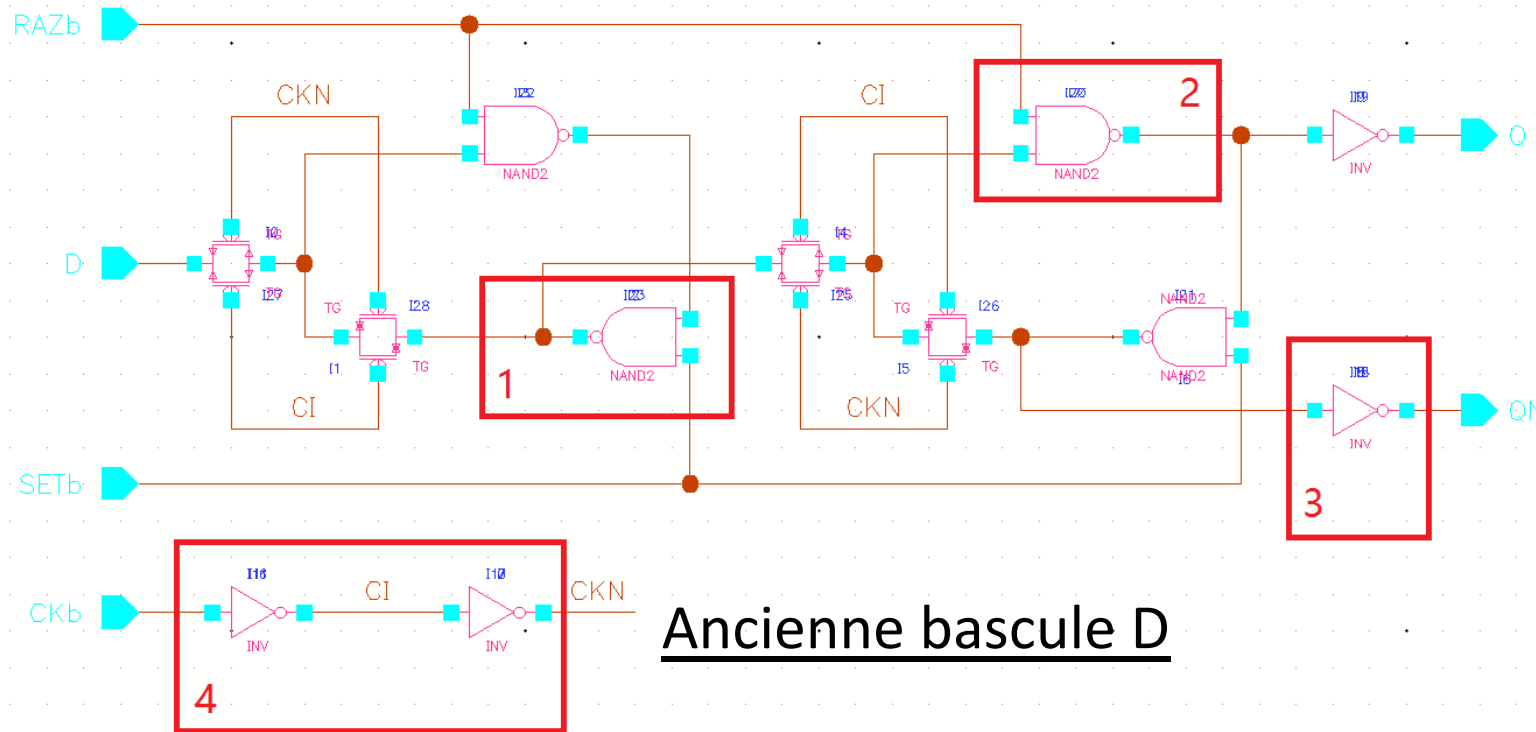


## Layout



**Dimensions :**  
367um x 890um





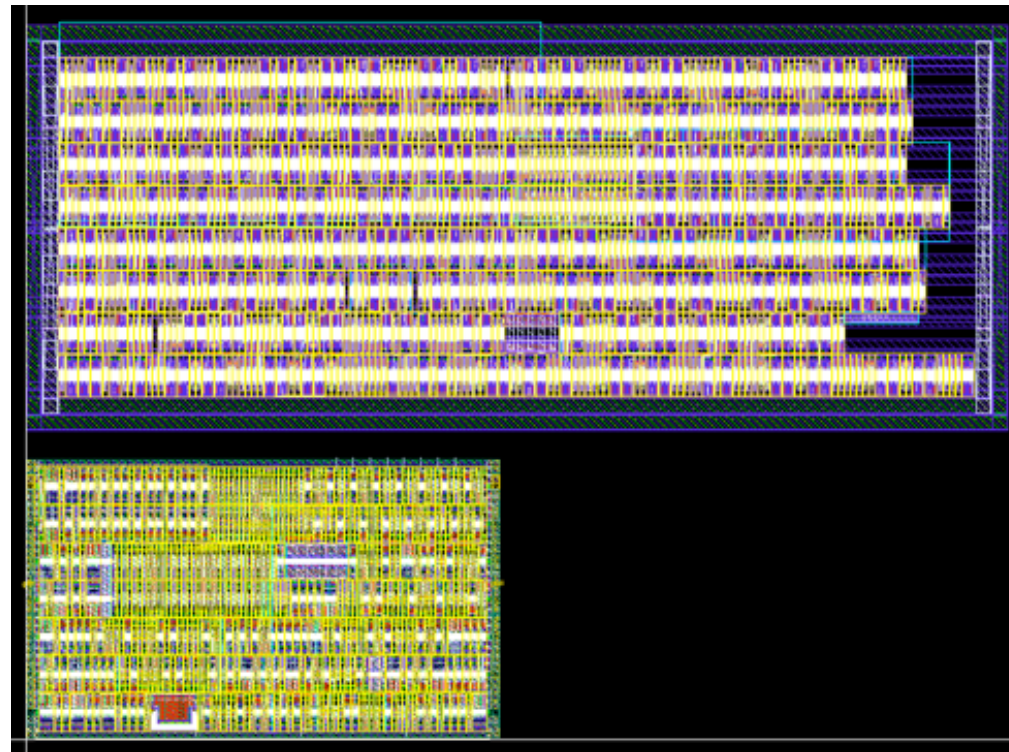
- 1) Suppression du SETb
- 2) Suppression du RAZb
- 3) Suppression de la sortie Q/
- 4) Suppression de l'horloge interne

## Ancien décodeur I2C

Dimensions :  
367um x 890um

## Nouveau décodeur I2C

Dimensions :  
253um x 429um





## Mesures de performances

### AwaXe v1a

- Caractérisation des sources de courant
  - Stabilité dans le temps
  - Sensibilité vs Temp et Vsupply
  - Linéarité des DACs

### AwaXe v1b

- Mesures du gain sur la bande 1MHz – 6MHz
  - Stabilité dans le temps
  - Sensibilité vs Temp et Vsupply
- Caractérisation des amplificateurs en bruit
- Mesure de linéarité dynamique

### AwaXe v1c

- Test fonctionnel des interfaces I2C
- Caractérisation de transistors isolés

## Tests aux radiations

- Dose : exposition du circuit à une source radioactive (Cobalt)
- SEL (latchup) : ions lourds à Louvain la neuve
  - Chaque alimentation est propre à un sous circuit
- SEU : tests de logique séquentielle en accélérateur ou par source laser (uniquement sur AwaXe\_v1c)