

PROJET EMCA

MÉNENDEZ CARDENES Claudia et SOUAL Kilian

Introduction

L'utilisation de systèmes embarqués augmente fortement de nos jours. De nos téléphones portables, à nos voitures, tous est équipé de cartes électroniques qui nécessitent d'être alimentées. Malheureusement, les alimentations, qui sont des éléments critiques, sont sensibles aux variations de températures. C'est pourquoi il est nécessaire de les stabiliser autour d'une valeur connue, ou au moins minimiser leur dérive par rapport à ce paramètre. Pour cela, il existe de nombreuses options et circuits, comme le **Voltage Reference Circuit**, que nous avons modélisé et de simuler. [1]

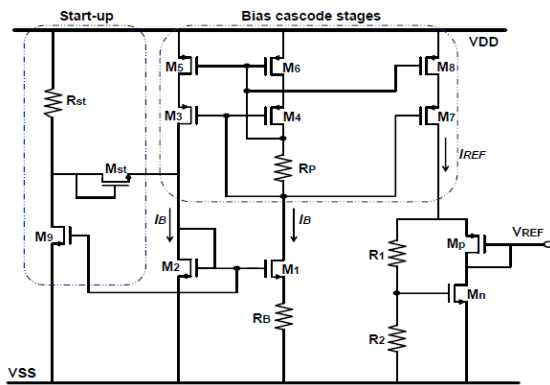


Figure 1 : Voltage Reference Circuit.

Principe du circuit

Le circuit est constitué d'un étage de démarrage (start-up circuit) qui permet de stabiliser le courant initial. Le second étage est un miroir de courants disposé en **cascade**. En effet, le courant passant dans $M_{6,4}$ sera une image du courant passant dans $M_{5,3}$ qui dépend du rapport des tailles des transistors. Cet étage génère le courant I_{bias} , qui est le courant qui permettra de générer V_{ref} . Enfin, on observe l'étage de sortie. Pour obtenir une tension V_{ref} souhaitée, on doit calculer la valeur des tailles des transistors (rapports W/L) en fonction de leur régime de fonctionnement. Vous trouverez dans le tableau ci-dessous les paramètres des tailles des transistors et les valeurs de résistances qui minimisent au mieux le coefficient de température et aux variations dues à la radiation.

Table 1. Voltage references bias setting and devices dimensions.

Parameter	Description	Value
VDD	Power supply	2.5 V
I_B	Bias current @25 °C	2.5 μ A
$(W/L)_1$	Size of NMOS M_1	40 μ m/0.5 μ m
$(W/L)_2$	Size of NMOS M_2	10 μ m/0.5 μ m
$(W/L)_{3-6}$	Size of PMOS M_3, M_4, M_5 and M_6	10 μ m/0.5 μ m
$(W/L)_{7-8}$	Size of PMOS M_7 and M_8	25 μ m/0.5 μ m
$(W/L)_p$	Size of PMOS M_p	200 μ m/0.5 μ m
$(W/L)_n$	Size of NMOS M_n	20 μ m/1 μ m
$(W/L)_9$	Size of NMOS M_9	5 μ m/0.5 μ m
$(W/L)_{st}$	Size of NMOS M_{st}	5 μ m/1 μ m
R_B	R_B resistor value	25 k Ω
R_1	R_1 resistor value	50 M Ω
R_2	R_2 resistor value	20 M Ω
R_{st}	R_{st} resistor value	1.5 M Ω

Figure 2 : Valeurs des composants.

Simulation sur DSCH

Une fois la recherche sur le circuit effectuée, il nous a fallu valider le fonctionnement du circuit sur DSCH (avant conception sur μ Wind). Pour cela, nous avons reproduit le schéma de la Figure 1. Lors de la réalisation du circuit, nous avons pris la liberté de diviser les valeurs des tailles des transistor par 10 afin de coller à la dimension minimale de la technologie 3nm de μ Wind.

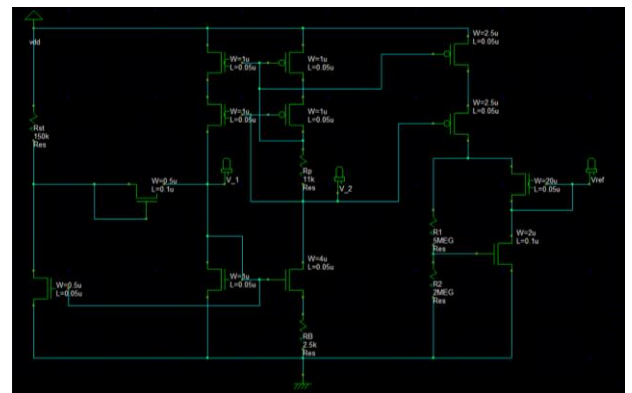


Figure 3 : Schéma de simulation DSCH.

Ensuite, nous avons performé une simulation de type Temperature Sweep sur Winspice. Cela consistait en la simulation du circuit sur une plage de températures données. Dans notre cas, nous avons performé la simulation sur une plage de 100°C (entre -50°C et 50°C) et nous en avons tiré les résultats suivants :

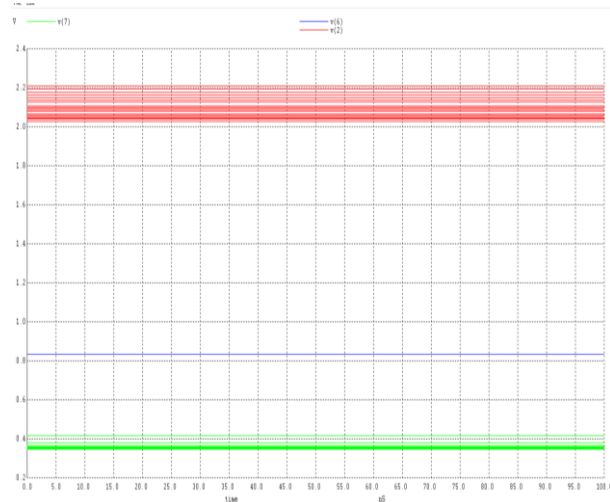


Figure 4 : Résultats du T° Sweep.

Nous pouvons apercevoir que le lien existant entre la température et la tension de sortie. Or cette notre tension de sortie ne diffère pas énormément pour des changements de température drastiques.

Implementation sur μ Wind :

Vous trouverez en annexes le schéma du circuit implémenté sur μ Wind. Vous pourriez apercevoir la différence de taille importante entre les transistors. L'utilisation de transistor de puissance est indispensable dans ce circuit [2].

Vous trouverez ci-dessous les résultats les plus pertinents trouvés lors de différentes simulations pour des températures données. Vous trouverez d'autres simulations supplémentaires réalisées en annexes [3] [4] [5] [6] [7].

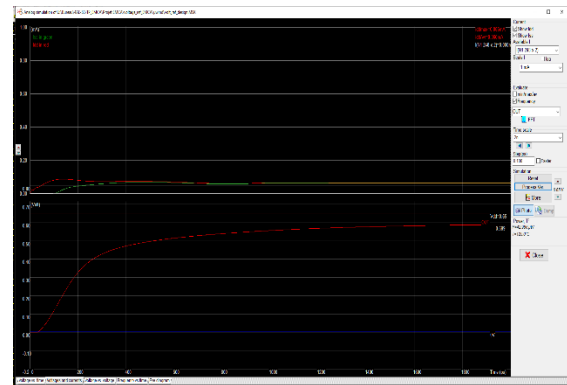


Figure 5 : Simulation pour T°= 125°C.

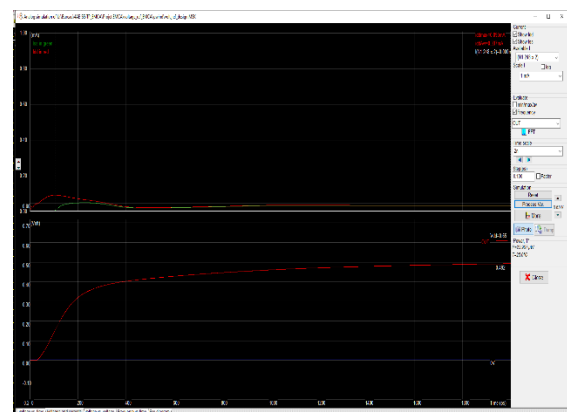


Figure 6 : Simulation pour T°= 25°C.

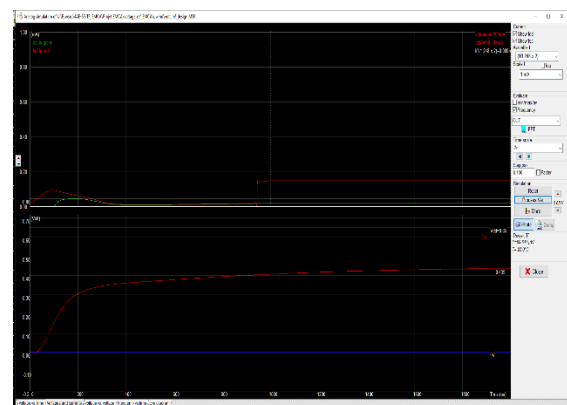


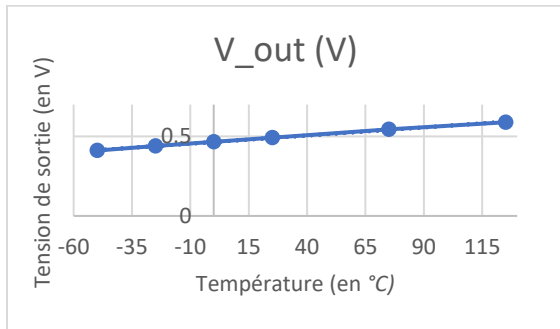
Figure 7 : Simulation pour T°= -25°C.

A partir des tensions de sorties trouvées à chaque simulation, nous les avons rangé dans un tableau et tracé une courbe d'évolution.

Température (°C)	V _{out} (V)
-50	0.411
-25	0.439
0	0.465
25	0.492
75	0.544
125	0.589

Table 1 : Résultats des simulation en T°.

Voici la courbe de l'évolution de la tension de référence en fonction de la température:



Nous pouvons observer que notre tension de sortie évolue tout de même en fonction de la température. Ce qui n'est pas satisfaisant d'un point de vue de ce que nous voulions réaliser avec ce circuit. En calculant la dérive en température (pente de notre droite), nous trouvons :

$$\Delta = \frac{0.589 - 0.411}{125 + 50} = 0.001017 = 1.017 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

En se rapportant à l'ordre de grandeur de notre tension de sortie V_{out} qui est de quelques centaines de millivolts, on se retrouve avec une dérive de près de 1% par degré, en prenant l'échelle complète de température.

Pour être plus représentatifs de la réalité de l'utilisation d'un tel circuit, il faut calculer en fait deux pentes, en prenant comme origine la température ambiante, soit $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$. Nous verrons donc comment la tension V_{out} dérive quand la température augmente dans les fortes valeurs positives et quand la température diminue dans les fortes valeurs négatives. Voici les deux dérivées de températures :

$$\Delta_{pos} = \frac{0.589 - 0.492}{125 - 25} = \frac{0.097}{100} = 0.97 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{neg} = \frac{-0.081}{75} = -1.08 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

Nous remarquons que les températures négatives ont une influence plus forte sur notre conception. En effet, nous perdons presque 10% de plus lorsque la température varie négativement.

Nous pouvons partir de l'hypothèse qu'en fonctionnement normal, c'est-à-dire dans des plages de valeurs moins extrêmes, la stabilisation en tension est plutôt correcte pour des applications qui

ne sont pas critiques. Par exemple @25°C on peut calculer le rapport $\frac{\Delta}{V_{out}} = \frac{1.017}{492} = 2\%$

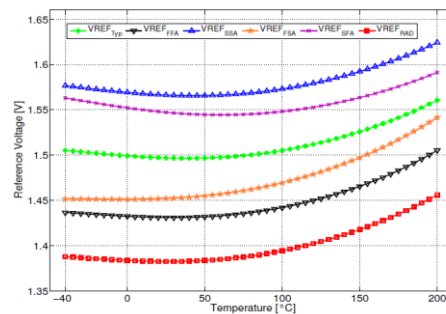
Comparaison de résultats :

Une fois analysé nos simulations, il est pertinent aussi de commenter les possibles dissemblances de résultats entre l'article sur lequel nous nous sommes appuyés et les notes.

Tout d'abord, les simulations réalisés sur l'article portent sur une plage de températures allant de -40°C à 200°C . Or, le logiciel μWind nous a obligé à contraindre nos simulations jusqu'à une température maximale de 75°C .

Voici une récapitulation des résultats obtenus par les chercheurs :

Figure 7. Simulated reference voltage V_{REF} versus temperature and process corners.



En considérant seulement la courbe verte qui représente la situation classique de laquelle nous nous sommes inspirés, ils obtiennent une dérive de température d'approximativement de $0,25 \text{ mV/}^\circ\text{C}$. Ce qui est une dérive quatre fois plus petite que celle que nous avons trouvé.

Conclusion :

Afin de réaliser ce projet, nous nous sommes basées sur un article qui présente la démonstration d'un circuit de référence de tension à très faible consommation, conçu dans le régime de sous-seuil des transistors. Tel que nous avons pu apercevoir dans la rubrique précédente, nos résultats diffèrent : nous trouvons une dérive de température quatre fois plus élevée. Ceci est probablement dû à un facteur principal : la technologie utilisée. Nous n'avons pas utilisé le même logiciel de simulation et par conséquent pas la même technologie. En effet, même si nous avons choisi une configuration en 45nm afin de nous rapprocher le plus possible des 50nm que

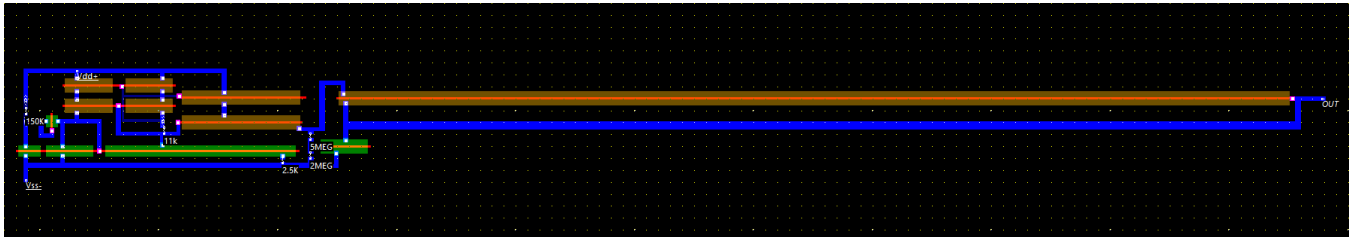
demandaient la taille de nos transistors, ce qui peut donner lieu à des erreurs lors de la simulation. De plus, nous n'avons pas eu le temps d'optimiser notre design tel que nous aurions voulu, ce qui peut être lui aussi devenir une source d'incertitudes, d'où la disparité des résultats trouvés.

Néanmoins, l'objectif de ce projet a été de montrer les étapes de conception d'un **Voltage Reference**

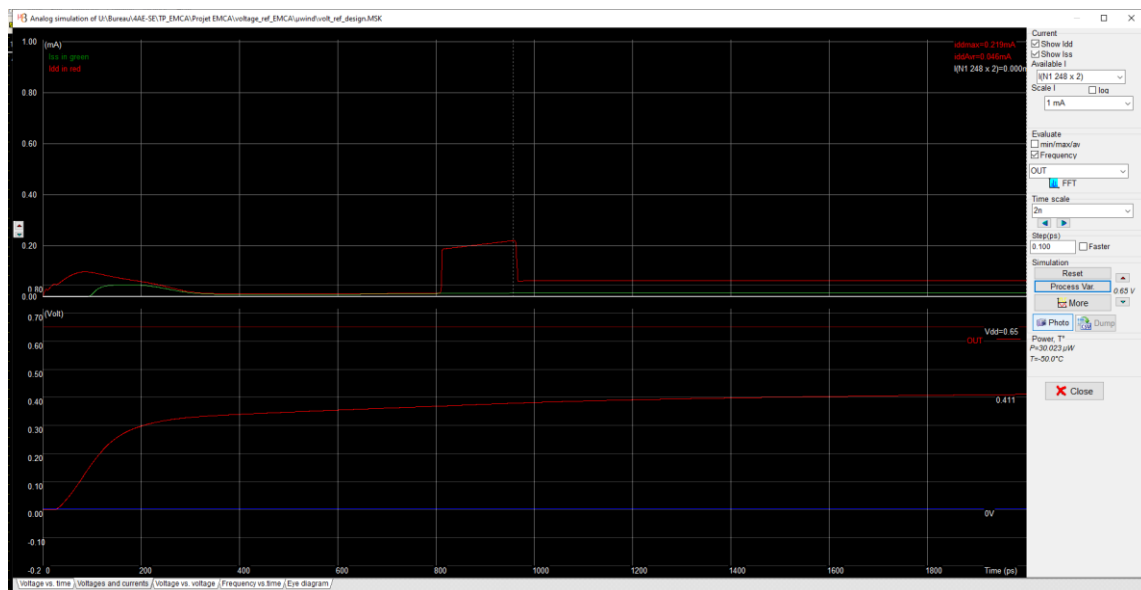
Circuit, c'est-à-dire comment un courant I_{ref} nous permet de fixer le potentiel V_{ref} de sortie ; de montrer que malgré la dérive nous avons réussi à stabiliser la tension de sortie et surtout de montrer la place si importante qu'occupe ce montage de nos jours dans nos circuits.

Annexes

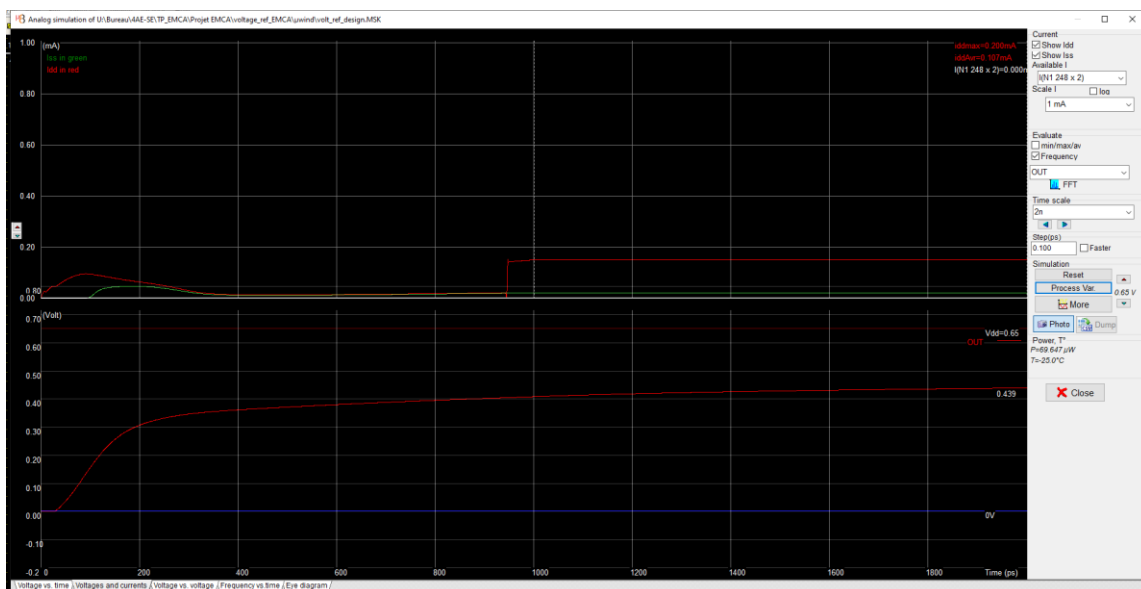
[2] Schéma du circuit implémenté sur μ Wind.



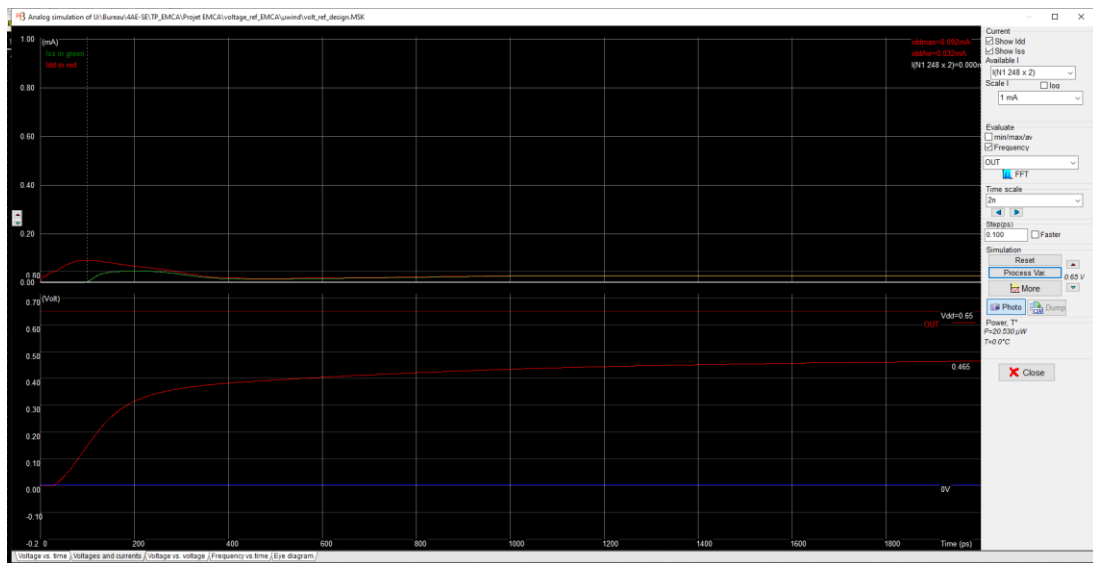
[3] Simulation à -50°C



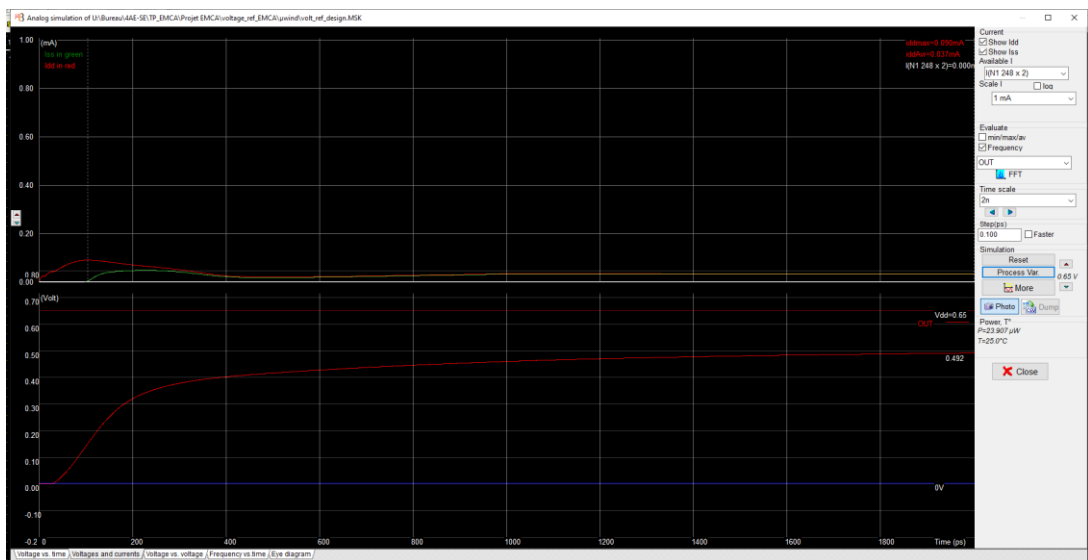
[4] Simulation à -25°C



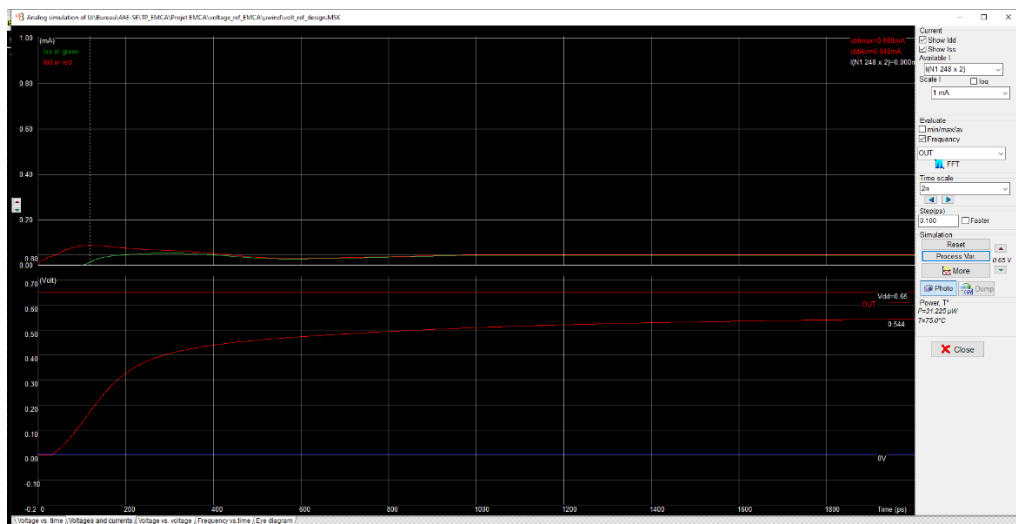
[5] Simulation à 0°C



[6] Simulation à 25°C



[7] Simulation à 75°C



Source

- [1] E. Boufouss, L. Francis, V. Kilchytska, P. Gérard, P. Simon, and D. Flandre, 'Ultra-Low Power High Temperature and Radiation Hard Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) Silicon-on-Insulator (SOI) Voltage Reference', *Sensors*, vol. 13, no. 12, pp. 17265–17280, Dec. 2013, doi: 10.3390/s131217265.