

CHAPITRE IV

MACROMODELISATION D'UN PONT PIEZORESISTIF

IV.1 Introduction

Depuis une dizaine d'années, de la technologie microélectronique dans le champ des capteurs et, en particulier celui des capteurs de pression au silicium monocristallin, le comportement électrique et thermique des jauges semi-conductrices (piézorésistances) occupe, en raison de leur large utilisation, une place de première importance. Les capteurs de pression réalisés, spécialement ceux dont le fonctionnement est basé sur l'effet piézorésistif du Silicium, présentent un facteur de jauge élevé. Cette qualité se trouve généralement contrebalancée par certaines limitations, dont la plus importante est celle due à l'existence d'une tension d'offset et sa dérive thermique. Cette dernière conditionne le comportement électrique d'un capteur de pression lorsqu'il est soumis à un gradient de température.

IV.2 Calcul de la tension d'offset

La filière explorée dans cette partie se base sur la fabrication d'une membrane à la surface de laquelle sont implantées quatre résistances électriquement connectées en pont de WHEATSTONE [27]. L'application d'une pression provoque des contraintes internes dans la membrane, ce qui modifie, à son tour, la valeur de chacune des quatre résistances. La sensibilité d'une telle structure dépend de la position des résistances et de leurs dopages. Quant à l'existence de la tension d'offset, elle peut être due à de multiples facteurs. Le cas idéal d'un capteur de pression piézorésistif consiste à utiliser quatre jauges de type P, de valeurs égales, montées en pont de Wheatstone (figure ci-dessous).

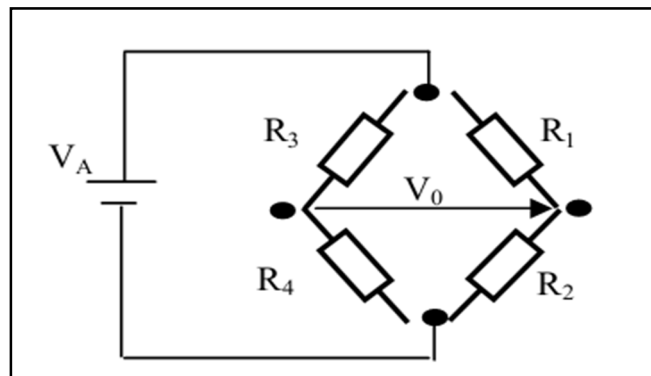


Figure IV.1 : Les quatre piézorésistances électriquement connectées en pont de WHEATSTONE [27]

La réponse électrique à l'excitation en pression devrait être alors une droite avec une tension d'offset nulle. Dans la pratique, il n'en est rien. Il existe toujours une valeur de tension non nulle pour une pression nulle. La connaissance de cette tension et de ses dérives thermiques est d'une importance primordiale dans la chaîne de mesure.

A une pression nulle ($P = 0$ bar), la tension de sortie du pont devrait être comme suit :

$$V_{off} = V_A \frac{S_0}{K}$$

Où : V_A est la tension d'alimentation du pont.

$$S_0 = R_1 R_3 - R_2 R_4$$

$$K = (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)$$

Dans cette partie nous avons considéré que le pont de Wheatstone est sous une tension d'alimentation V_A constante. Cette analyse consiste à étudier et à évoluer le comportement en température du pont. Nous avons adopté la méthode de gradient en température. La tension de sortie est donnée par la relation suivante :

$$\frac{\partial V_{off}}{\partial T} = \frac{V_A}{K} \frac{\partial S_0}{\partial T}$$

$$\frac{\partial S_0}{\partial T} = \frac{\partial (R_1 R_3 - R_2 R_4)}{\partial T}$$

Une jauge piézorésistive varie en fonction de la température selon un polynôme de deuxième ordre :

$$R_i(T) = R_i(T_0)(1 + \alpha_i \Delta T + \beta_i \Delta T^2)$$

Soit i le numéro de la jauge piézorésistive dans le pont ($i=1, 2, 3$ ou 4), α_i et β_i sont les coefficients de température du premier et du deuxième ordre correspondant aux quatre jauges piézorésistives R_1 R_2 R_3 et R_4 [28].

Donc :

$$\frac{\partial S_0}{\partial T} = \frac{\partial (R_1(T)R_3(T) - R_2(T)R_4(T))}{\partial T}$$

$$\approx [(\alpha_1 + \alpha_3) + 2T(\beta_1 + \beta_3)]R_1(T_0)R_3(T_0) - [(\alpha_2 + \alpha_4) + 2T(\beta_2 + \beta_4)]R_2(T_0)R_4(T_0) + 2 = A$$

$$\frac{\partial V_{off}}{\partial T} = \frac{V_A}{K} A$$

et

$$A = \frac{K}{V_A} \frac{\partial V_{off}}{\partial T}$$

IV.3 Macromodélisation d'un capteur en pont

IV.3.1 Macromodèle du pont avec une seule jauge

Le macromodèle est constitué du modèle du pont qu'on a étudié dans le deuxième chapitre, dans lequel on introduit le modèle de la résistivité qui varie en fonction du dopage et de la température (Fig. IV.2). La variation de la tension d'offset en fonction de la température est représentée par la figure (Fig. IV.3).

Le pont est initialement équilibré avec $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ mais R_1 ou R_3 varie de ΔR .

L'équation de base devient alors : $V_{off} = \frac{V_{in}}{4} \frac{\Delta R}{R}$

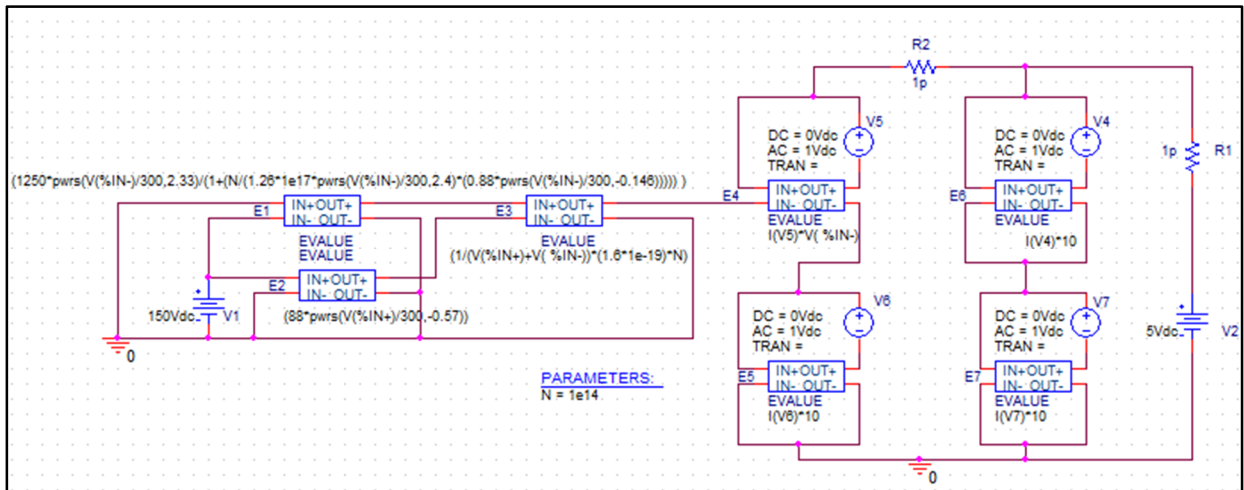


Figure IV.2: Macromodèle du pont de mesure avec une seule jauge

Dans le cas de la figure ci-dessus, le pont confie un capteur de pression piézorésistif. On utilise une seule jauge, ce qui permet une bonne compensation des effets non désirables sur le pont. Les autres résistances du pont ont des valeurs égales à 10Ω ($R = 10\Omega$).

On obtient le résultat suivant :

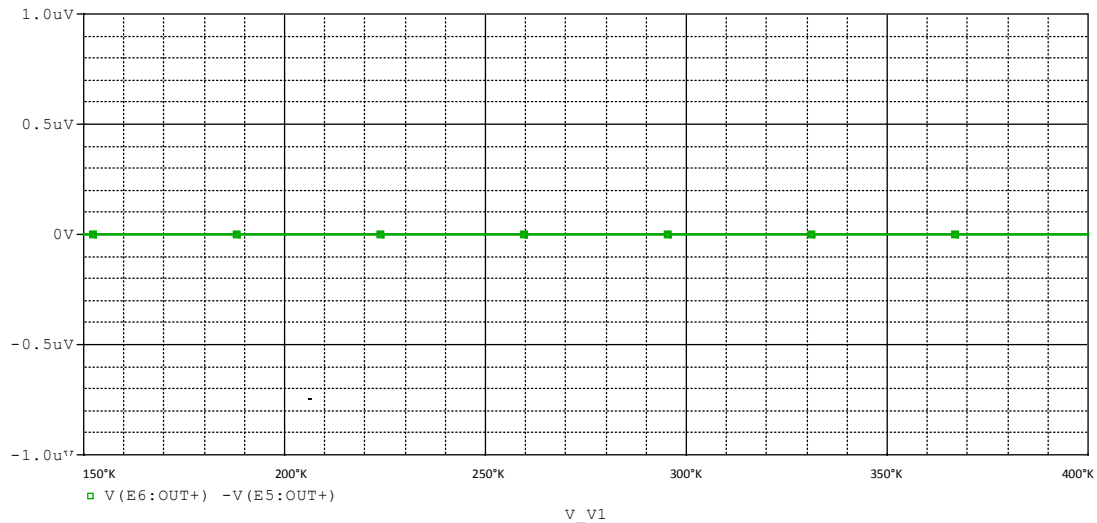


Figure IV. 3 : Courbe représentative de la tension d'offset d'un pont de mesure avec une seule jauge

La tension d'offset est calibrée au point zéro en fonction de la température. La jauge piézorésistive se comporte comme une simple résistance dont l'importance dépend du dopage.

IV.3.2 Macromodèle du pont avec quatre jauges

L'objectif de ce chapitre, est la conception du macromodèle du pont, en insérant des paramètres d'influence sur le comportement des résistances, dont certains travaux ont donnés des résultats. La conception du macromodèle sera suivi par des essais comparatifs avec les résultats expérimentaux obtenus.

Les limitations technologiques de la micro-électronique ne permettent pas d'avoir un dopage identique pour les quatre jauges. Pour cela, on va concevoir un modèle capable de monter l'effet de la variation du dopage dans toutes les jauges afin de voir son influence sur la tension d'offset.

Ce macromodèle est conçu à partir du modèle précédent du pont dans lequel on a introduit six primitives EVALUE qui nous permettent de varier le dopage de chaque jauge séparément.

A travers cette simulation, on a obtenu différentes formes de la tension d'offset (Fig. IV.4).

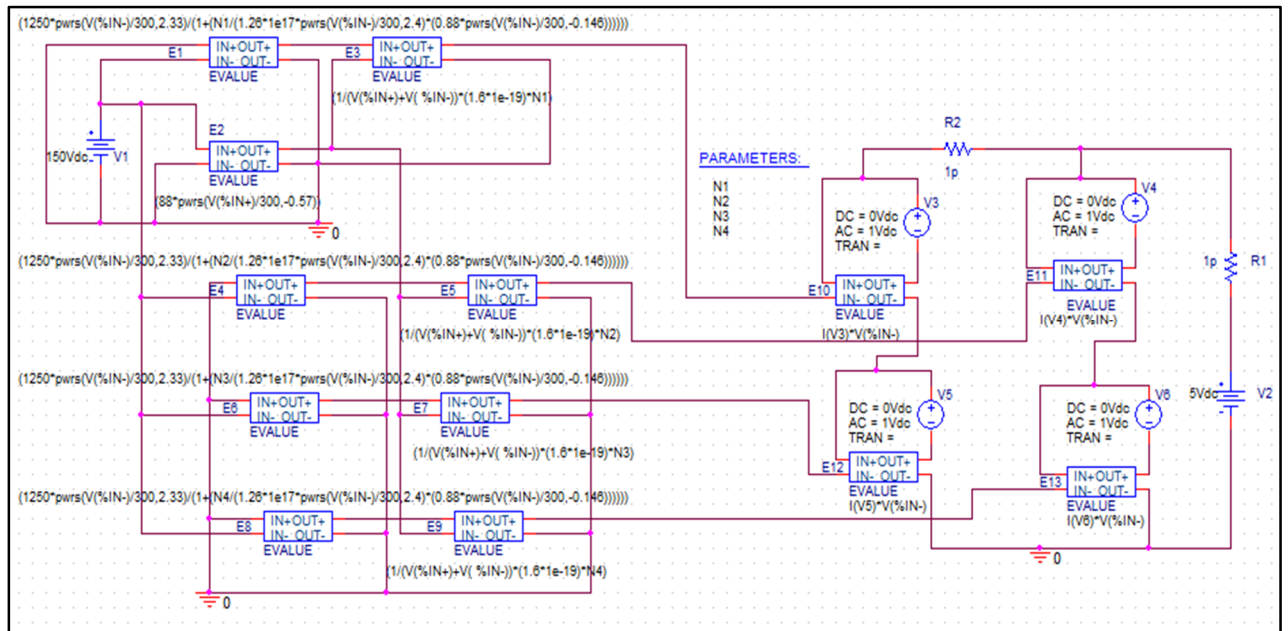
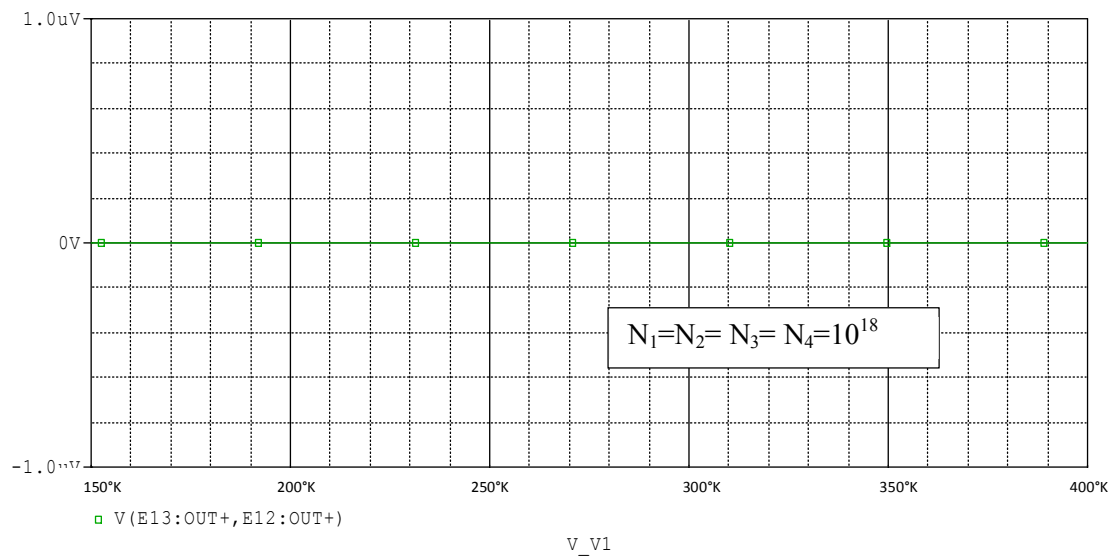


Figure IV.4: Macromodèle d'un pont de mesure avec quatre jauges



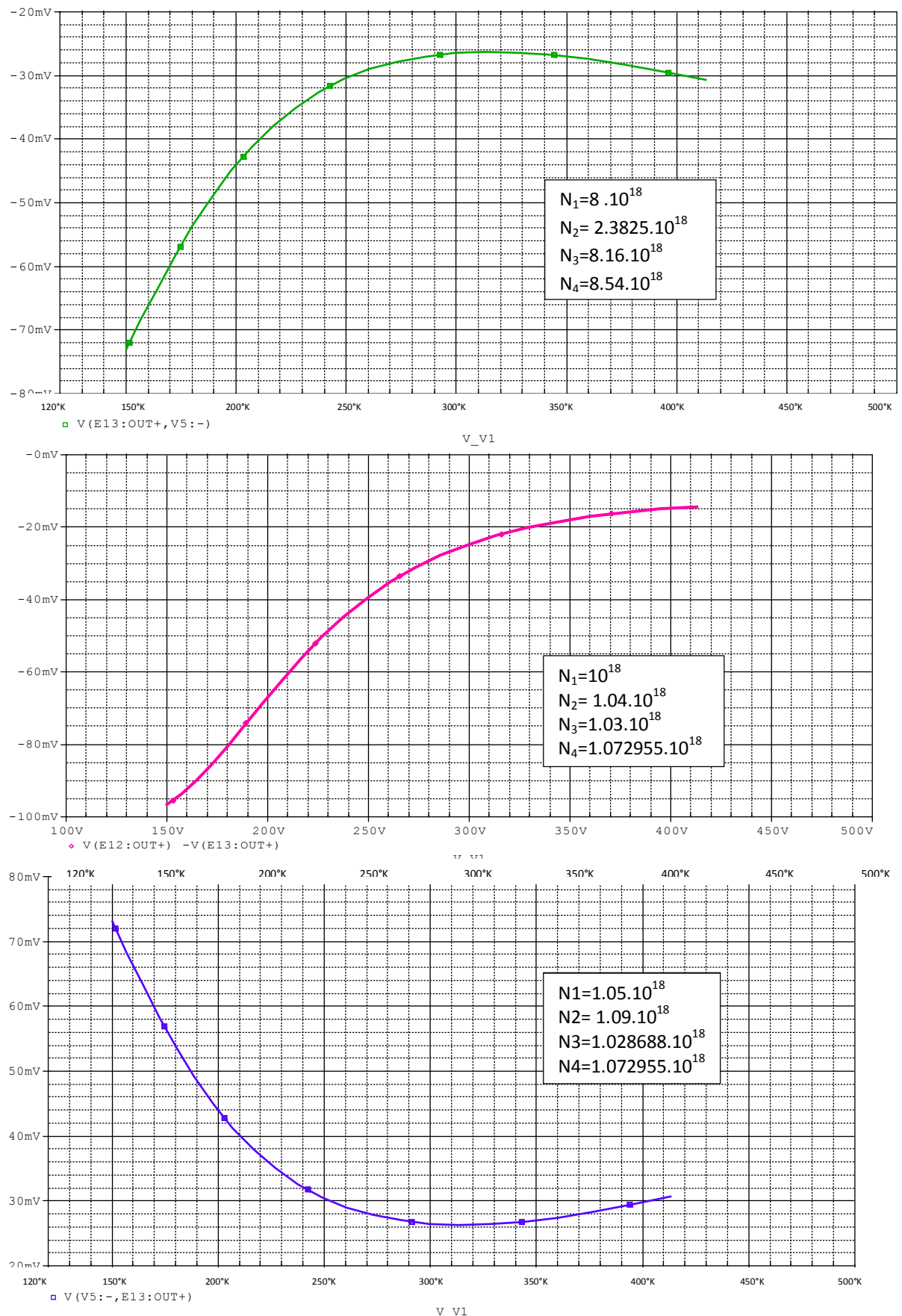


Figure IV.5: courbes représentatives de la tension d'offset d'un pont de mesure piézorésistif

D'après ces courbes, on constate que la tension d'offset varie de façon non linéaire, ceci est dû aux coefficients de température du deuxième ordre des résistances.

On observe également différentes formes de la tension d'offset qui a des valeurs maximales pour des températures plus au moins élevées selon l'incertitude du dopage qui n'est pas le même pour ces capteurs.

Il existe des tensions d'offset positives et négatives selon la polarité, et des courbes inversées par rapport aux autres selon le signe de la différence entre les coefficients de la température du deuxième ordre.

IV.3.3 Comparaison avec les résultats expérimentaux

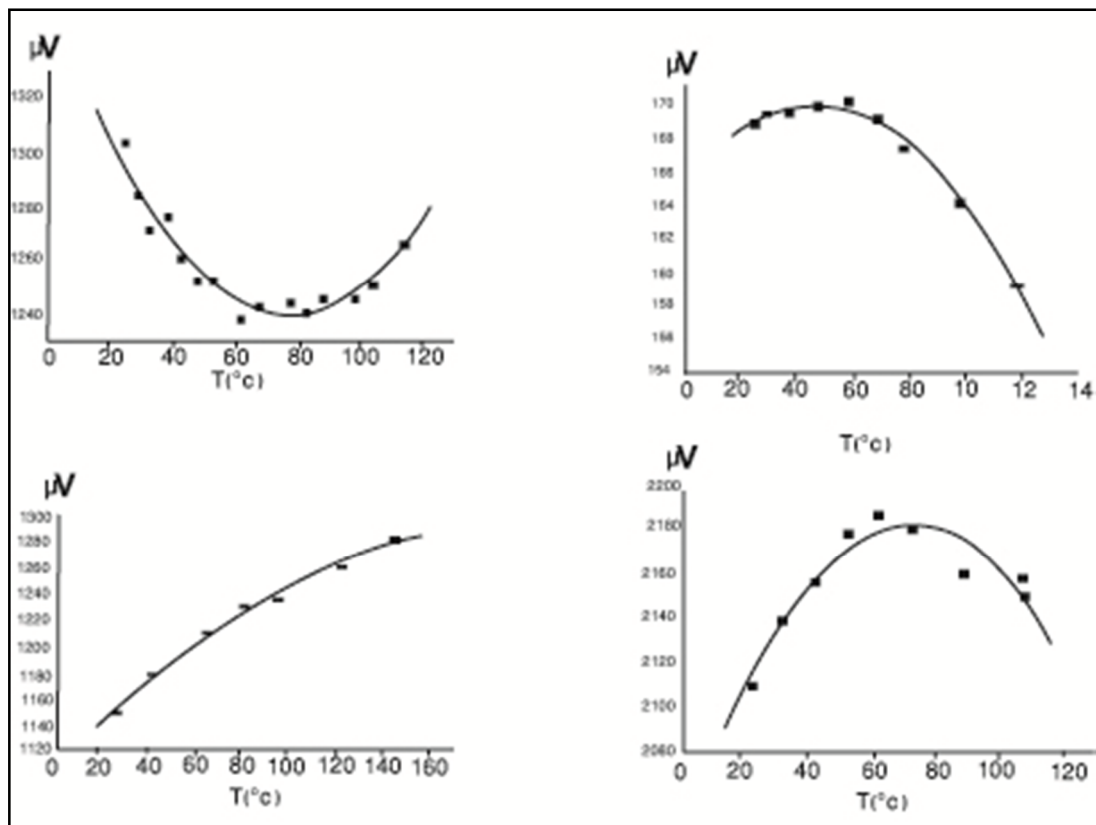


Figure IV.6 : Résultats expérimentaux de l'évolution de la tension d'offset pour une tension d'alimentation de 5V

IV.4 Conclusion

En comparant les résultats expérimentaux avec les résultats de simulation, on constate que :

- L'enveloppe parabolique des points expérimentaux est très proche de celle donnée par la simulation.
- La valeur du maximum de variation de la tension d'offset est presque identique.
- A partir de ces résultats, on peut avoir des informations sur les erreurs du dopage commises lors de la fabrication de ces capteurs.