

## IV.1. Introduction

La température est généralement considérée comme étant le paramètre principal dans la conception des équipements électroniques à cause de son rapport unique avec la fiabilité du dispositif.

La température peut également avoir d'autres effets sur la performance des composants semi-conducteurs et tout particulièrement sur le courant électrique.

Dans ce chapitre on va d'abord présenter les caractéristiques du modèle du transistor EKV, en utilisant le logiciel de simulation électrique SPICE, on présentera tout d'abord les résultats de simulation permettant de mettre en évidence la dépendance de température sur les paramètres du modèle considéré par cette étude. Dans un second temps on présentera l'impact de la variation de ces paramètres sur la variation des courants du transistor.

Afin de mettre en évidence les effets de la température sur le comportement physique et électrique des paramètres du transistor on se propose de déterminer ses caractéristiques électriques à savoir les caractéristiques de sortie et transfert, soit alors les caractéristiques  $I_{ds} = f(V_{ds})$  à  $V_{GS}$  constant, puis les caractéristiques  $I_{ds} = f(V_{gs})$  à  $V_{DS}$  constant.

Pour cela nous avons élaboré une simulation sous environnement MATLAB et des simulations avec un logiciel de simulation électrique SPICE.

Etudions tout d'abord dans un premier temps l'influence de la température sur les paramètres du transistor.

## IV.2 .Impact de la température sur les paramètres du modèle EKV

Nous nous proposons dans ce qui suit de présenter tous les paramètres influencés par une variation de la température et ayant pour conséquence la variation du courant de drain du transistor. Cette première étude a été élaborée sous environnement MATLAB.

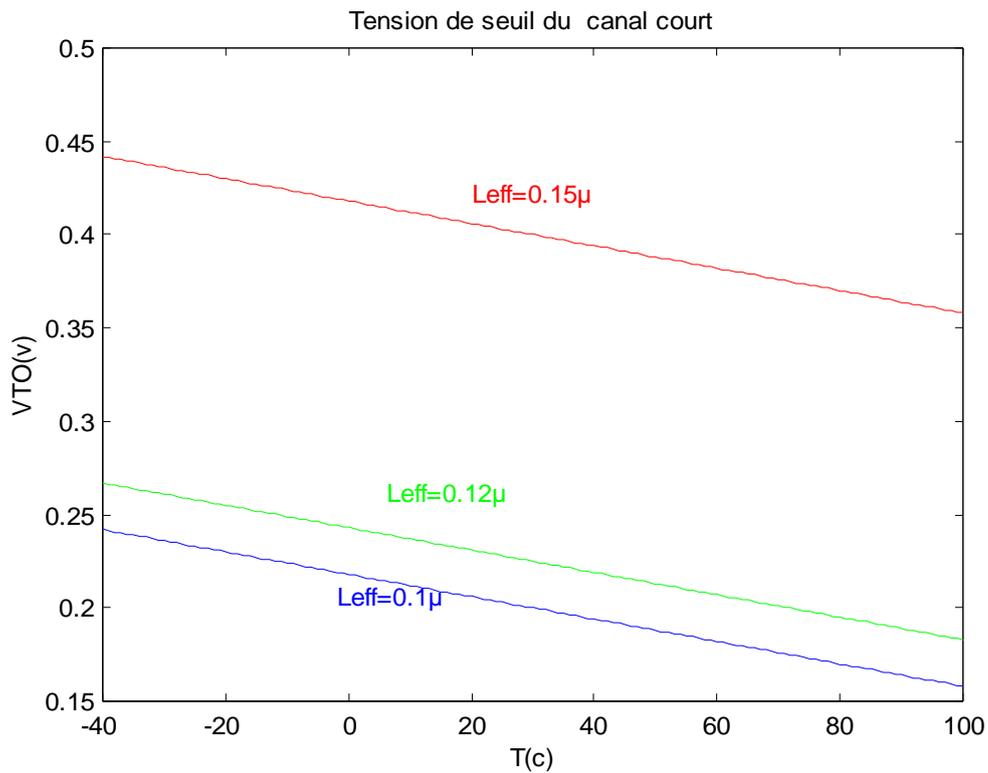
### IV.2.1 .Variation de la tension de seuil VTO avec la variation de la température

Ce modèle prend en compte dans sa modélisation de la variation de la température et de son influence sur ses paramètres physiques et ses caractéristiques électrique.

En effet la tension de seuil dépend de la température, cette dépendance est mise en évidence par l'équation qui suit :

$$V_{TO}(T) = V_{TO} - TVC \cdot (T - T_{nom}) \quad \text{IV.1}$$

Afin de mettre en évidence graphiquement cette dépendance, on se propose de représenter graphiquement cette dépendance. Pour cela, on se propose de faire varier la température dans un intervalle de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $100^{\circ}\text{C}$ . La variation de la tension de seuil avec la température fait l'objet de la figure IV.1.



**Figure IV.1: La variation de la tension de seuil en fonction de la température.**

Nous avons pu effectuer cette étude pour trois longueurs différentes du transistor. On remarque tout d'abord que la tension de seuil diminue avec l'augmentation de la température.

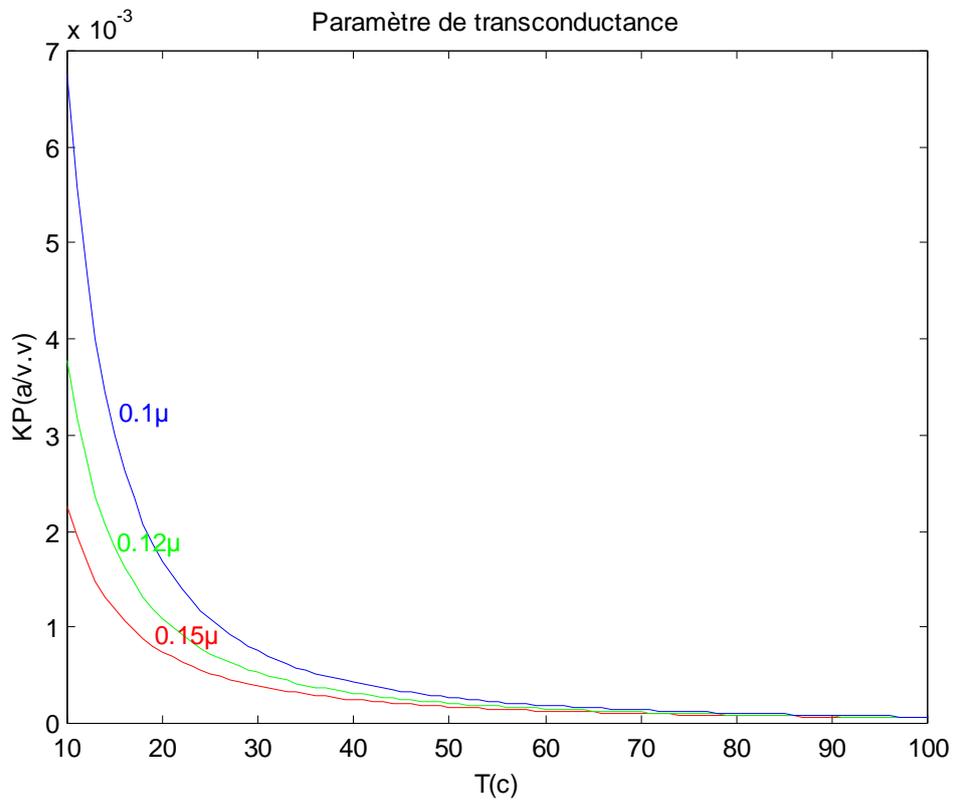
Il est aussi à noter que les valeurs de la tension de seuil sont plus élevées lorsque la longueur efficace du transistor est plus grande.

**IV.2.2. Variation du paramètre de conductance KP avec la température**

Le paramètre conductance KP dépend aussi de la température. Ce paramètre dépend en fait de la mobilité des porteurs de charge et de la capacité de l'oxyde. L'expression permettant de mettre en évidence la variation du paramètre de conductance avec la température est donnée ci-dessous :

$$KP(T) = KP \left[ \frac{T}{T_{nom}} \right]^{BEX} \tag{IV.2}$$

Nos résultats de simulation sont regroupés dans la figure IV.2



**Figure IV.2. Le paramètre de conductance KP en fonction de la température pour différentes largeurs.**

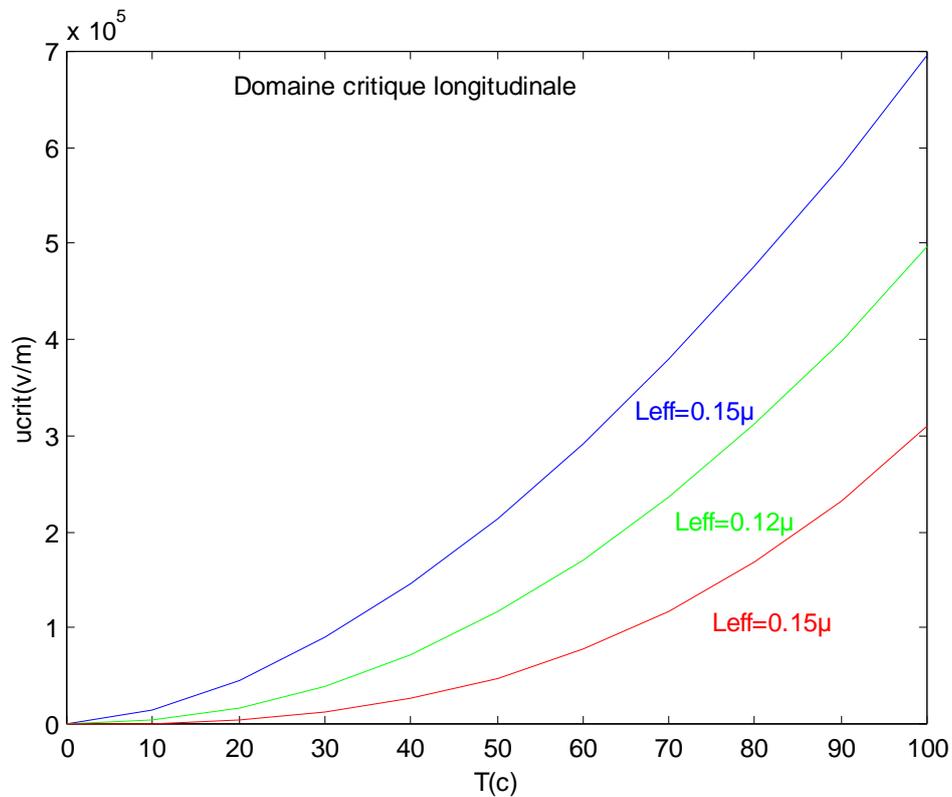
Dans la modélisation de la dépendance de la mobilité en fonction de la température, le paramètre BEX est égal à environs -1.8 en technologie CMOS 0.12µ, vu que ce paramètre est négatif la mobilité diminue avec la température, et de même le paramètre de conductance diminue avec l'augmentation de la température.

**IV.2.3. Variation du champ critique longitudinale UCRIT avec la température :**

Le champ critique longitudinal dépend aussi de la température. Cette variation est alors exprimée par:

$$UCRIT(T) = UCRIT \cdot \left[ \frac{T}{T_{nom}} \right]^{UCEX} \tag{IV.3}$$

Les résultats permettant de représenter graphiquement cette variation sont représentées dans figure IV.3.



**Figure IV.3 Variation du champ critique longitudinal en fonction de la température pour différentes longueurs du canal.**

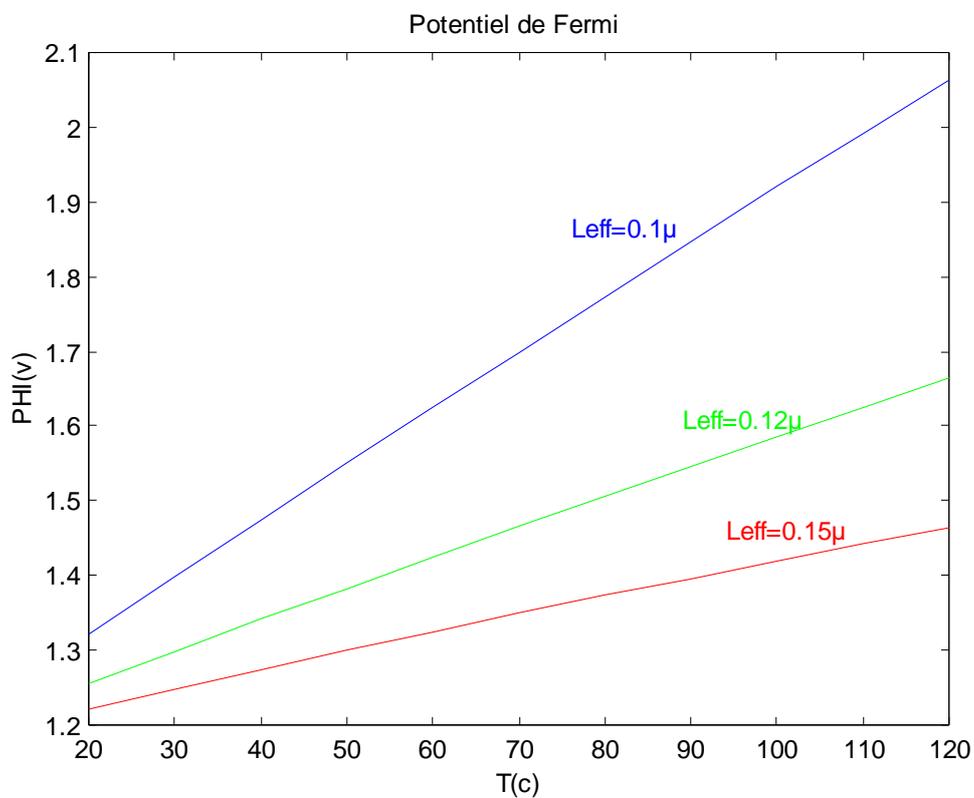
Le champs critique longitudinal UCRIT augmente avec l'augmentation de la température, et diminue en augmentant la longueur efficace entre la source et le drain.

**IV.2.4. Le potentiel de Fermi PHI.**

Le potentiel de surface PHI dans le modèle EKV est exprimé par la relation qui suit:

$$PHI(T) = PHI \cdot \frac{T}{T_{nom}} - 3 \cdot V_t \cdot \ln\left(\frac{T}{T_{nom}}\right) - E_g(T_{nom}) \cdot \frac{T}{T_{nom}} + E_g(T) \quad \text{IV.4}$$

La dépendance du potentiel de fermi avec la température est illustrée graphiquement sur la figure IV.4.



**Figure IV.4. Variation du potentiel de fermi en fonction de la température.**

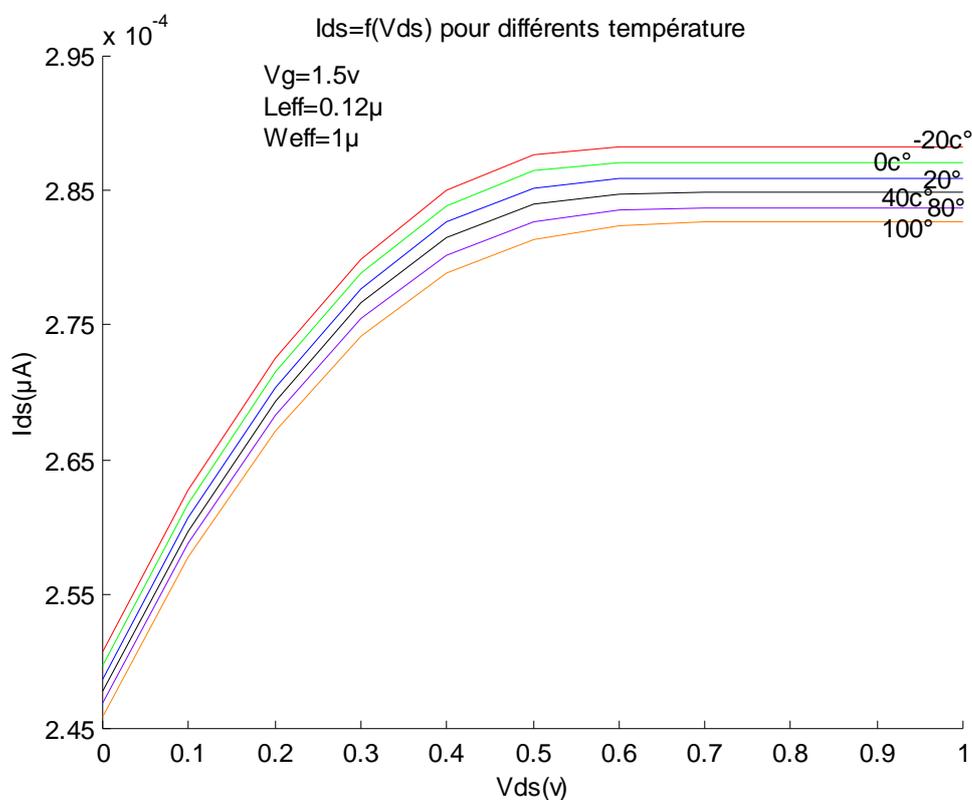
On a pu mettre graphiquement la dépendance du potentiel de fermi avec la température et remarquer qu'en fait ce potentiel augmente avec l'augmentation de la température. Il est aussi à noter que ce potentiel dépend aussi étroitement de la longueur effective du canal.

### IV.3. Variation du courant de drain en fonction la température.

**IV.3.1. Variation du courant de drain  $I_{ds} = f(V_{ds})$  avec  $V_{gs}$  constante pour différentes températures:**

La caractéristique  $I_{ds} = f(V_{ds})$  pour le modèle EKV et pour différentes températures est représentée dans la figure IV.7. Ces résultats sont obtenus sous environnement MATLAB pour une température variant de 20°C à 100°C.

Les résultats de simulations ainsi obtenus sont regroupés dans la figure IV.5



**Figure IV.5. Effet de la variation de la température sur le courant de drain  $I_{ds}$**

Le courant de drain  $I_{ds}$  diminue avec l'augmentation de la température. Cette diminution est clairement illustrée sur la figure IV.5. On peut clairement remarquer la réduction du courant  $I_{ds}$  avec la température.  $I_{ds}$  maximum est réduit à environs 40% quand T varie entre -20°C et 100°C. En effet la mobilité ainsi que la tension de

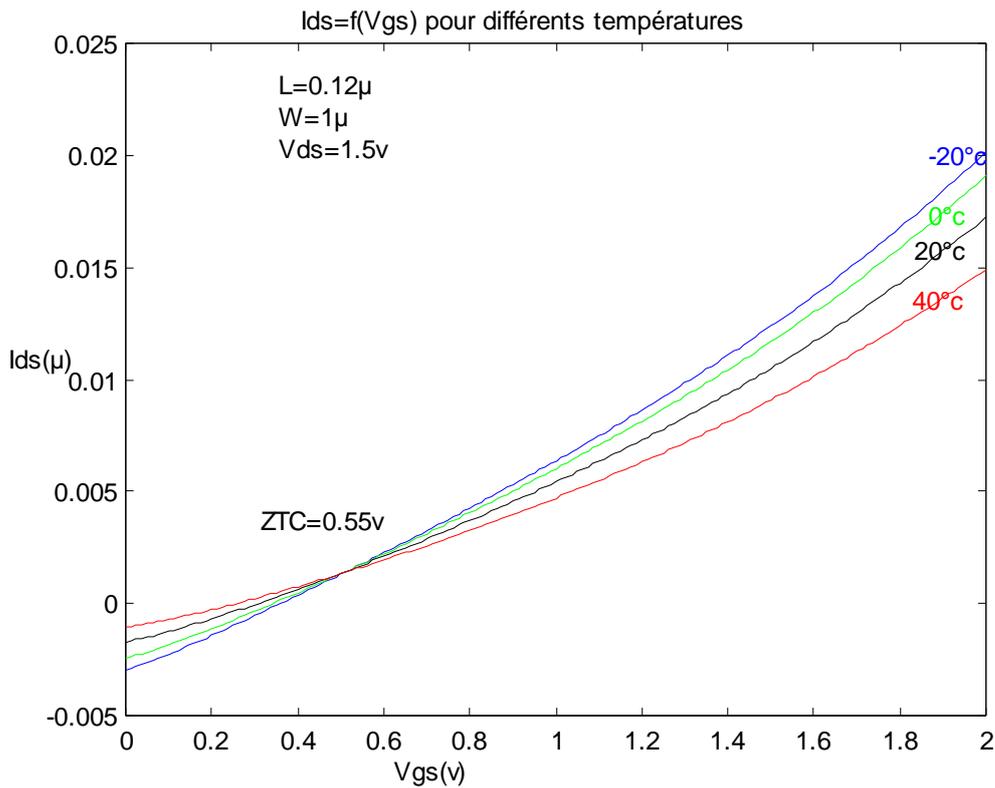
seuil diminuent avec l'augmentation de la température, or c'est de ces paramètres que dépend le courant du drain du transistor, par conséquent ce dernier ne peut que diminuer avec l'augmentation de la température.

**IV.3.2. Courant de drain  $I_D = f(V_G)$  avec  $V_D$  et  $V_S$  constants pour différentes températures:**

Le courant de drain est donné par la formule suivante:

$$I_D = 2n\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left(\frac{KT}{q}\right)^2 \times \left[ \left\{ \ln \left[ 1 + \exp\left(\frac{V_p - V_s}{2KT/q}\right) \right] \right\}^2 - \left\{ \ln \left[ 1 + \exp\left(\frac{V_p - V_D}{2KT/q}\right) \right] \right\}^2 \right] \quad \text{IV.5}$$

La caractéristique  $I_{ds} = f(V_{gs})$  pour différentes températures est représentée dans la figure IV.5.

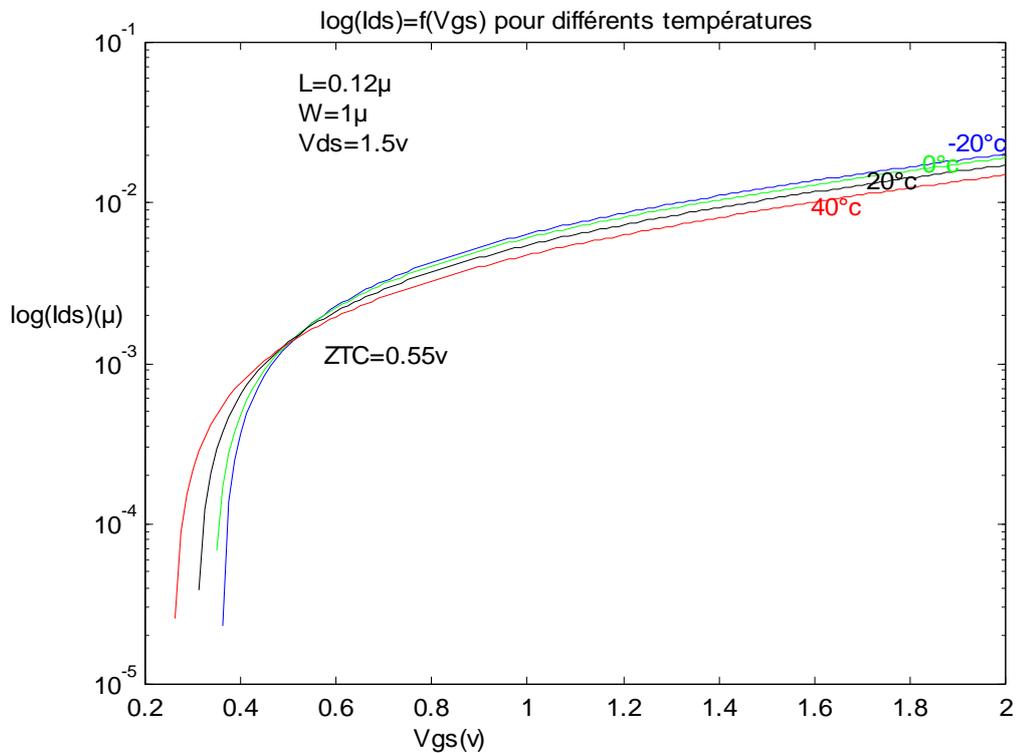


**Figure IV.6. Variation de la caractéristique  $I_{ds} = f(V_{GS})$  avec la température et  $V_{DS} = 0.5V$**

On remarque que toutes ces courbes se croisent en un seul point appelé: zéro température coefficient, noté ZTC. L'existence du point de polarisation ZTC est une

propriété très importante des transistors. En effet, quand un transistor est polarisé au point ZTC, le courant de drain ne varie pas avec la température. Les caractéristiques des circuits conçus pour fonctionner dans la région ZTC deviennent très peu sensibles à n'importe quel changement de température. Ce concept est particulièrement important pour la conception analogique.

Avant le point de polarisation ZTC le courant du drain augmente avec la température. Si le transistor est polarisé plus loin que le point ZTC, les composants tendent à être auto-stabilisés, une augmentation de température résulte en une diminution de courant, et donc en une diminution de la puissance moyenne dissipée.



**Figure IV.7. Effet thermique sur le courant de drain  $\log ( I_{ds} )$**

Les effets de la température ont pu être mis en évidence en traçant les caractéristiques du modèle en se référant aux équations régissant le fonctionnement du transistor. Cependant il est à noter que pour les concepteurs de dispositifs et des circuits, on utilise plutôt des simulateurs électriques tel que le SPICE et ceci en utilisant les paramètres du modèle qui sont obtenus après extraction suite à la conception par des logiciels de conception du composant tels que SILVACO ou ISE.

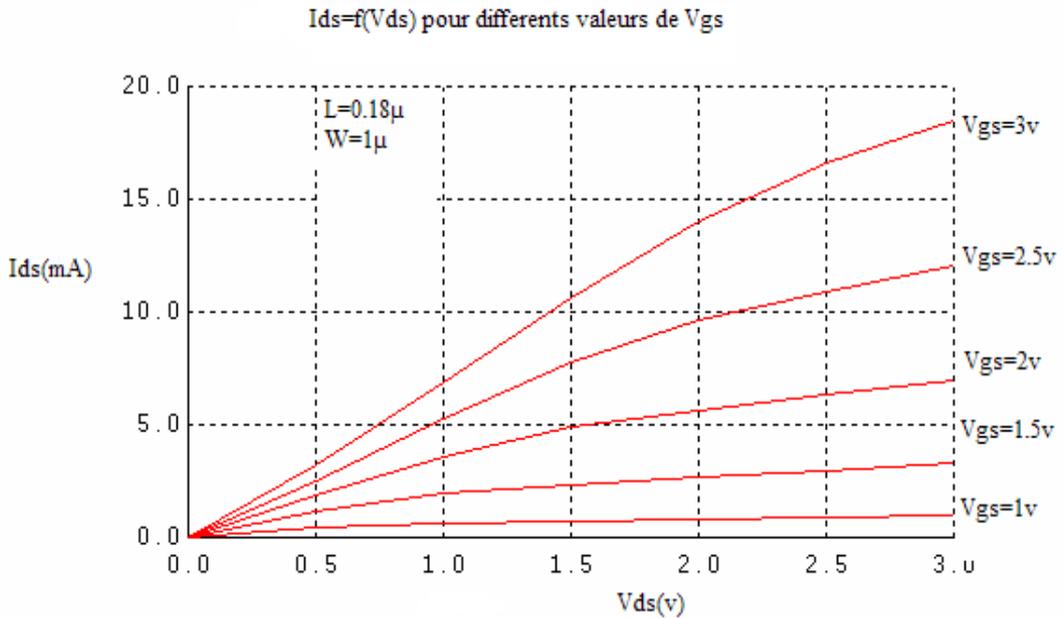
Cette deuxième étape du travail nous a permis d'utiliser le logiciel de simulation SPICE afin de tracer les caractéristiques du modèle et ceci en utilisant les paramètres du modèle. Les résultats de simulation que nous avons obtenus sont exprimés dans ce qui suit.

**IV.4. Les caractéristiques électriques de l'EKV**

**IV.4.1. Courant de drain  $I_{ds} = f(V_{ds})$**

Les caractéristiques du transistor  $I_{ds} = f(V_{ds})$  pour différentes valeurs de  $V_{GS}$ , avec  $w=1\mu\text{m}$  et  $L=0.18\mu\text{m}$  sont représentés sur la figure IV.8

$$I_D = 2n\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left( \frac{KT}{q} \right)^2 \times \left[ \left\{ \ln \left[ 1 + \exp \left( \frac{V_p - V_s}{2KT/q} \right) \right] \right\}^2 - \left\{ \ln \left[ 1 + \exp \left( \frac{V_p - V_D}{2KT/q} \right) \right] \right\}^2 \right] \quad \text{IV.6}$$

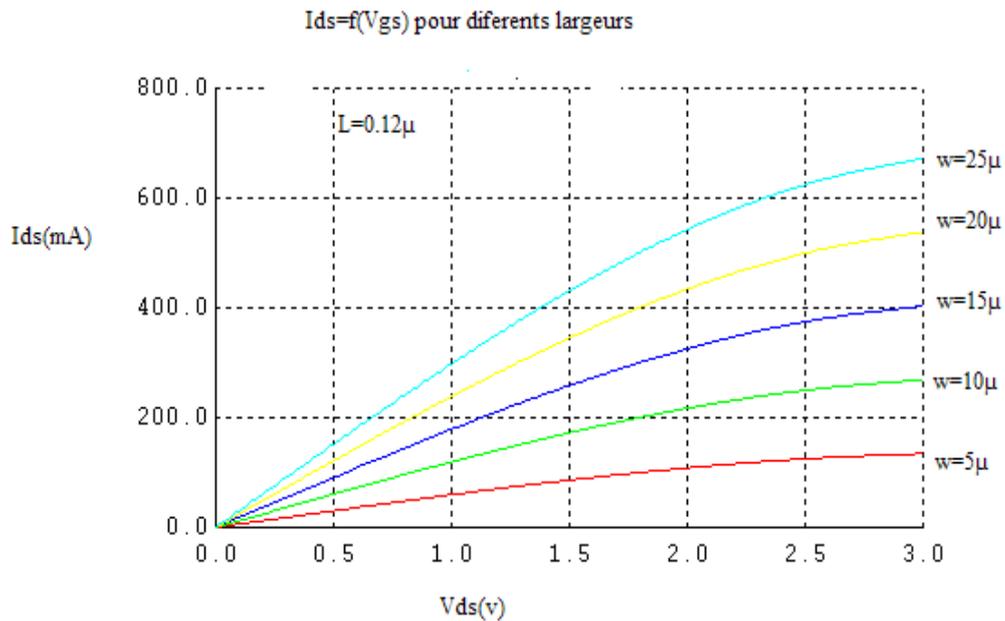


**Figure. IV.8. Courant de drain pour différents valeurs de  $V_{gs}$**

On remarque tout d'abord que pour ce modèle on a une seule équation du courant permettant de décrire le comportement du transistor depuis son fonctionnement en zone ohmique jusqu'à son fonctionnement en mode saturé. Il n'y a de ce fait aucune discontinuité entre les deux régions, alors que pour les modèles de niveau 1 et 2, le fonctionnement en mode ohmique et saturé est décrit par des équations distinctes. De ce fait, ce transistor de dernière génération passe d'un état à

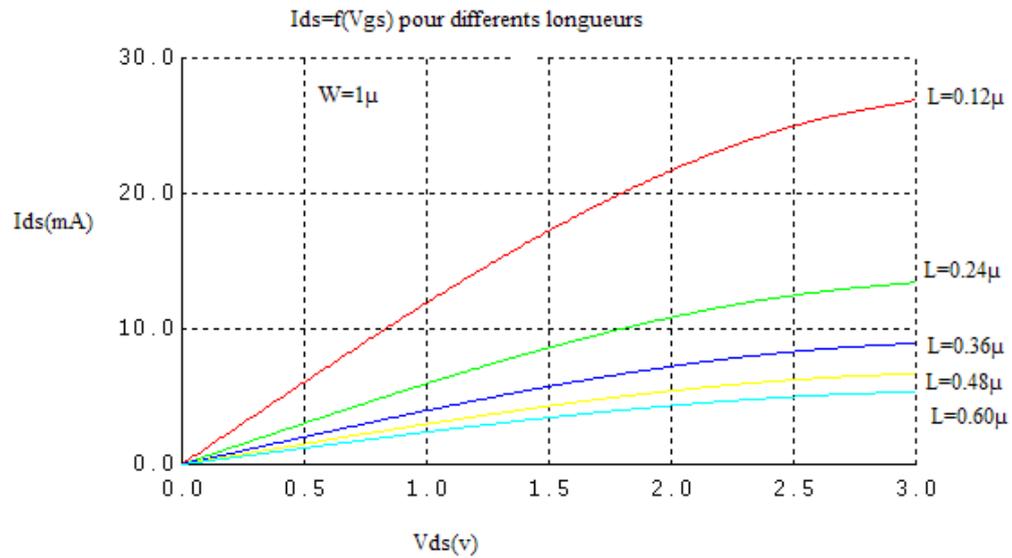
un autre avec une grande souplesse. On note aussi que le nombre de ses paramètres est bien inférieur à celui de son concurrent le BSIM4 de Berkeley.

Afin de mettre en évidence l'effet de la variation de la géométrie du composant sur ses caractéristiques électriques, nous avons tout d'abord varié la longueur puis la largeur du canal. Les caractéristiques de courant ainsi obtenues sont données ci-dessous



**Figure .IV.9. Courant de drain pour différents Largeurs W du canal avec L=0.12μ**

Pour une longueur  $L=0.12\mu$ , on remarque qu'en augmentant la valeur de la largeur  $W$ , le courant de drain  $I_{ds}$  augmente, ce qui est conforme avec les caractéristique du transistor MOS.

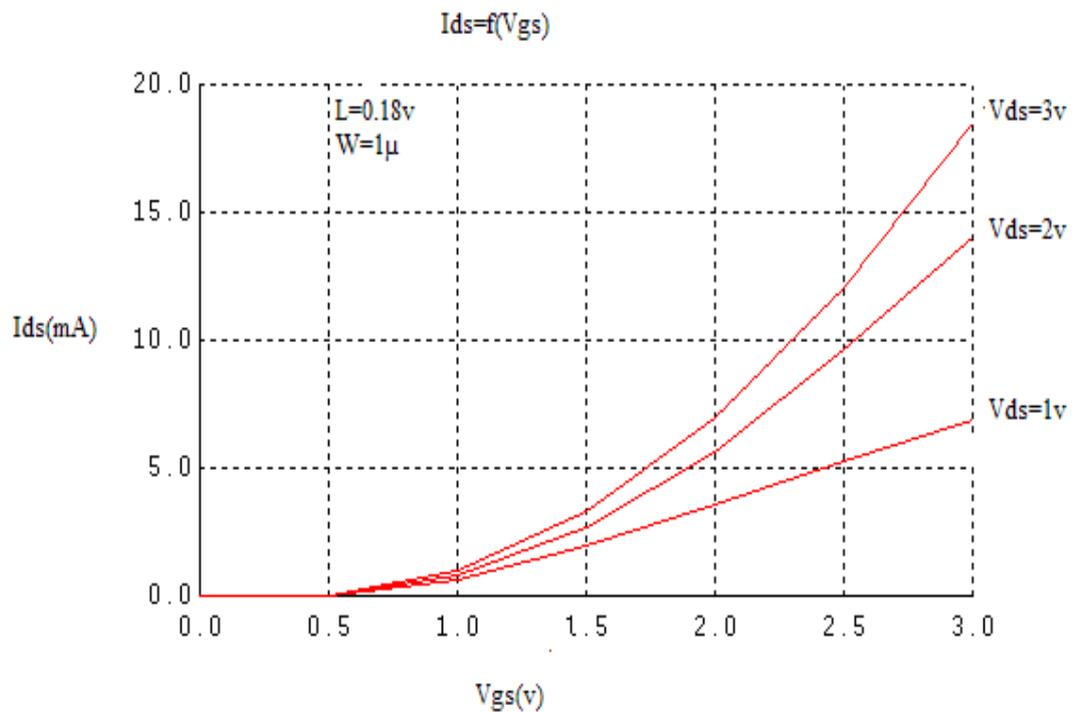


**Figure .IV.10. Courant de drain pour différentes Longueurs du canal L avec une largeur  $W=1\mu$**

Pour une largeur  $W=1\mu$ , on remarque qu'en augmentant la valeur de la longueur L du canal la valeur du courant  $I_{ds}$  diminue. Ce qui est tout a fait normal et peut être directement vérifié en se référant à l'équation du courant  $I_D$ .

On remarque que la géométrie du composant à savoir  $W/L$  est d'une importance primordiale sur le calcul du courant qui circule au niveau du canal.

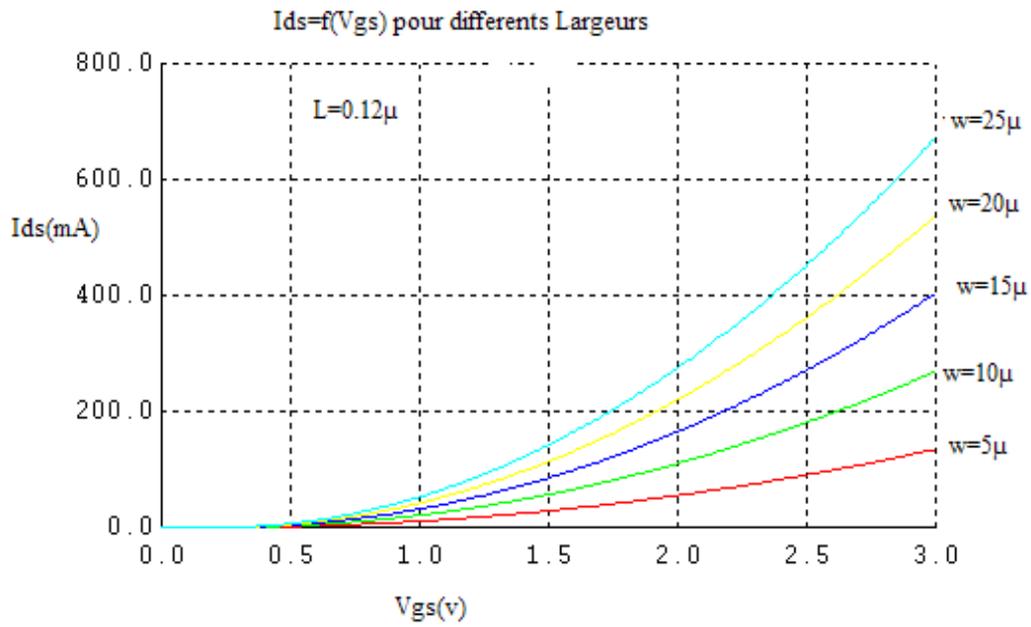
**IV.4.2. Courant de drain  $I_{ds} = f(V_{gs})$**



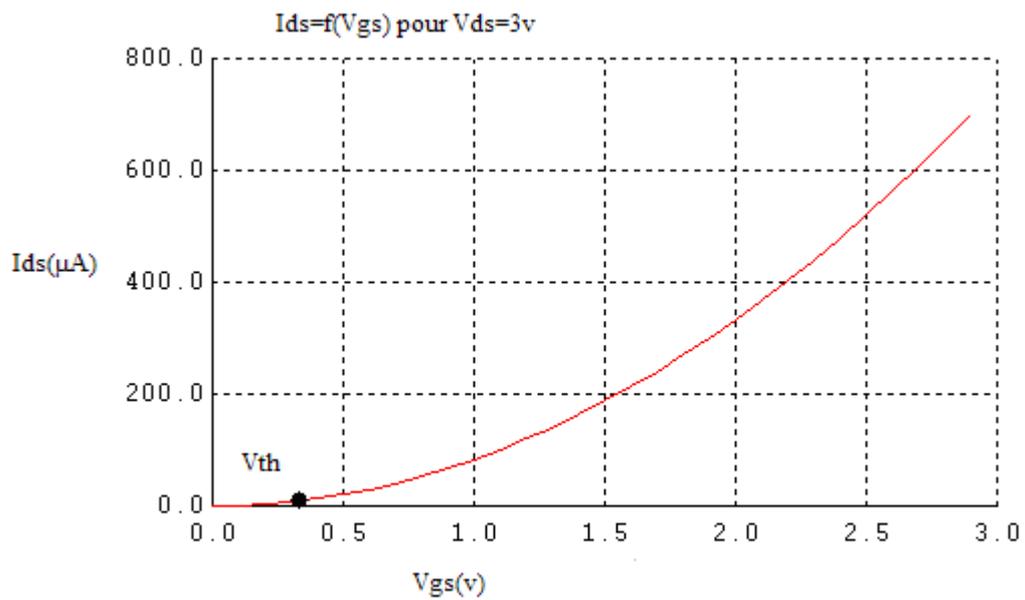
**Figure. IV.11. Courant de drain pour différents valeurs de  $V_{ds}$**

De cette caractéristique, on peut connaître le seuil de fonctionnement de notre transistor. On remarque aussi que le courant de drain augmente avec l'augmentation de la tension de polarisation  $V_{ds}$ .

Afin de connaître l'influence de la géométrie du composant sur le courant, on fait varier la largeur du canal et on représente la caractéristique  $I_D=f(V_{GS})$ . On peut remarquer qu'à  $V_{GS}=V_{DD}=3\text{V}$ , la valeur du courant est plus importante. On peut remarquer aussi que la géométrie a un impact direct sur le courant du drain. Ceci peut directement être vérifié sur la figure IV.1.

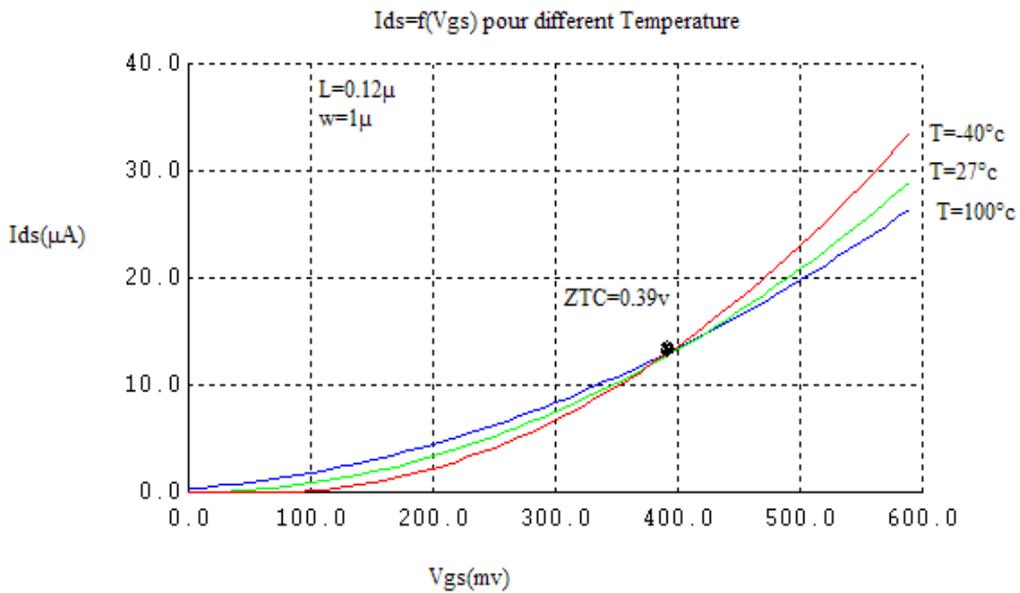


**Figure .IV.12. Courant de drain  $I_{ds} = V_{gs}$  pour différentes largeurs W et pour une longueur L=0.12 $\mu$ .**



**Figure. IV.13. Tension de seuil  $V_{th}$**

La tension de seuil du transistor étudié est une caractéristique déterminée sur le tracé de la figure IV.13. Cette tension de seuil est égale à  $V_{th}=225\text{mv}$ . Il est cependant à noter qu'au-dessous du seuil, le blocage n'est pas parfait, il existe un courant faible mais non nul. Ce courant n'est pas un courant de conduction comme à l'état passant mais un courant diffusif, d'où la dépendance exponentielle de la caractéristique  $I_{ds} = f(V_{gs})$  sous le seuil  $V_{th}$ .



**Figure .IV.14. Mise en évidence du point ZTC**

On peut remarquer que toutes les caractéristiques se croisent en un point pour une tension de grille égale à 0.39volts. En ce point le transistor se comporte de la même manière quel que soit la température à laquelle il est soumis et donc quelque soit l'application à laquelle il est destinée.

**IV.4.3. Variation des courants de fuite avec la température**

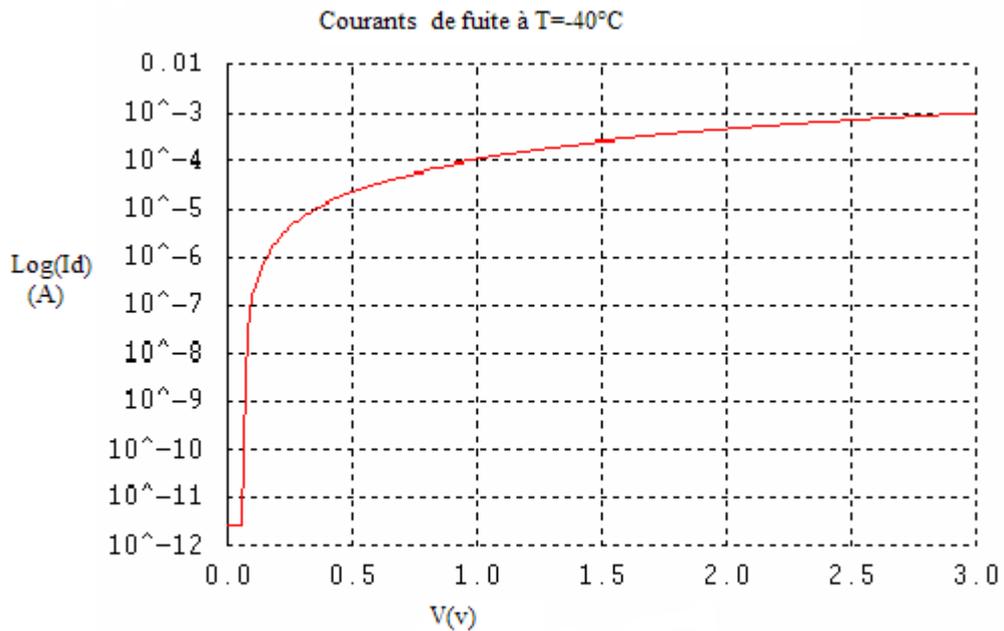
Il est à noter que les courants de fuite varient avec la température. Il existe divers courants de fuite dans une structure MOS. On s'intéresse en ce qui nous concerne aux courants  $I_{ON}$  et  $I_{OFF}$ .

On définit les courants de fuite  $I_{ON}$  et  $I_{OFF}$  par :

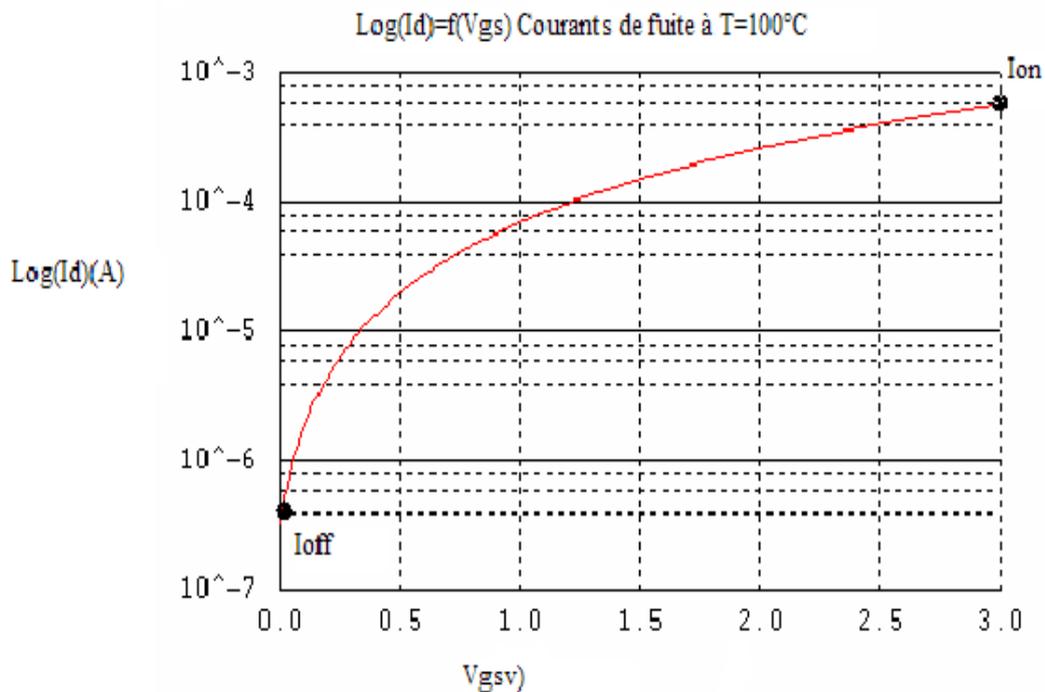
$$I_{ON} = I_D \text{ à } V_{GS} = 0\text{v}, V_{DS} = V_{DD}, V_{BS} = 0\text{v}$$

$$I_{OFF} = I_D \text{ à } V_{GS} = V_{DD}, V_{DS} = V_{DD}, V_{BS} = 0\text{v}$$

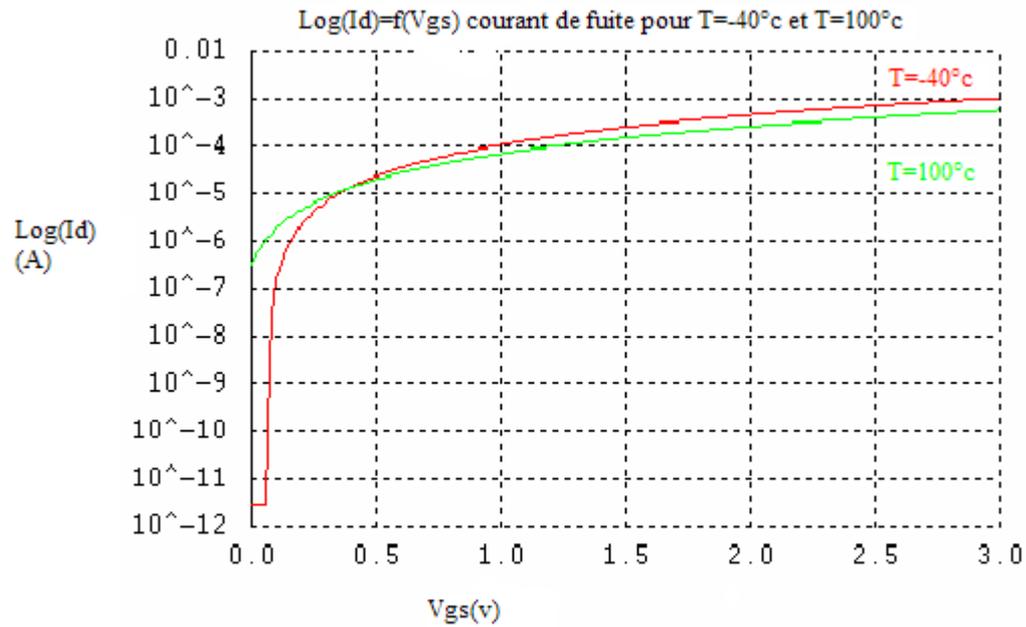
Afin de mettre en évidence la variation des courants de fuite avec la température, on se propose de déterminer ces courants pour deux température soit  $T=-40^{\circ}\text{C}$  et  $T=100^{\circ}\text{C}$ . Les résultats de simulation sont donnés dans ce qui suit :



**Figure IV.15. Courants de fuite à T=-40°C**



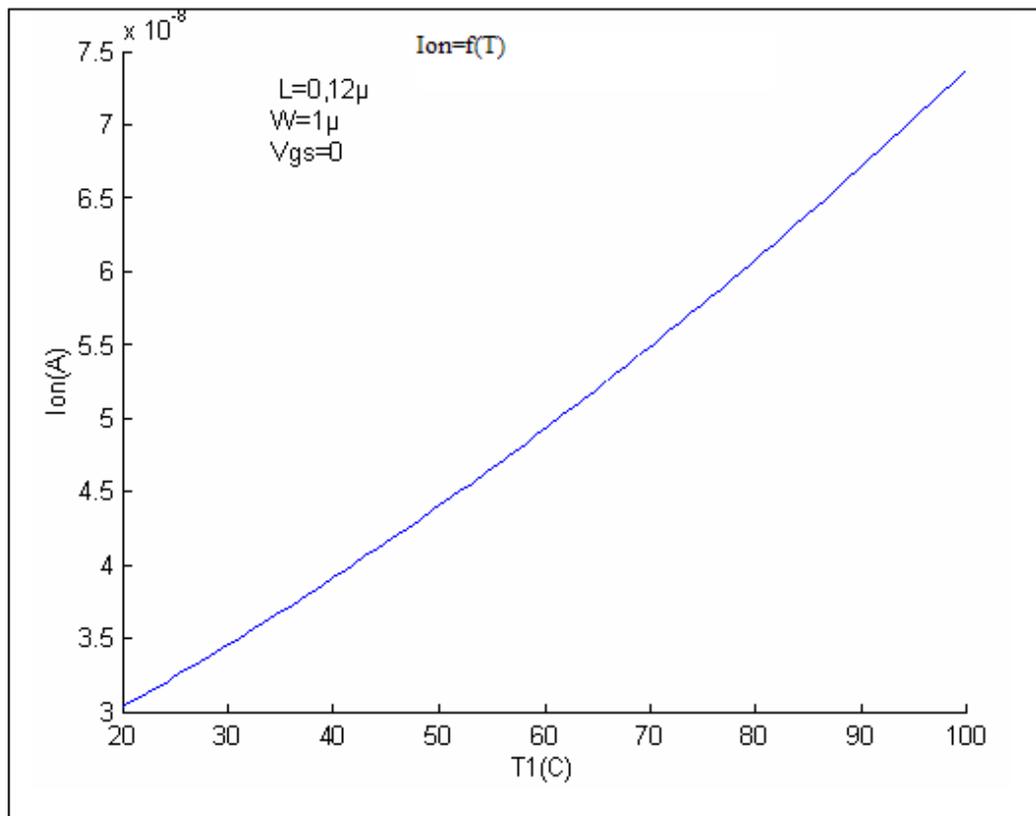
**Figure IV.16. Courants de fuite à T=100°C**



**Figure IV.17. Variation des courants de fuite avec la température**

On peut remarquer que le courant  $I_{ON}$  ainsi que le courant  $I_{OFF}$  varient avec la variation de la température. On remarque que la variation du courant  $I_{ON}$  est plus importante que celle du courant  $I_{OFF}$ .

Afin de mettre en évidence la variation du courant  $I_{ON}$  on fait varier alors la température de 20°C à 100°C, et on examine la variation du courant  $I_{ON}$ . Les résultats de simulations sont donnés sur figure IV.18.



**Figure IV.18: Variation du courant de fuite  $I_{ON}$  avec la température**

On remarque que le courant de fuite augmente avec de la température, ce qui était prévisible.

#### **IV.5. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de voir la variation de différents paramètres du transistor du modèle EKV en fonction de la température comme la mobilité des porteurs de charge, la tension de seuil, potentiels etc... conduisant inexorablement à la variation des caractéristiques électriques principale du model, soit sur son courant de drain ainsi que sur ses courant de fuite. L'élévation de la température à un effet néfaste conduisant généralement au vieillissement des dispositifs.