

## INFLUENCE DES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES I-V DU TRANSISTOR MESFET GAAS A GRILLE COURTE.

Reçu le 26/04/2004 – Accepté le 15/09/2005

### Résumé

Dans les sciences de l'information telle que l'informatique, les télécommunications, le traitement de la transmission des signaux ou d'images, les composants à effet de champ jouent un rôle primordial. Aussi nous nous intéressons dans le cadre de notre étude du transistor à effet de champ à grille Schottky submicronique à l'arséniure de gallium dit MESFET GaAs. Après une étude analytique des caractéristiques statiques du composant, suivant les différents régimes de fonctionnement, une simulation numérique est effectuée. L'influence des dimensions technologiques [ L, Z, a et Nd ] est étudiée. Les résultats obtenus permettent de déterminer les paramètres géométriques et physiques optimaux du composant en vue de leurs applications et utilisations spécifiques.

**Mots clés :** MESFET AsGa, Paramètres technologiques, éléments parasites, grille Schottky

### Abstract

In the information sciences such as computer science, telecommunications, the treatment of signal or image transmission, the field effect components play an important role. In the frame of our work we are interested in the study of the gallium arsenide short gate field effect transistor called GaAs MESFET. After an analytical study of the component's static characteristics study, according to different working regimes, a numerical simulation is worked out. The influence of technological dimensions (L, Z, a and Nd) is studied. The obtained results allow us to determine the optimal of the device in the view of their applications and specific use.

**Keywords:** GaAs MESFET, technological, physical and geometrical parameters, parasite elements.

S. KHEISSI<sup>1</sup>  
N. MERABTINE<sup>2</sup>  
C. KENZAI<sup>3</sup>  
M.S. BENBOUZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département de SETI. Centre Universitaire de Khenchela. Algérie.

<sup>2</sup> Lab. Electromagnétisme et télécommunications. Dpt. Electronique. Fac. Scs. Ingénieur. Univ. Mentouri Constantine. Algérie.

<sup>3</sup> Lab. Couches minces et interfaces. Dpt. Physique. Univ. Mentouri Constantine. Algérie.

### ملخص

في تكنولوجيا الاتصالات الحديثة تعتبر معالجة و نقل الإشارات و الصور ذات أهمية كبرى و تلعب فيها المركبات ذات الأثر الحثلي دورا مهما. هذه الأخيرة كانت محل اهتمامنا أين قمنا بدراسة تحليلية للخصائص الساكنة I-V لصمام العيوب MESFET GaAs تلاها تمثيل عددي مكننا من دراسة أثر الأبعاد التكنولوجية على هذه الخصائص مما يسهل علينا في المستقبل تحديد أحسن هذه الأبعاد لصناعة مركبات أكثر فعالية و أكثر ملائمة للتطبيقات المتنوعة.

**الكلمات المفتاحية :** MESFET GaAs, محددات تكنولوجية, عناصر متطفلة, شبكة Schottky.

De nombreux laboratoires de recherche ont montré l'intérêt d'utiliser les transistors à effet de champ à grille Schottky sur arséniure de gallium dit MESFET GaAs, pour la réalisation des circuits intégrés logiques et analogiques. Une telle percée des réalisations technologiques ne peut se faire sans une connaissance approfondie de la physique du composant et de tous les phénomènes intrinsèques et extrinsèques qui peuvent en limiter les performances. Dans cette communication nous allons proposer un modèle analytique des caractéristiques courant tension du MESFET GaAs à grille courte ensuite nous avons élaboré un logiciel de simulation qui nous permet de résoudre le système des équations différentielles et de tracer les différents séries courbes.

### DETERMINATION DE LA TENSION SOUS LA GRILLE

Le traitement mathématique bidimensionnel des équations différentielles à l'aide de la technique de Green donne une distribution bidimensionnelle du champ électrique sous la région de la zone de charge d'espace (ZCE). Pour calculer la tension sous la grille la zone de charge d'espace est divisée en deux régions principales : [1]:

♦ La région (1) au-dessous de la grille directement, elle est dite région contrôlée par la grille. Nous utilisons l'approximation unidimensionnelle pour calculer la composante de la relation de tension  $V_q(x, y)$  spécifique à cette région.

♦ La région (2) en dehors de la première région dite région non contrôlée par la grille.

La tension bidimensionnelle du canal sous la grille s'écrit comme suit:

$$V_c(x, y) = V_q(x, y) + V_l(x, y) \dots (1) \text{ Où :}$$

$$V_q(x, y) = \int_0^y \frac{eNd(x, y)}{\epsilon} y dy + y \int_y^{h(x)} \frac{eNd(x, y)}{\epsilon} dy + V_{bi} - V_g \quad (2)$$

Et :

$$V_l(x, y) = \left[ A_1^s \frac{\text{Sinh}(k_1(L-x))}{\text{Sinh}(k_1L)} + A_1^d \frac{\text{Sinh}(k_1x)}{\text{Sinh}(k_1L)} \right] \text{Sin}(k_1y) \quad (3)$$

Avec :

$$A_1^s = \frac{2}{a} \int_0^a [V_c(0, y) - V_q(0, y)] \text{Sin}(k_1y) dy \quad (4)$$

Et :

$$A_1^d = \frac{2}{a} \int_0^a [V_c(L, y) - V_q(L, y)] \text{Sin}(k_1y) dy \quad (5)$$

$A_1^d$  et  $A_1^s$  : sont des coefficients de Fourier pour la tension supplémentaire de grille côtés drain et source respectivement [1].

$$\text{Et : } k_1 = \frac{\pi}{2a}$$

A partir de (3) et (4) l'expression de la tension totale devient :

$$V_c(x, y) = \int_0^{h(x)} \frac{eNd(x, y)}{\epsilon} y dy + V_l(x, y) - V_g + V_{bi} \quad (6)$$

## EFFET DE LA LOI DE MOBILITE

L'hypothèse de mobilité constante et indépendante du champ électrique dans le GaAs de type N ne peut pas traduire les phénomènes physiques. L'expression analytique des variations de la mobilité avec le champ électrique que nous utilisons est une relation simplifiée [2],[3], [4] donnée comme suit :

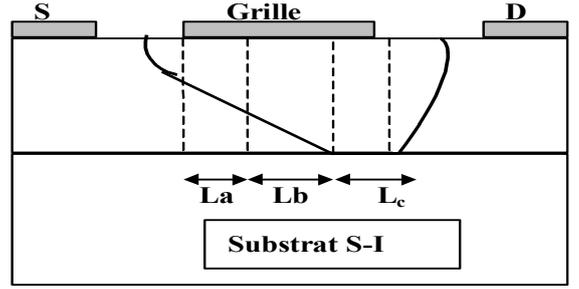
- Pour le domaine des champs électriques faibles où  $E < E_0$  :  $\mu = \mu_0$  (7.a)
- Pour le domaine des champs électriques élevés au delà de  $E_0$  ( $E \geq E_0$ )

$$\mu = \frac{\mu_0}{\left[ 1 + \left( \frac{E - E_0}{E_s} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (7.b)$$

## CARACTERISTIQUES COURANT- TENSION I-V

Pour calculer l'expression du courant de drain en fonction de la tension de drain pour diverses valeurs de la tension de grille, nous utilisons les hypothèses suivantes:

- On néglige le courant dans le sens  $y$ [5], cette approximation est valable pour les composants à grille courte.
- On suppose la mobilité des électrons variable selon les zones sous la grille.
- On divise le canal en trois régions selon la valeur du champ électrique [6, 7] (Figure 1)



**Figure 1 :** Répartition de la zone active selon la variation du champ électrique.

Les caractéristiques  $I_d$  ( $V_d$ ,  $V_g$ ) du transistor MESFET GaAs correspondant à des régimes de fonctionnement différents, sont régies par les équations suivantes :

❖ **Régime linéaire :** Ce régime existe tant que «  $L_a$  » occupe tout le canal, il correspond au domaine des champs faibles où la mobilité est égale à  $\mu_0$ .

L'expression du courant de drain dans ce régime s'écrit comme :

$$I_d = I_{pl} \left[ \frac{V_d}{V_p} - \frac{2}{3} \left( \frac{2V_d + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} + \frac{2}{3} \left( \frac{V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (8)$$

Où :

$$I_{pl} = \frac{e^2 N_d^2 Z \mu_0 a^3}{2 \epsilon L_a}$$

❖ **Régime de pincement :** Quand la tension de drain augmente, le champ électrique dans le canal augmente au delà de  $E_0$ . Le canal sous la grille présente alors deux régions : L'une de longueur «  $L_a$  » dans laquelle le champ est inférieur à  $E_0$  et la mobilité des électrons est constante donnée par  $\mu = \mu_0$ . L'autre de longueur «  $L_b$  » ( $L = L_a + L_b$ ) dans laquelle le champ est supérieur au champ  $E_0$  mais inférieur au champ  $E_m$ , et la mobilité des électrons est donnée par l'expression (7.b).

**1<sup>ère</sup> Région :** Pour :  $E < E_0$  et  $0 < x < L_a$

$$L_a = \frac{I_{pl} L}{I_d} \left[ \frac{V_{da}}{V_p} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_{da} + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (9)$$

**2<sup>ème</sup> Région :** Pour :  $E_0 < E < E_m$  et  $L_a < x < L$

$$L_b = \frac{I_{ps} L}{I_d} \left[ \frac{V_d - V_{da}}{V_p} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_d + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} + \left( \frac{V_{da} + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (10)$$

Où :

$$I_{ps} = \frac{I_p}{\left[ 1 + \left( \frac{E - E_0}{E_s} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

❖ **Régime de saturation :** Dans ce cas le canal sous la grille est divisé en trois régions  $L_a$ ,  $L_b$  et  $L_c$  où :

$$L = L_a + L_b + L_c.$$

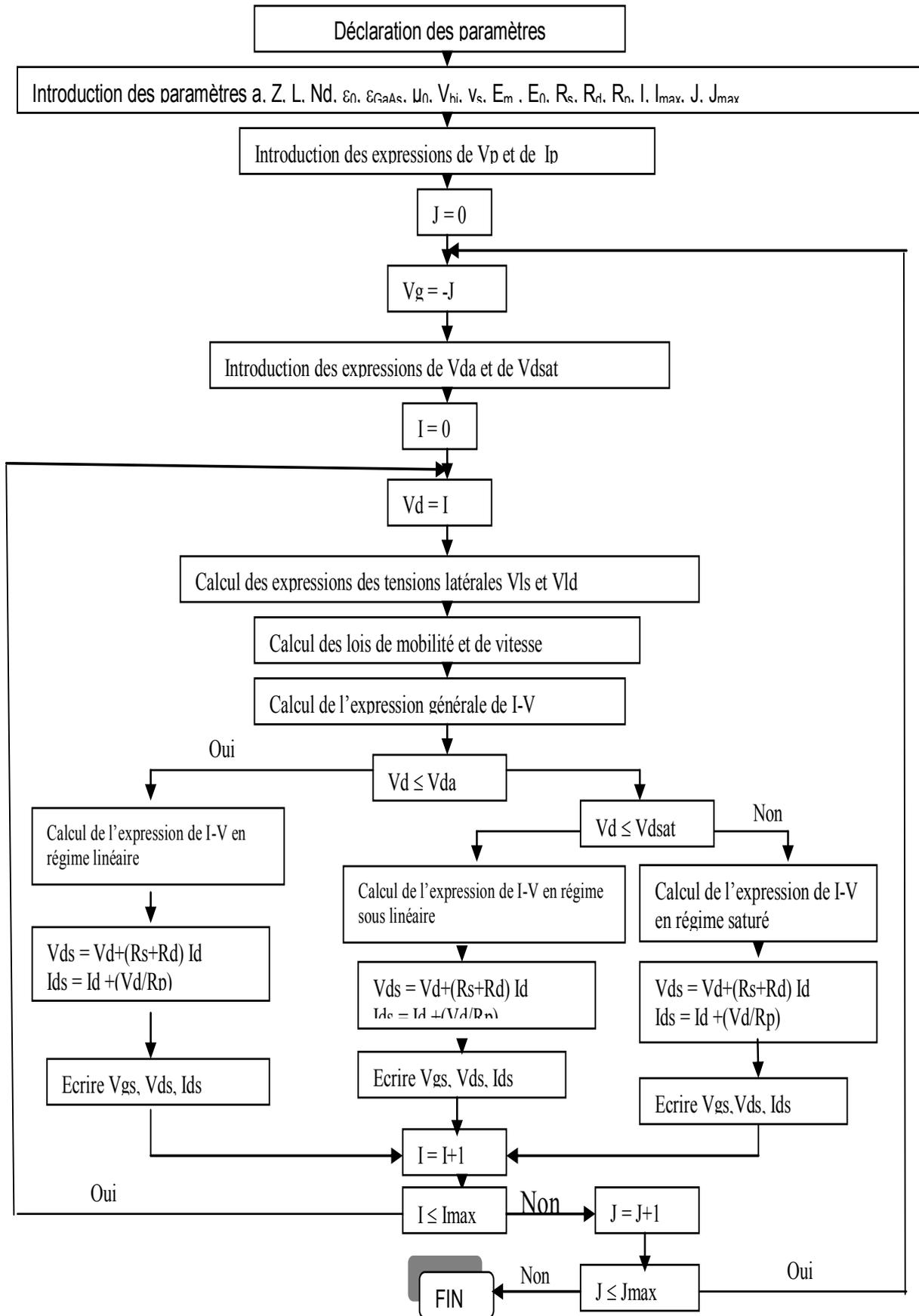


Figure 2 : Organigramme de calcul des caractéristiques I-V.

$$L_a = \frac{I_{pl}.L}{I_d} \left[ \frac{V_{da}}{V_p} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_{da} + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (11)$$

$$L_b = \frac{I_{ps}.L}{I_d} \left[ \frac{V_{dm} - V_{da}}{V_p} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_{dm} + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} + \frac{2}{3} \left( \frac{V_{da} + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (12)$$

$$L_c = \frac{I_{ps}.L}{I_d} \left[ \frac{V_d - V_{dm}}{V_p} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_d + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} + \frac{2}{3} \left( \frac{V_{dm} + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (13)$$

Où : Vda et Vdm sont des tensions maximales des régimes linéaire et pincement successivement.

**EFFET DES ELEMENTS PARASITES**

Les caractéristiques que nous avons présentées sont celles des grandeurs internes ou intrinsèques (Id, Vd, Vg). Pour obtenir les caractéristiques externes ou extrinsèques du composant (Ids, Vds, Vgs) il suffit de prendre en considération l’effet des résistances parasites d’accès de source Rs et de drain Rd, et aussi l’effet de la résistance Rp parallèle au canal sur les valeurs des tensions de polarisations. Pour obtenir les expressions réelles des caractéristiques Ids (Vds, Vgs), il suffit de remplacer les termes intrinsèques par les termes extrinsèques dans toutes les relations précédentes.

Donc :  $V_d = V_{ds} + V_{ld} - (R_s + R_d) I_d$  (14.a)

$V_g = V_{gs} + V_{ls} - R_s I_d$  (14.b)

$I_d = I_{ds} - (V_d / R_p)$  (14.c)

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

Afin de valider les caractéristiques I-V du transistor MESFET GaAs établies dans le paragraphe précédent, un logiciel de simulation basé sur les diverses formules et les équations est exposé, ainsi que les résultats obtenus et leurs discussions.

**Logiciel de simulation**

Le logiciel de simulation est réalisé en FORTRAN 32 version 1, à partir des expressions établies dans les paragraphes précédents. Il permet la résolution du système d’équations et l’édition des résultats dans des fichiers spécifiques [8]. Avec ce logiciel nous pouvons déterminer :

- Les caractéristiques courant tension I-V dans les différents régimes de fonctionnement.
- L’effet des résistances parasites sur les caractéristiques I-V.
- L’effet des tensions Vls et Vld sur les caractéristiques I-V.
- L’effet des paramètres géométriques et technologiques (L, a, Z, Nd) sur les caractéristiques I-V du transistor.

**Caractéristiques courant- tension I-V**

Le calcul numérique du courant de drain en fonction des tensions de polarisations fait appel aux expressions (8), (9), (10), (11), (12) et (13) établies précédemment [9, 10].

L’étude a été effectuée sur deux transistors le MESFET N°1 et le MESFET N°2 [1] dont les paramètres sont regroupés dans le tableau 1 :

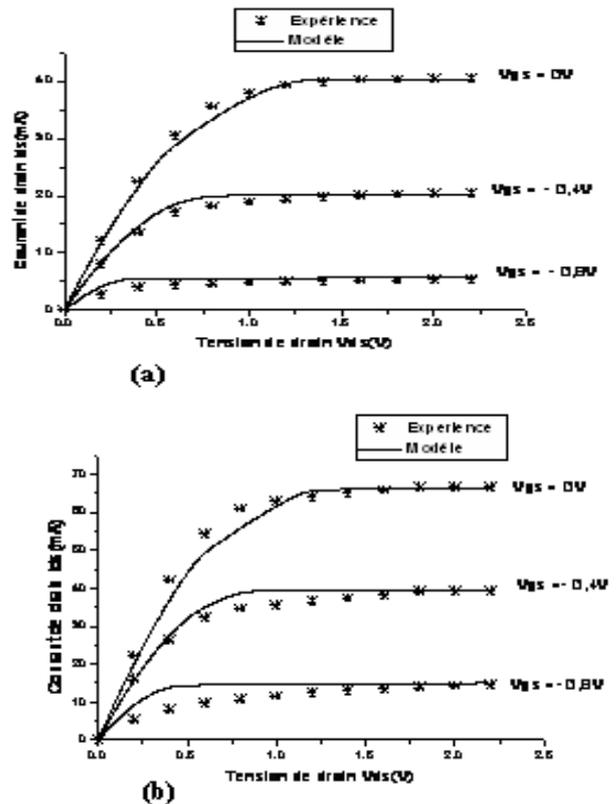
**Tableau (1) :** Paramètres physiques et géométriques des transistors MESFET 1 et 2

Trans	MESFET 1	MESFET2
L (µm)	1	0,5
a (µm)	0,153	0,1435
Z (µm)	300	300
µo (m²Vcm)	0,4000	0,4000
Nd (10 <sup>23</sup> /m)	1,17	1,31
Vs (m/s)	3,6 . 10 <sup>5</sup>	7,3 . 10 <sup>5</sup>
Vbi (V)	0,85	0,85
Vp(V)	1,93	1,95

**Tableau (2) :** Effet des paramètres technologiques sur les caractéristiques I(V)

MESFET N°	3	4	5	6
L(µm)	0,5-2	1	1	1
a(µm)	0,15	0,15-0,18	0,15	0,15
Z(µm)	300	300	50-300	300
Nd(At/m³)	1,2 . 10 <sup>23</sup>	1,2 . 10 <sup>23</sup>	1,2 . 10 <sup>23</sup>	(1-1,3) . 10 <sup>23</sup>
µo(m²/V.s)	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000
Vbi(V)	0,8	0,8	0,8	0,8

Dans les figures (3a) et (3b) nous avons présenté respectivement la comparaison de la caractéristique Ids( Vds, Vgs ) mesurée et calculée à l’aide de la simulation pour le MESFET1 et MESFET2.



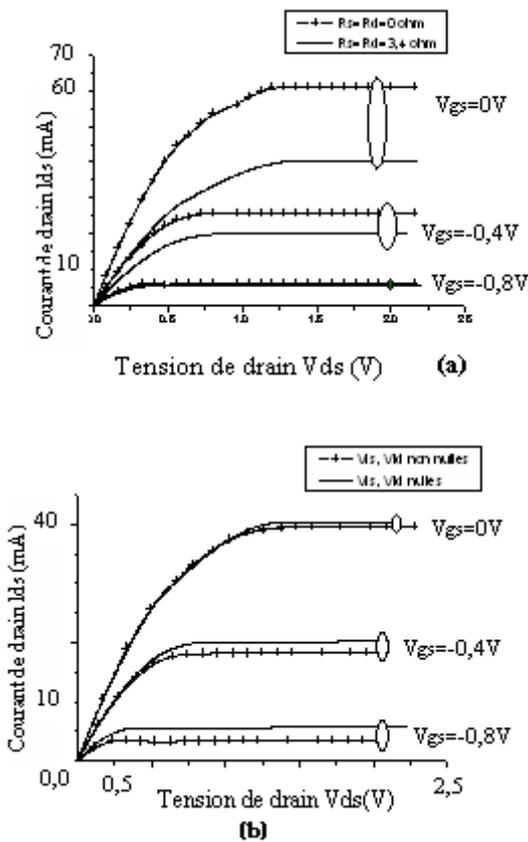
**Figure 3 :** Effet des éléments parasites sur les caractéristiques I-V. (a) : Résistances RS et Rd (b) : Tensions des bords Vis et Vld.

Au fur et à mesure que la tension de drain  $V_{ds}$  augmente pour une tension de grille  $V_{gs}$  constante, le courant de drain augmente rapidement puis se stabilise.

Dans ces figures, nous remarquons également que les résultats théoriques et ceux de l'expérience ont le même comportement envers la tension de drain et coïncident bien, notamment aux valeurs élevées de la tension  $V_{ds}$ . Ceci montre le bien fondé de la méthode.

### Effet des éléments parasites

Dans le but de mettre en évidence les effets des résistances parasites de source  $R_s$  et de drain  $R_d$  et aussi l'effet des tensions des bords du canal conducteur  $V_{ls}$  et  $V_{ld}$  sur les caractéristiques I-V du MESFET GaAs, nous présentons sur les figures (4 a et b), et dans le cas du transistor N°01, les variations du courant de drain en fonction de la tension de drain avec et sans ces éléments parasites.

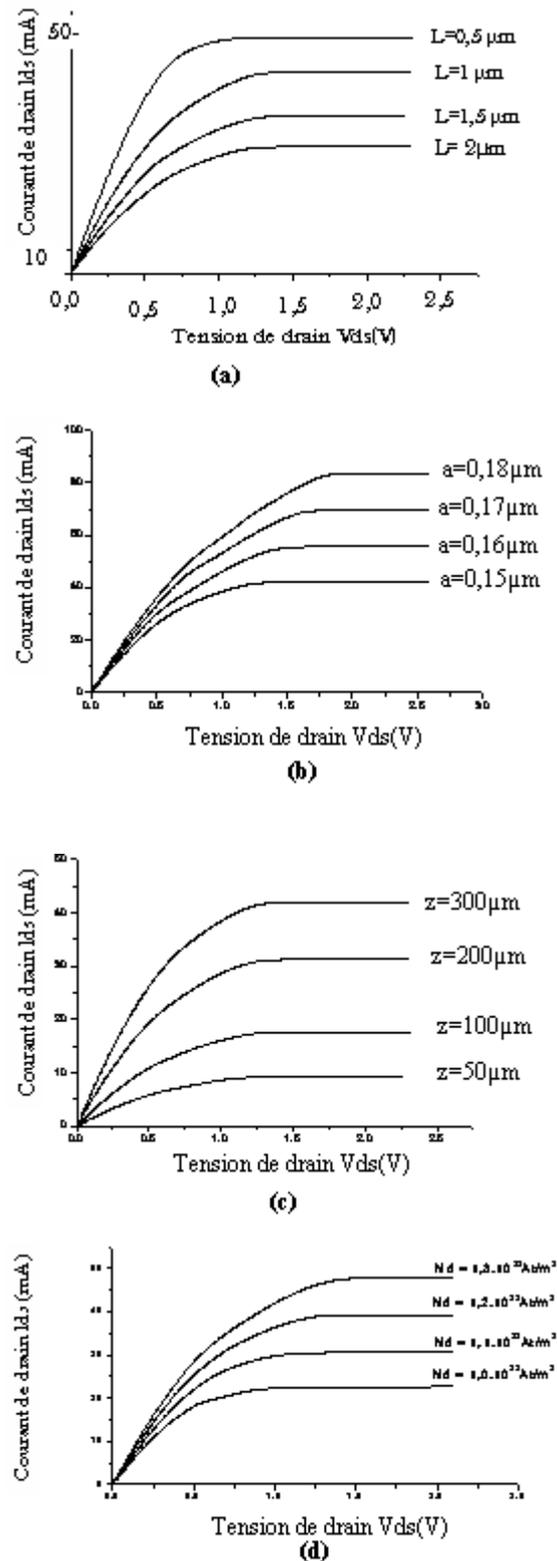


**Figure (4) :** Effet des éléments parasites sur les caractéristiques I-V. (a) Résistances  $R_s$  et  $R_d$ . (b) tensions des bords  $V_{ls}$  et  $V_{ld}$ .

### Effet des paramètres physiques et géométriques

Dans notre simulation numérique [8] nous avons étudié l'influence des différents paramètres physiques et géométriques  $L$  (longueur de la grille),  $a$  (épaisseur de la couche active),  $Z$  (largeur de la grille) et  $N_d$  (le dopage) sur les caractéristiques courant tension I-V du transistor MESFET GaAs dont les paramètres sont regroupés dans le tableau (2). Les figures (5 a, b, c et d) présentent les

variations du courant de drain  $I_{ds}$  en fonction de la tension de drain  $V_{ds}$  pour différents paramètres physiques et géométriques  $L$ ,  $a$ ,  $Z$  et  $N_d$ .



**Figure (5) :** Variations des caractéristiques I-V pour les transistors : (a) MESFET 3. (b) MESFET 4. (c) MESFET 5. (d) MESFET 6.

## CONCLUSION

Dans cette communication nous avons proposé une simulation des caractéristiques courant tension I-V du transistor MESFET GaAs à grille submicronique, dans ce qui suit l'influence des éléments parasites et des paramètres physiques et géométriques sur ces caractéristiques a été établie. Les résultats obtenus permettent la mise au point de géométrie de composant adaptée à des utilisations spécifiques.

## REFERENCES

- [1]- S.P.Chin, C.Y.We. IEEE Trans. Electron Devices Vol **40**, N° 4 - 1993.
- [2]- C.S.Chang, D.Y.Day. IEEE Trans Electron Devices Vol **36**, N° 2 – 1989.
- [3]- K. F. Yasihuko and al. IEEE Trans U.T.T, N°3 – 2000.
- [4]- S. P. Murray, K. P. Roenker Solid State Electronics Vol **46** -2002.
- [5]- T.A. Fjedley, T. Yterdal, M. S. Shur, Wiley, New York -1998.
- [6]- K.M.Shin, D.P.Klamer, J.I.Lion . Solid Stat Electronics Vol **35**, N° 11 – 1992.
- [7]- C. Leifso and al. IEEE Trans Electron Devices , N°5 – 2000.
- [8]- S.Khemissi Thèse de Magister Université de Constantine Mai 2003.