

Buu 202002621

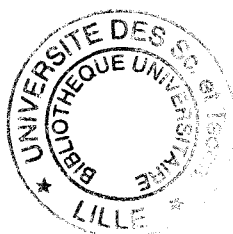
50376
4989
340

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE LILLE FLANDRES ARTOIS

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES
EN ELECTRONIQUE

MENTION ELECTROMAGNETISME ET MICROONDES

ETUDE DU COMPORTEMENT EN
TEMPERATURE
DU TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GAZ
BIDIMENSIONNEL D'ELECTRONS



Présenté par:
Yannick GOBERT
LILLE, Juillet 1989

Table des matières

Première Partie

I) Présentations générales

- 1) Principe de fonctionnement du TEGFET
- 2) Adaptation du matériel en chaud

II) Etudes expérimentales

- 1) Caractérisations statiques
 - a) Données expérimentales
 - b) Interprétations
- 2) Mesures aux fréquences intermédiaires
 - a) Mesure du C(V)
 - b) Mesure du profil de mobilité
- 3) Evolution des éléments du schéma équivalent petit signal
- 4) Facteur de Bruit

Deuxième Partie

I) Présentation du programme

II) Adaptation du programme pour des fonctionnements aux températures élevées

- 1) Evolution de la mobilité
- 2) Evolution de la structure de bande
- 3) Premiers résultats de la simulation

Conclusion Générale

Introduction

Depuis son apparition , le TEGFET a largement démontré sa supériorité en amplification petit signal , face aux autres Transistors à Effet de Champ conventionnel . En particulier , il s'est révélé d'un grand intérêt en régime faible bruit, allant jusqu'à concurrencer le MASER aux températures cryogéniques , tout en ayant un coût de revient bien moindre .

Vu ses qualités aux températures inférieures à l'ambiante , il était intéressant de se pencher sur l'évolution de ses performances , lors de fonctionnements l'amenant à des températures dépassant l'ambiante .

Or , il semblerait , d'après certaines observations , que ses performances , en particulier son facteur de bruit , s'altèrent plus rapidement que celles des MESFET .

Aussi ce travail consiste à rendre compte des phénomènes survenant lors de l'échauffement thermique du composant , afin de les analyser et de tenter d'en déduire l'importance .

Ce mémoire comporte donc , dans une première partie , la présentation d'une approche expérimentale . Une seconde partie est consacrée à une tentative de simulation de l'évolution en température des caractéristiques du composant afin d'effectuer une confrontation théorie-expérience . Enfin nous terminerons par les premières conclusions tirées de ces travaux préliminaires .

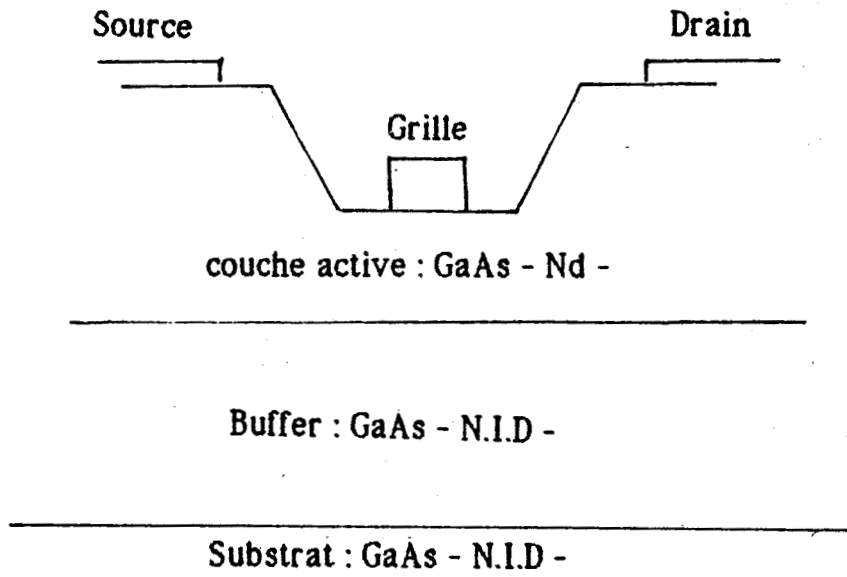


Fig. 1 : Schéma de principe du MESFET

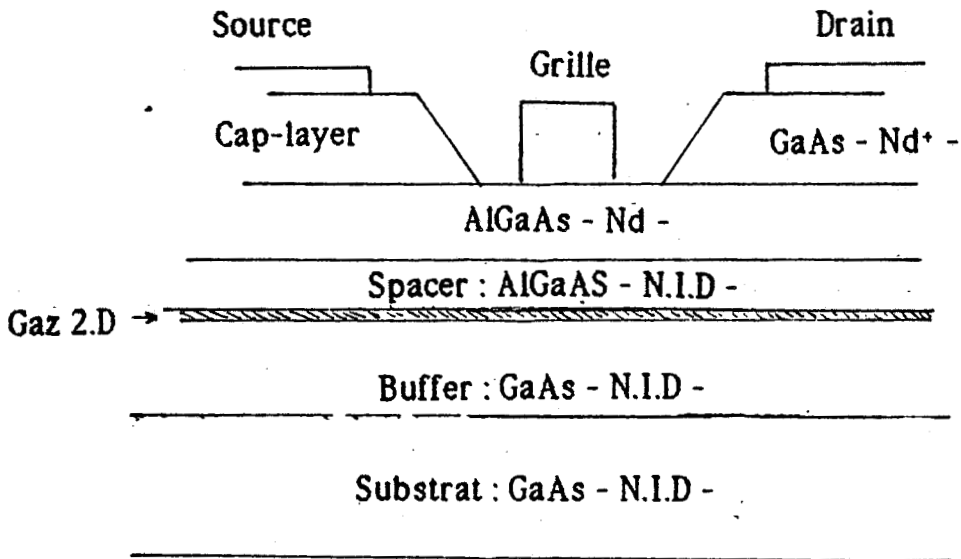


Fig. 2 : Schéma de principe du TEGFET

Première Partie

1) Présentations générales

La meilleure manière de rendre compte de la dégradation des performances d'un composant, lors de contraintes thermiques, est d'effectuer une étude comparative préliminaire de données expérimentales, relevées à diverses températures.

C'est sur ces bases, et dans le but d'obtenir le maximum d'informations sur les phénomènes mis en jeu, que nous avons effectué les principales manipulations qui ont cours au laboratoire. De même, nous nous sommes efforcés, dans la mesure du possible, de caractériser le plus grand nombre de transistors, de provenance et technologie différentes, afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble et de pouvoir confronter les comportements des TEGFET à ceux des MESFET.

1) Principe de fonctionnement du TEGFET

Il semble nécessaire, avant tout, de rappeler, sommairement, le principe de fonctionnement du TEGFET, celui du MESFET ayant déjà fait l'objet de nombreux travaux. Les figures (1) et (2) donnent un aperçu de la structure du MESFET et du TEGFET.

Le principe de fonctionnement du TEGFET est proche de celui du MESFET. On module un courant d'électrons, se déplaçant dans un canal situé sous la grille, par l'application d'une tension grille.

La grande différence réside dans le fait que, dans un TEGFET, ce flux de porteurs est essentiellement constitué par un gaz bidimensionnel d'électrons. Ce gaz est lié à la présence d'une hétérojonction constituée d'une part d'une couche d'AlGaAs dopé et d'autre part d'une couche d'AsGa la plus pure possible. Le gaz d'électrons se retrouve alors localisé dans le puits de potentiel existant du côté de l'AsGa. Les porteurs formant ce gaz sont ainsi séparés des impuretés leur ayant donné naissance, ce qui leur permet d'atteindre des mobilités nettement plus élevées.

Type de Transistor	épaisseur a (Å)	T. X d'alliage x	Nd 10^{17} At/Cm^3	spacer e (Å)
(MESFET) 528T101	1000		4	
(MESFET) NEC 031			7	
3588 B n 10	480	0,19	7	80
4270 B n 6	350	0,21	20	20
523T101	620	0,21	7	5
112T306	380	0,25	20	30
(MOCVD) 526T104	400	0,28	25	
(MOCVD) 535T101				

Tableau n°1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des Transistors employés

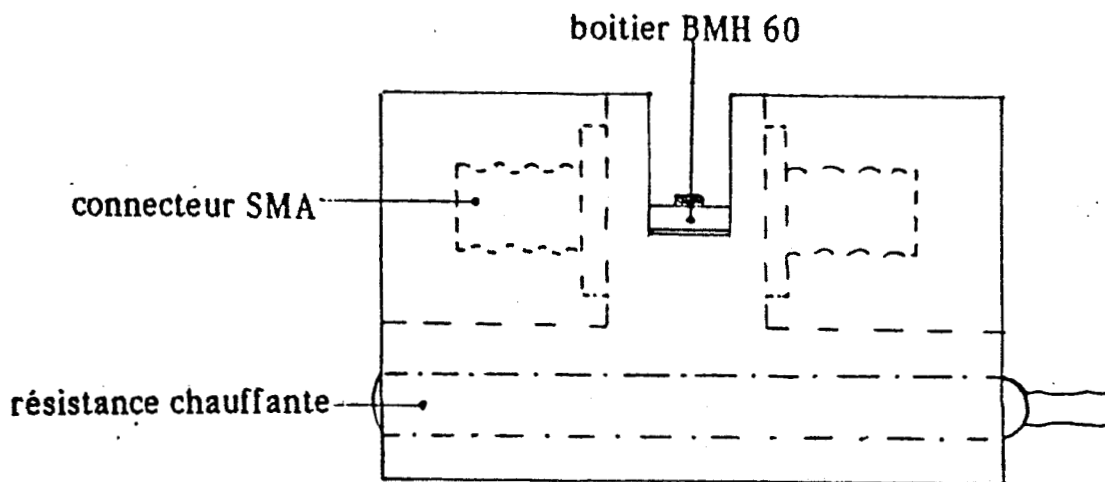


Fig. 3 : Schéma de la cellule de mesures

Afin de réaliser des hétérojonctions aux profils de composition et/ou de dopage les plus abrupts , il a été mis au point des technologies différentes mais bien adaptées aux circonstances : l'épitaxie par jet moléculaire (MBE) et le dépôt en phase vapeur (MOCVD) basé sur l'utilisation d'organométalliques .

2) Adaptation du matériel à la mesure aux températures élevées

L'étude en température nous a amené à concevoir une cellule de faible dimension , contenant son système de chauffage et pouvant s'adapter au matériel de mesure existant . Comme les manipulations s'effectuent en connecteurs OSM , nous avons conçu cette cellule sur les bases d'une cellule BMH.60 (Fig.3) . Les éléments de chauffage ont été disposés de manière à perturber le moins possible les manipulations , particulièrement celle de mobilité , tout en assurant un échauffement le plus uniforme possible . La sonde thermique a été disposée de façon à obtenir la meilleure information sur la température effective du transistor . Enfin , afin de confiner l'énergie et d'éviter l'échauffement inutile de son environnement , la cellule a été recouverte d'un tissu d'amiante . Nous avons ainsi obtenu un élément pratique , permettant d'effectuer les manipulations habituellement réalisées en cellule BMH.60 dans de bonnes conditions .

II) Etudes expérimentales

Nous donnons , dans le tableau (1), la liste des composants étudiés accompagnée de leurs caractéristiques technologiques quand celles-ci nous sont connues .

Chaque type de manipulation a été effectué à plusieurs températures -(293K , 333K , 373K , dernièrement 393K)- , afin d'obtenir le sens général d'évolution des phénomènes survenant lors d'échauffements thermiques .

Nous avons vérifié l'inexistence d'hystérésis , phénomène présent en basses températures . Les centres DX n'ont donc plus d'effet notable aux températures étudiées , leur temps de piégeage-dépiégeage devenant relativement court comparativement au temps de mesure (réf. 1) .

Comme il semble que le TEGFET s'altère plus rapidement que ses homologues MESFET , l'étude a été menée conjointement sur les MESFET et les TEGFET , en confrontant leurs évolutions .

De plus , pour mieux rendre compte des évolutions survenues , une superposition systématique des caractéristiques a été effectuée .

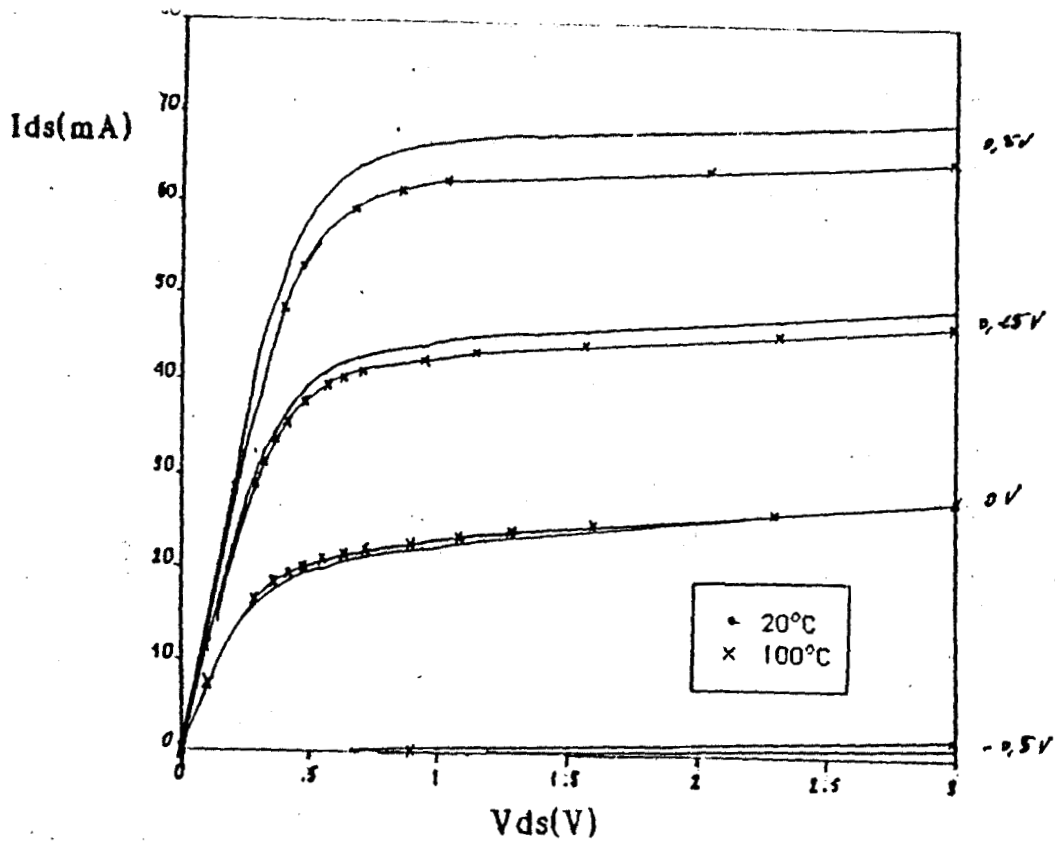


Fig. 4 : Caractéristiques statiques propres aux MESFET en exemple le NEC 031

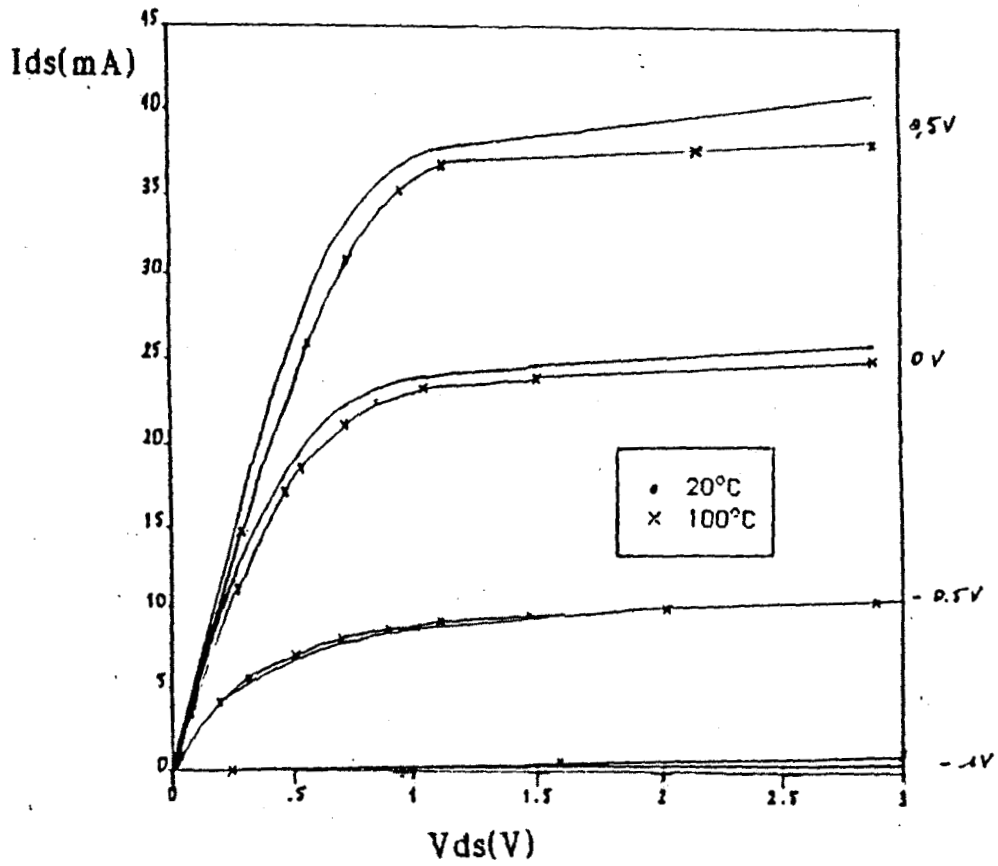


Fig. 5 : Caractéristiques statiques propres aux TEGFET en exemple le 523T101

Ainsi quatre types de caractéristiques fondamentales ont été abordées :

- * la mesure des caractéristiques statiques
- * les mesures dans la bande 10-500 Mhz - ou à fréquences intermédiaires - qui sont : le $C(V)$, le $R_{ds}(V)$, $\mu(V)$ et $M_{diff}(V)$
- * les mesures hyperfréquences
- * la mesure de bruit

1) Caractéristiques statiques

a) Données expérimentales

Ces mesures sont effectuées à partir d'un banc automatisé associé à un ordinateur assurant le traitement des données .

Ces manipulations , effectuées en continue , sont tout à fait classiques . Elles permettent une première approche des comportement et performances du composant .

Les mesures $I_{ds}(V_{ds})$ mettent en évidence certaines évolutions . On remarque ainsi que - (Fig. 4 et 5) - :

* lorsque l'on est à canal ouvert - généralement $V_{gs} \geq 0 V$ - , le courant moyen diminue avec la température .

* la tension de déchet augmente sensiblement et la pente du courant en champ faible diminue .

* lorsque l'on se rapproche de la tension de pincement V_p , le courant augmente , ce qui contribue à l'augmentation de V_p .

Les caractéristiques $I_{ds}(V_{gs})$ confirment l'augmentation , - lorsqu'elle existe - , de la tension de pincement avec la température et permet grossièrement de la chiffrer . Les variations de la transconductance G_m déduite de ces caractérisations - $I_{ds}(V_{gs})$ - font apparaitre une décroissance systématique de la valeur maximale du G_m en fonction de la température - (Fig. 6) - .

On remarque , à partir de la caractérisation de la grille $I_g(V_g)$ que les résistances d'accès et de canal suivent une évolution assez régulière en température - (Fig. 7 , 8 , 9) - . Les résistances d'accès semblent suivre une loi d'évolution proche de celle du matériau en volume dopé - ($\sim \mu^{-1}$) - . Ceci sera abordé ultérieurement .

L'évolution du courant grille I_g est , quant à elle , en bonne accord avec la théorie ; de meme que le coefficient d'idéalité n et la hauteur de barrière Schottky ϕ . Ils vérifient les équations suivantes :

$$* I_g = A.S.T^2 \cdot \exp\left(-\frac{q.V_g}{n.k.T}\right)$$

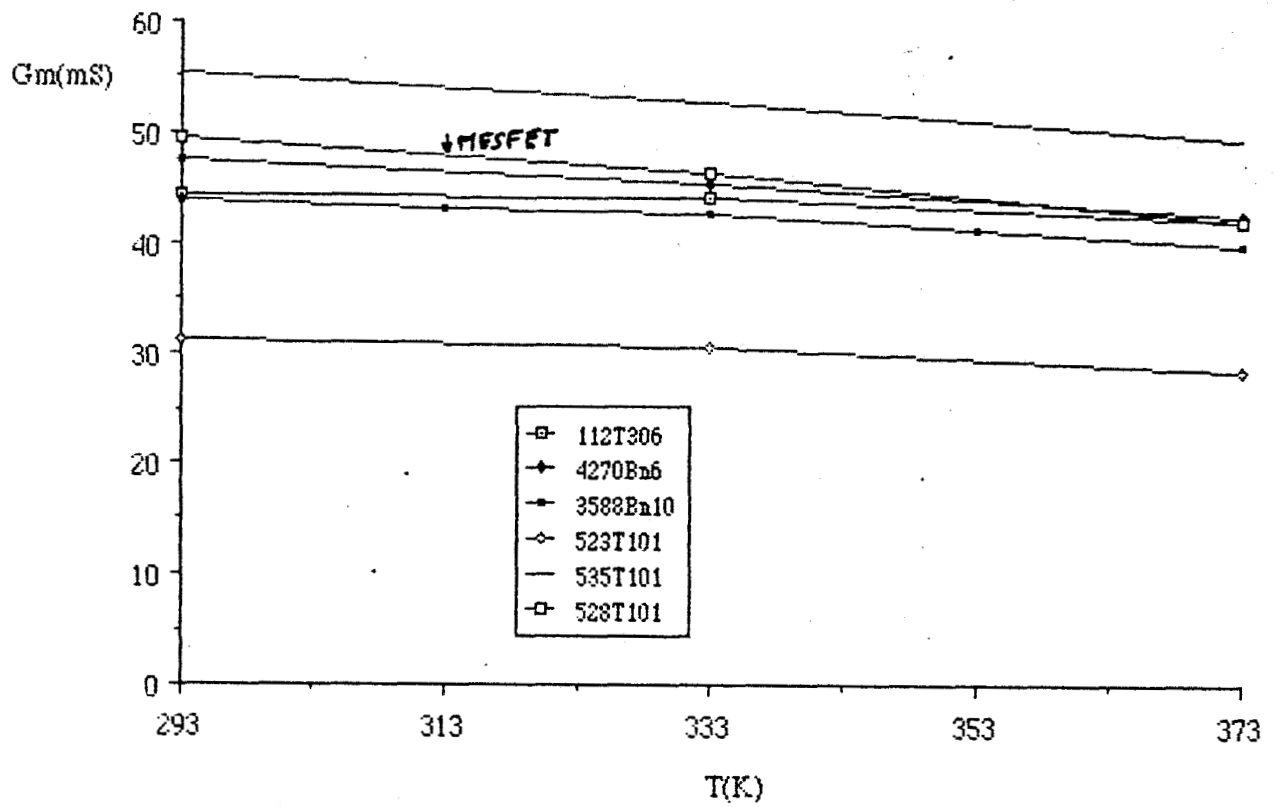


Fig. 6 : Evolutions en température de la transconductance statique maximale - $G_{m_{\max}}$ - MESFET et TEGFET confondus

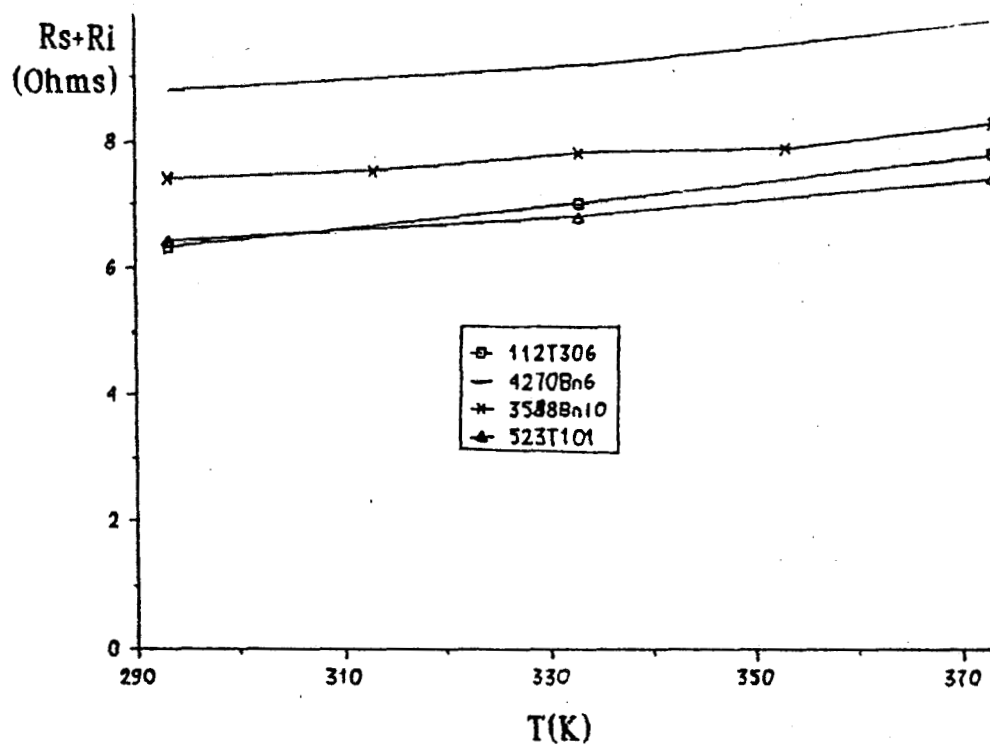


Fig 7 Evolution en température de $R_s + R_i$

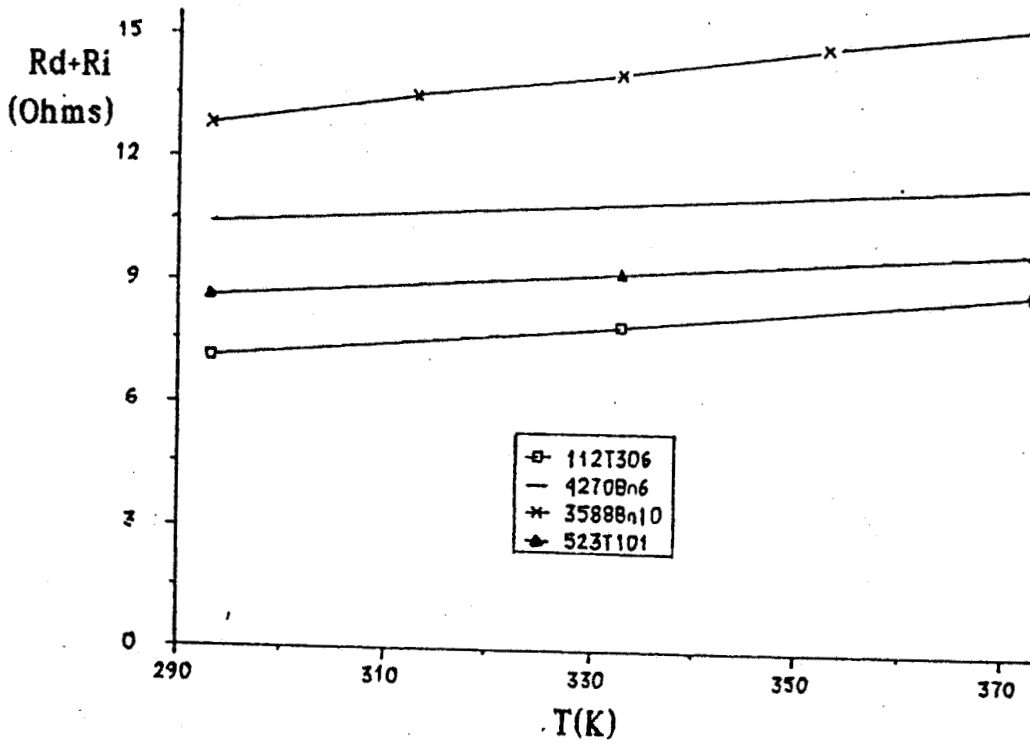


Fig 8 : Evolution en température de Rd + Ri

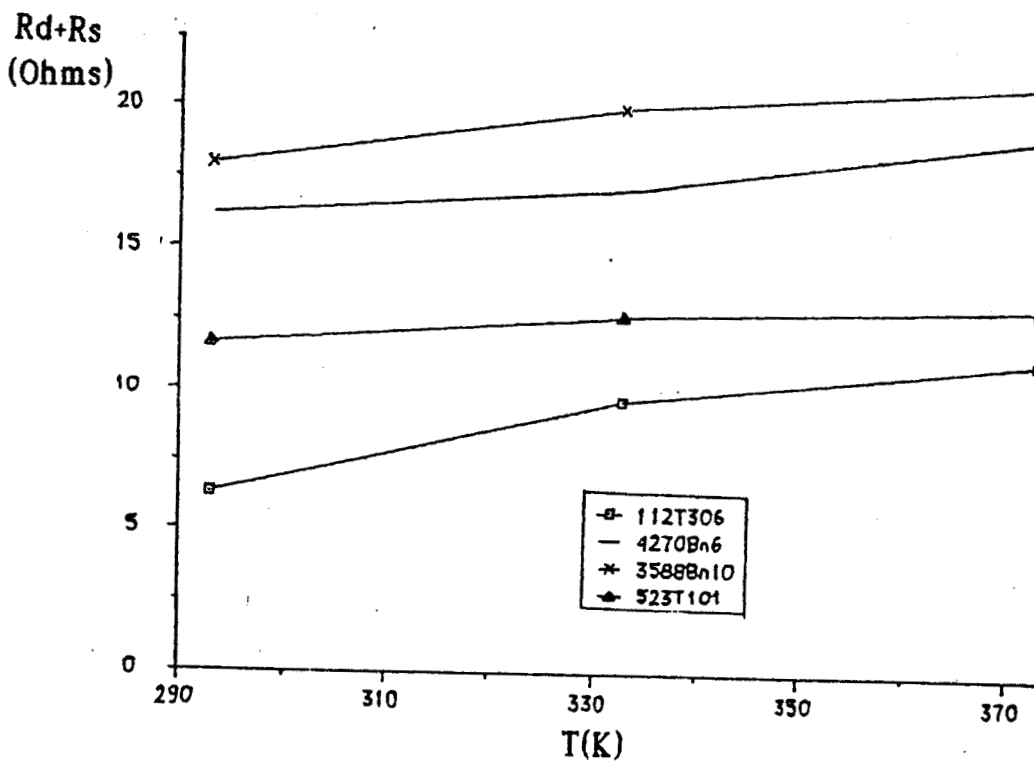


Fig 9 : Evolution en température de Rd +Rs

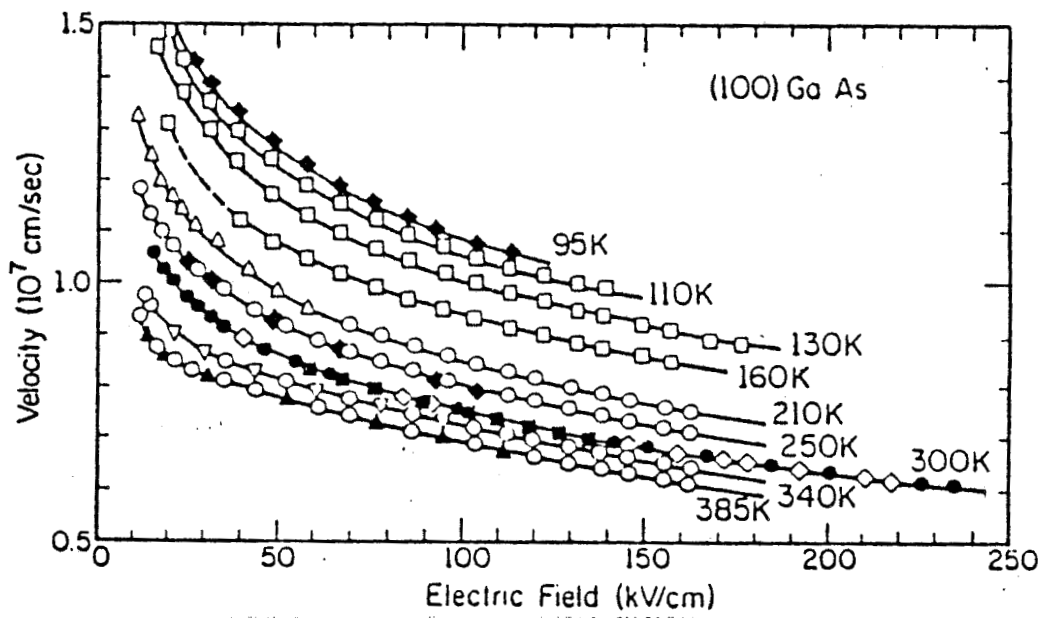


Fig. 10 : Evolution en température de la vitesse de saturation dans l'AsGa - (ref. 2) -

$$* n = \frac{q}{k.T} \frac{d(Vg)}{d.Ln(Ig)}$$

$$* \emptyset = n \cdot \frac{k.T}{q} Ln \frac{A.S.T^2}{Ig}$$

b) Interprétations

L'évolution à canal ouvert du courant I_{ds} peut s'expliquer en se rappelant que ce courant est fonction du nombre de porteurs le constituant et de leur vitesse. Comme on considère un courant moyen, nous sommes donc dans les conditions de champs élevés, soit les porteurs ont atteint, grossièrement, leur vitesse de saturation. Or, en se référant aux travaux de Windhorn - (réf.2) ; (Fig.10) -, on remarque une diminution de la vitesse de saturation dans l'AsGa en fonction de la température ce qui expliquerait en grande partie l'évolution du courant. Il y a aussi le fait que les résistances d'accès augmentent, ce qui diminuerait la tension de commande V_{gs} vue par le composant intrinsèque, d'autant plus que le courant est important. En effet, le composant voit une tension de commande V_{gs} telle que :

$$V_{gs} = V_{gs_appl} - R_s.I_{ds}$$

En ce qui concerne la tension de déchet et la pente du courant I_{ds} en régime faible V_{ds} , cela peut s'expliquer de deux manières :

* comme précédemment la tension vue par le composant intrinsèque diminue sensiblement avec la température, bien que l'évolution des résistances d'accès soit relativement modérée.

* de plus, aux températures considérées, la mobilité est essentiellement limitée par les phonons optiques, limitation qui lui fait suivre une loi d'évolution en $T^{-1.25}$ - (réf. 3, 4, 5) -. Nous sommes en champs faibles, soit en régime de mobilité, d'où, comme celle-ci diminue, le courant ne peut que suivre la même évolution. Ces évolutions de la mobilité seront abordées plus en détail dans les paragraphes suivants.

L'augmentation du courant, lorsque l'on tend vers la tension de pincement, peut s'expliquer par l'accroissement du courant injecté dans le buffer. Nous y reviendrons plus en détail par la suite.

Il est difficile d'expliquer l'augmentation de la tension de pincement V_p simplement par les évolutions en température de la hauteur de barrière \emptyset et de la hauteur de discontinuité des bandes de conduction ΔE_c à l'interface AlGaAs-GaAs, sachant que V_p vérifie :

$$* V_p(T) = \emptyset(T) - \frac{\Delta E_c(T)}{q} - \frac{q.N_d.d^2}{2.\emptyset}$$

Par contre, il semblerait que l'évolution de V_p soit corrélée à la présence d'un spacer dans le composant. En effet, lorsque l'on regarde le tableau suivant,

où ΔV_p représente l'évolution entre 293 K et 373 K de V_p , il semble apparaitre une relation entre cette évolution et l'existence d'un spacer .

Transistor	3588 B n 10	112T306	4270 B n 6	523T101	526T201
Spacer (°A)	80	30	20	5	0
ΔV_p (mV)	* 110	* 50	* 30	qq mV	* 0

Lorsque l'on simule le diagramme des énergies , il apparait qu'en cas d'existence d'un spacer , l'inflexion de la bande est plus marquée . Ceci faciliterait le piégeage par les centres DX des porteurs au niveau de la zone d'énergie la plus basse , les centres DX se retrouvant sous le niveau de Fermi . Toute fois , la présence du dit spacer , en limitant la charge dans la gaz bidimensionnel , abaisse le niveau de Fermi .

L'influence de celui semble confirmé par les travaux de Subramanian - (réf. 6) - , qui attribue cette évolution de V_p , pour des températures comprises entre 225 K et 400 K , à la présence d'une interface AlGaAs dopée-AlGaAs non dopée , et , dans une moindre mesure , à la contribution des centres DX sur la charge d'espace .

Or cela ne peut expliquer l'évolution de V_p chez les MESFET , où ce phénomène provient d'une augmentation de l'effet d'injection . Il ne serait donc pas vain de penser que chez les TEGFET ce phénomène intervienne aussi

Nous avons vu que la transconductance G_m diminuait . On sait qu'elle vérifie l'équation suivante :

$$G_m = \frac{\Delta I_{ds}}{\Delta V_{gs}}$$

Comme la transconductance maximum est obtenue à canal ouvert et qu'alors le courant diminue ainsi que la vitesse , on ne pouvait observer qu'une diminution du G_m . De meme la plage de tension V_{gs} de commande tend à augmenter , d'où une pente $\frac{d I_{ds}}{d V_{gs}}$ plus faible .

2) Mesures aux fréquences intermédiaires

a) Mesure du C(V)

La mesure se réalise sur un pont réflectométrique (HP 4191) associé à un calculateur assurant à la fois la commande du pont , l'acquisition

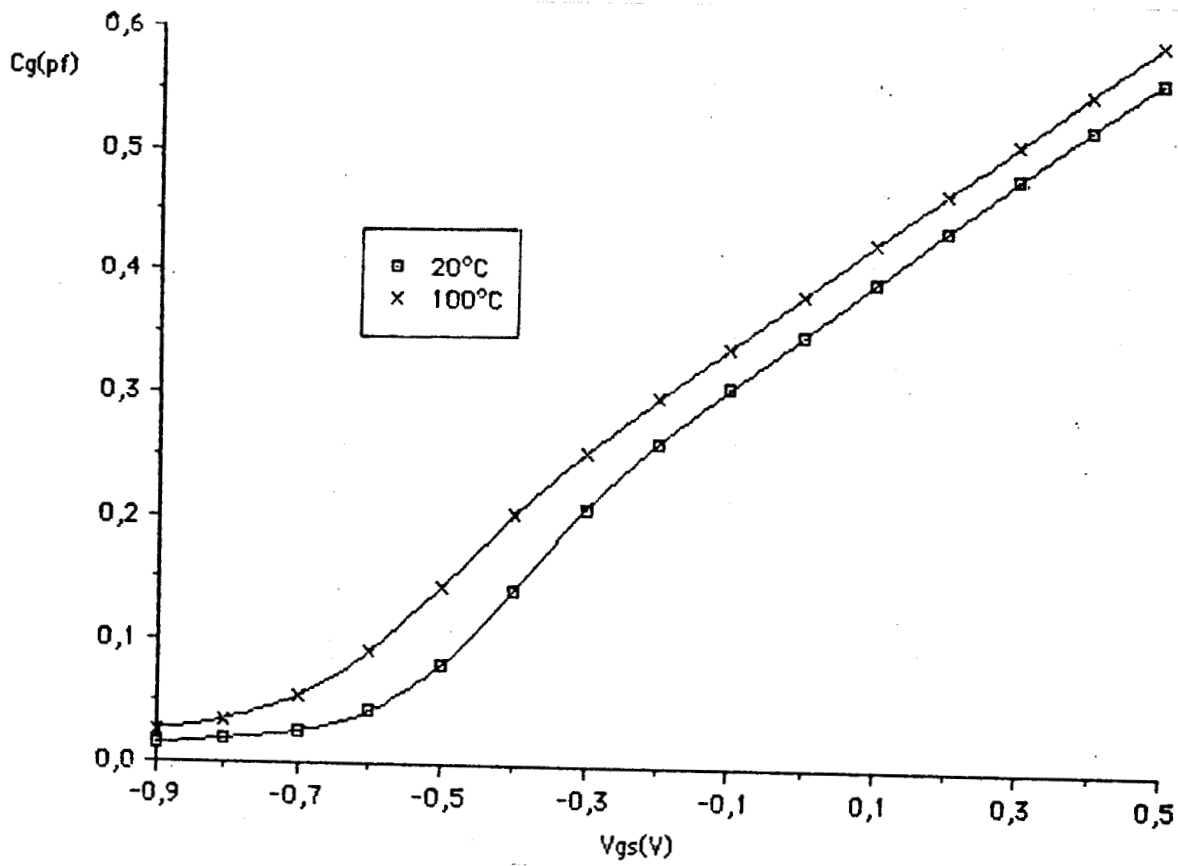


Fig 11

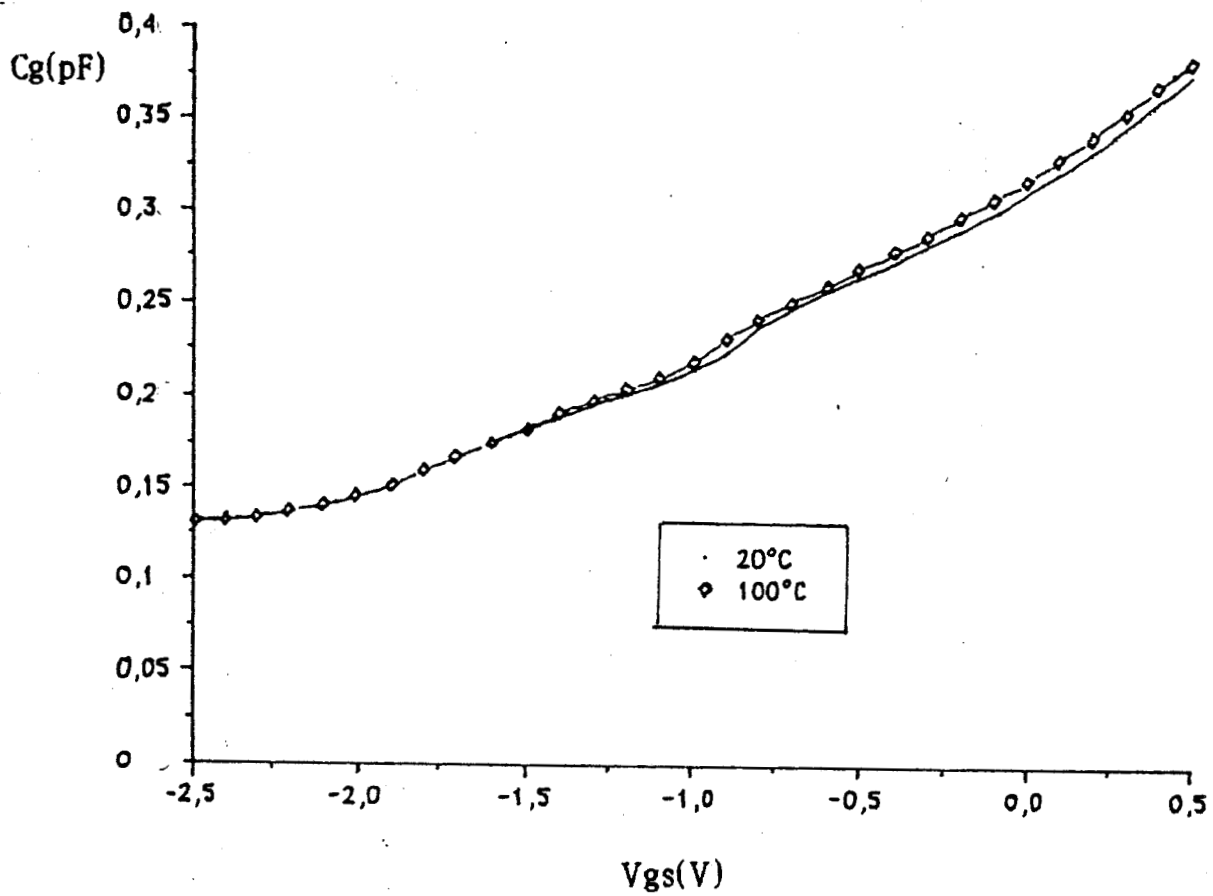


Fig 12

Fig. 11 , 12 : Evolution en température du C(V)
des TEGFET : Fig 11 : 3588 B n°10 Fig 12 : 523T101

et le traitement des données . elle s'effectue à une fréquence de 500 Mhz afin de s'affranchir d'effets parasites inhérents au composant

Elle permet d'accéder à la loi de commande de charge du composant $C(V_{gs})$, et l'évolution de la charge sous la grille $Q(V_{gs})$.

Comme la capacité $C_{lim.}$ est principalement d'origine électrostatique, soit insensible à la température et à la charge sous la grille, on ne s'est intéressé qu'à l'évolution de :

$$\Delta C_g(V_{gs}) = C(V_{gs}) - C_{Lim.}$$

où $\Delta C_g(V_{gs})$ représente la capacité véritablement créée par la charge existant sous la grille.

Lorsque l'on regarde l'évolution en température de cette capacité - (Fig. 11 à 14) - , on constate qu'elle augmente de manière plus ou moins marquée selon le type de transistor - MESFET ou TEGFET - .

Il semblerait que, pour le TEGFET, deux paramètres, principalement, interviennent : l'épaisseur du spacer, le dopage de l'AlGaAs. Pour mieux nous rendre compte, nous avons relevé les écarts de capacités entre 293 K et 373 K, pour une tension V_{gs} de zéro volt. Nous obtenons le tableau suivant :

Transistor	3588 B n 10	112T306	4270 B n 6	523T101
x (%)	0,19	0,25	0,21	0,21
Spacer (°A)	80	30	20	5
Nd (10^{17} At/Cm ³)	7	* 20	* 20	7
Ecart d Cg (fF)	* 28	* 39	* 33	* 7
d Cg (fF/mm)	* 95	* 130	* 110	* 47

On observe une quasi insensibilité, pour les MESFET, de ΔC_g face à la température. Ceci pourrait s'expliquer par l'inexistence de piégeage de charges mobiles. En effet, il faut arriver à des dopages de quelques 10^{18} At/Cm³ - (ref. 1 et 7) - pour voir apparaître des effets de piégeage. La légère évolution de la capacité en température proviendrait plutôt de la dégénérescence de matériau, celui-ci étant très dopé - (ref. 10) - .

L'influence du spacer pourrait s'expliquer par le fait que l'apport d'énergie thermique offre une plus grande probabilité, aux électrons, de passer de l'AlGaAs dopée au gaz bidimensionnel, soit par dessus le spacer.

b) Mesure du profil de mobilité



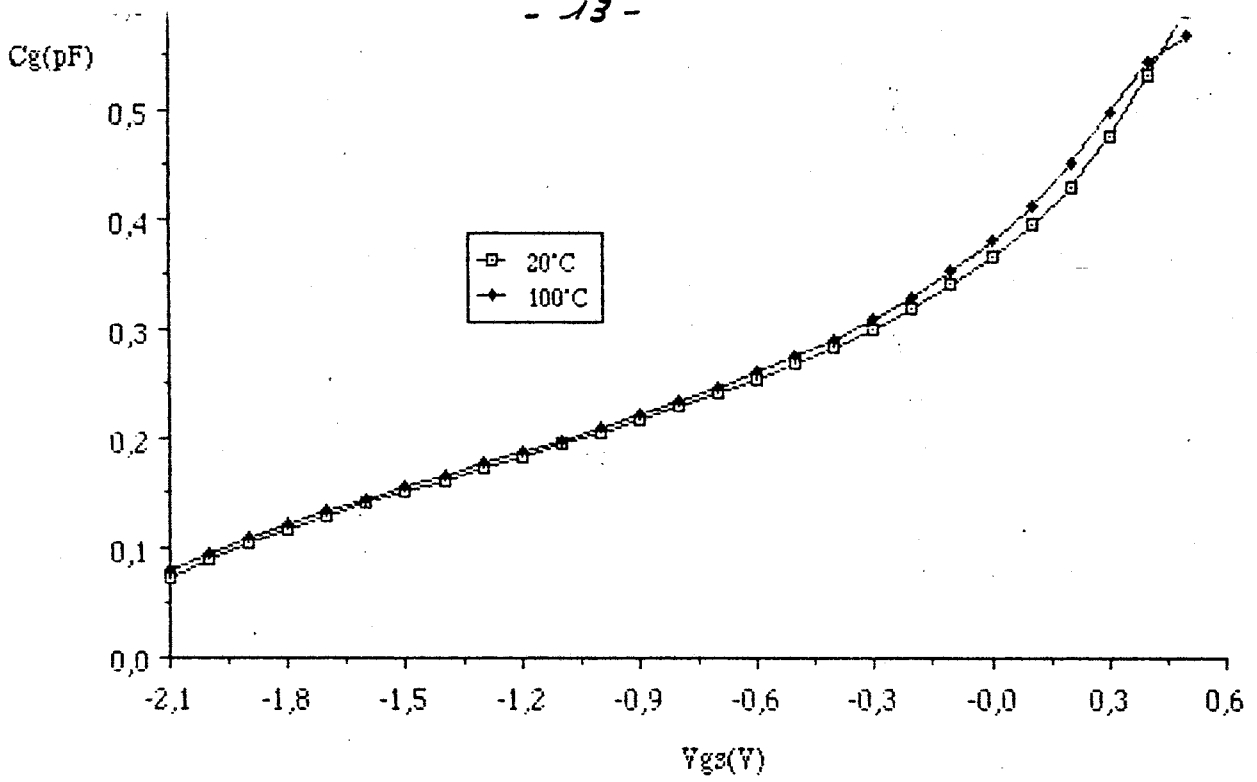


Fig 13

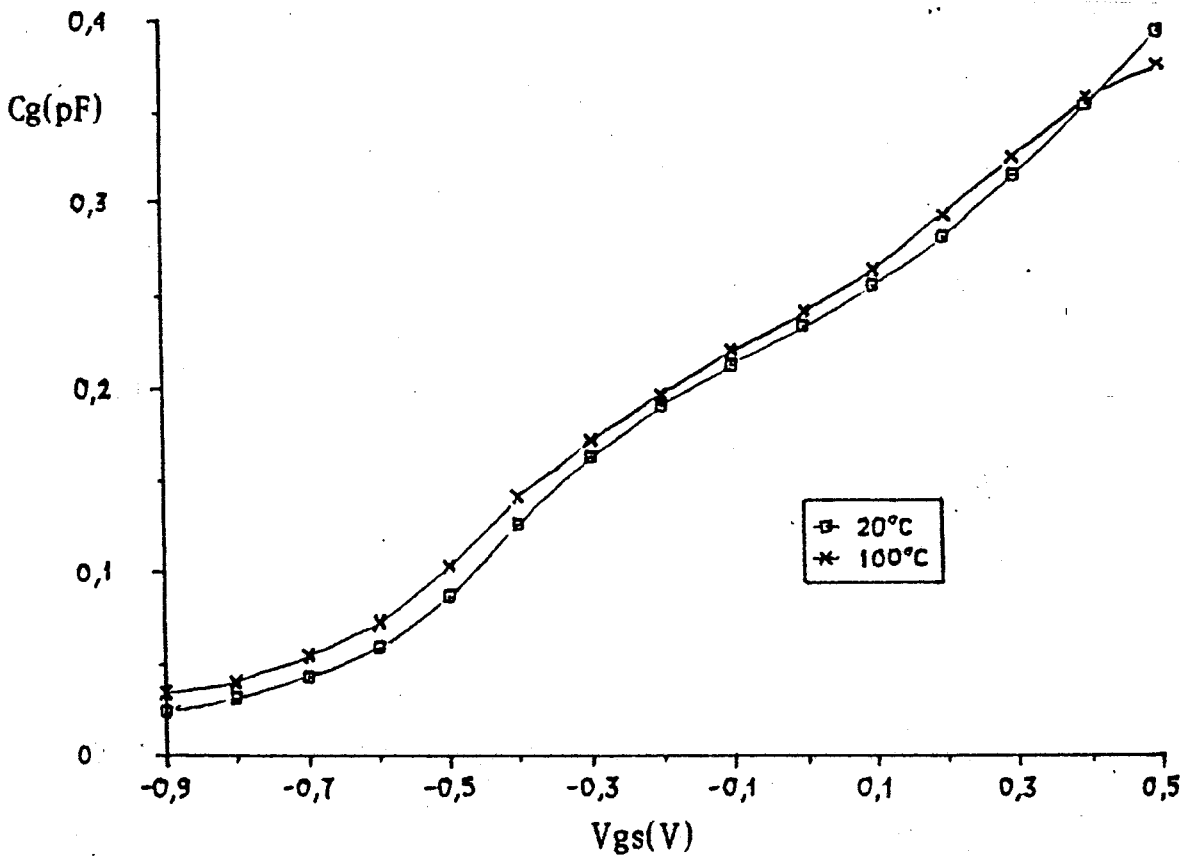


Fig14

Fig. 13 , 14 : Evolution en température du C(V)
des MESFET : Fig 13 : 528T101 Fig 14 : NEC 031

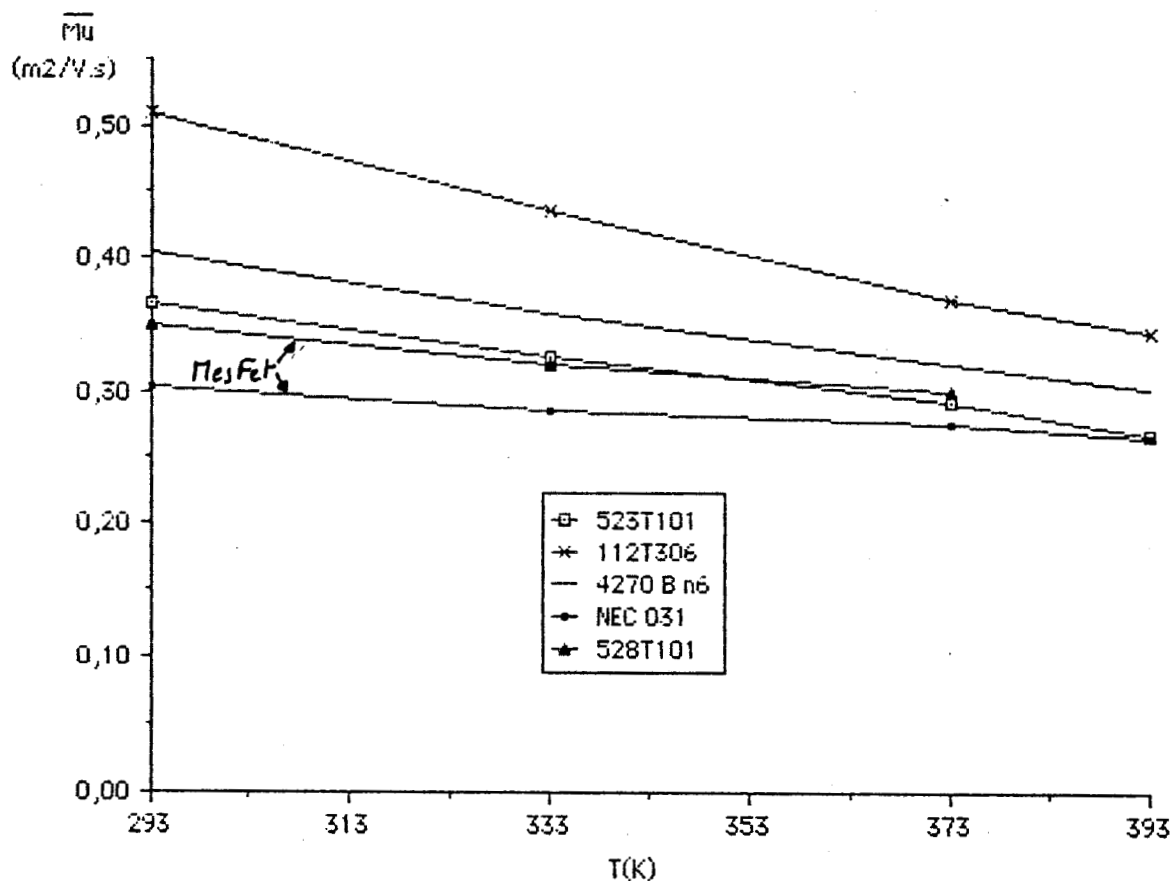


Fig. 15 : Evolution de la Mobilité moyenne
MESFET et TEGFET confondus

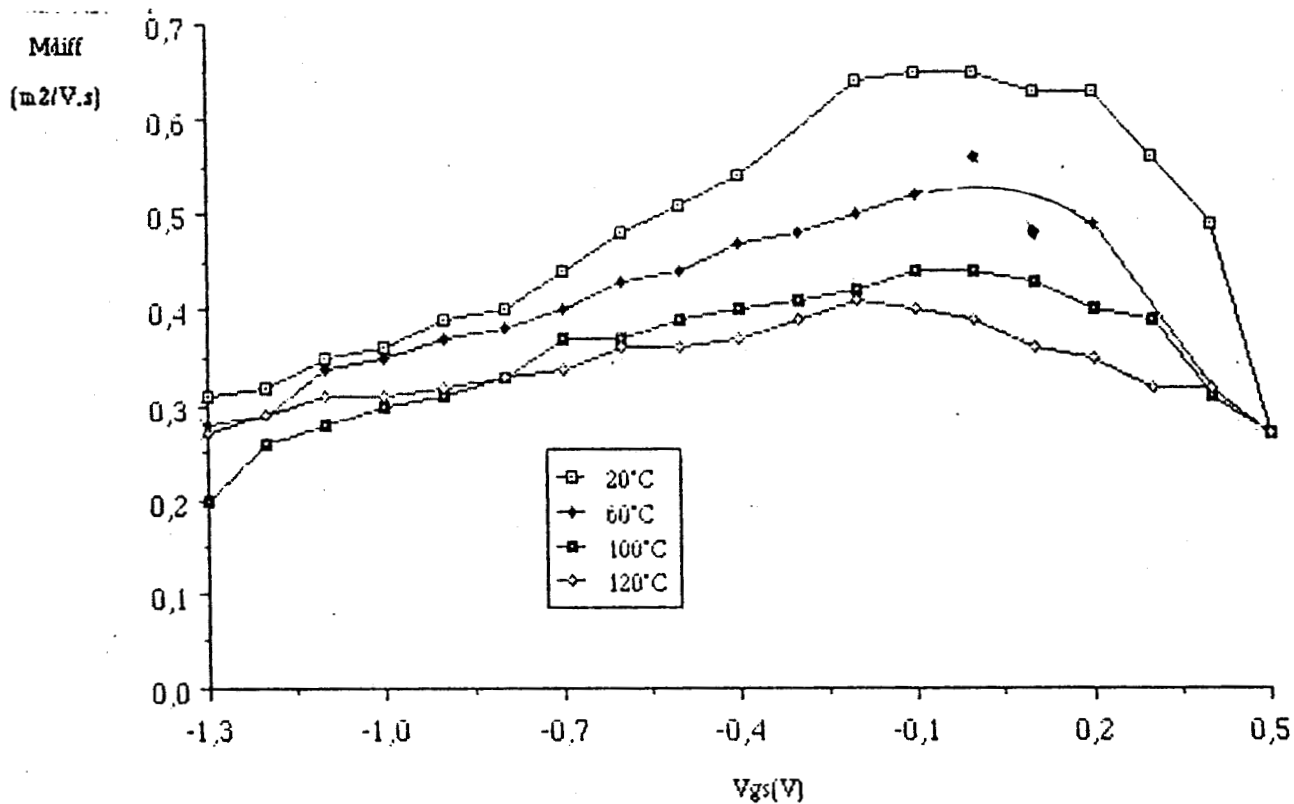


Fig. 16 : Evolution de la mobilité différentielle propre
au TEGFET en exemple le 112T306

La mesure s'effectue à partir du même banc de mesure, mais cette fois à une fréquence de 100 Mhz. Elle est basée sur l'effet magnétorésistif des semi-conducteurs. Sous l'effet d'un champ magnétique, la résistance entre le Drain et la Source augmente du fait de l'allongement de la trajectoire des porteurs. En négligeant l'effet de la largeur sur la longueur de l'espace Drain-Source, on vérifie alors l'équation :

$$R_{ds}(B) = R_{ds}(0) \cdot (1 + \mu^2 B^2)$$

où $R_{ds}(0)$ représente la résistance entre Drain et Source en l'absence de champ et μ la mobilité des porteurs dans le matériau. La validité de cette mesure est limitée par la présence des résistances d'accès, qui masquent, par leur propre mobilité, la mobilité intrinsèque du composant.

On constate, lorsque l'on regarde les résultats expérimentaux, une diminution des diverses mobilités, quoique dans des proportions différentes suivant le type.

En confrontant les évolutions de la mobilité moyenne des MESFET et TEGFET - (fig. 15) -, on remarque facilement qu'elle évolue plus rapidement dans le cas du TEGFET. L'observation de la mobilité différentielle du TEGFET nous révèle une décroissance rapide de la mobilité dans le gaz bidimensionnel en température - (fig. 16) -. Il est difficile de tirer des conclusions quant à la mobilité différentielle dans l'AlGaAs, étant fortement masquée par celle des résistances d'accès. C'est pourquoi, vu les relativement faibles taux d'alliage utilisés et l'analogie communément faite entre les caractéristiques de l'AlGaAs et l'AsGa, nous considérons que l'évolution de la mobilité dans l'AlGaAs dopée suit une même loi que celle rencontrée dans un MESFET. Nous avons essayé de chiffrer ces évolutions en température afin de pouvoir effectuer une confrontation avec les estimations théoriques obtenues dans de rares publications. Il est apparu de nos résultats que les mobilités suivaient une loi d'évolution en T^{-n} . Ainsi l'exposant n vaut 0,5 pour la mobilité moyenne - et différentielle, puisque c'est la même - dans le MESFET, alors que celui se rapportant au TEGFET vaut plutôt 1,25. Pour la mobilité dans le gaz bidimensionnel, on obtient un exposant n d'environ 1,8.

L'évolution de la mobilité dans le gaz bidimensionnel en $T^{-1,8}$ est en bon accord avec les recherches de Drummond - (ref.8) - qui obtient une loi en $T^{-2,07}$. Cette évolution rapide est essentiellement due à l'interaction avec les phonons optiques comme le montre la figure n° 17.

En ce qui concerne l'évolution de la mobilité dans le matériau en volume dopé, on sait que, aux températures d'étude, deux limitations interviennent essentiellement : l'interaction avec les impuretés ionisées et l'interaction avec les phonons optiques. On sait de plus que l'interaction avec les impuretés ionisées évolue proportionnellement au dopage et suit une loi en $T^{1,5}$, soit augmente avec la température, alors que l'interaction avec les phonons optiques évolue en $T^{-1,5}$, si bien que dans notre cas l'un compense l'autre. Ceci explique la valeur "modérée" de n et permet de dire que les interactions avec les phonons optiques l'emportent progressivement sur celles

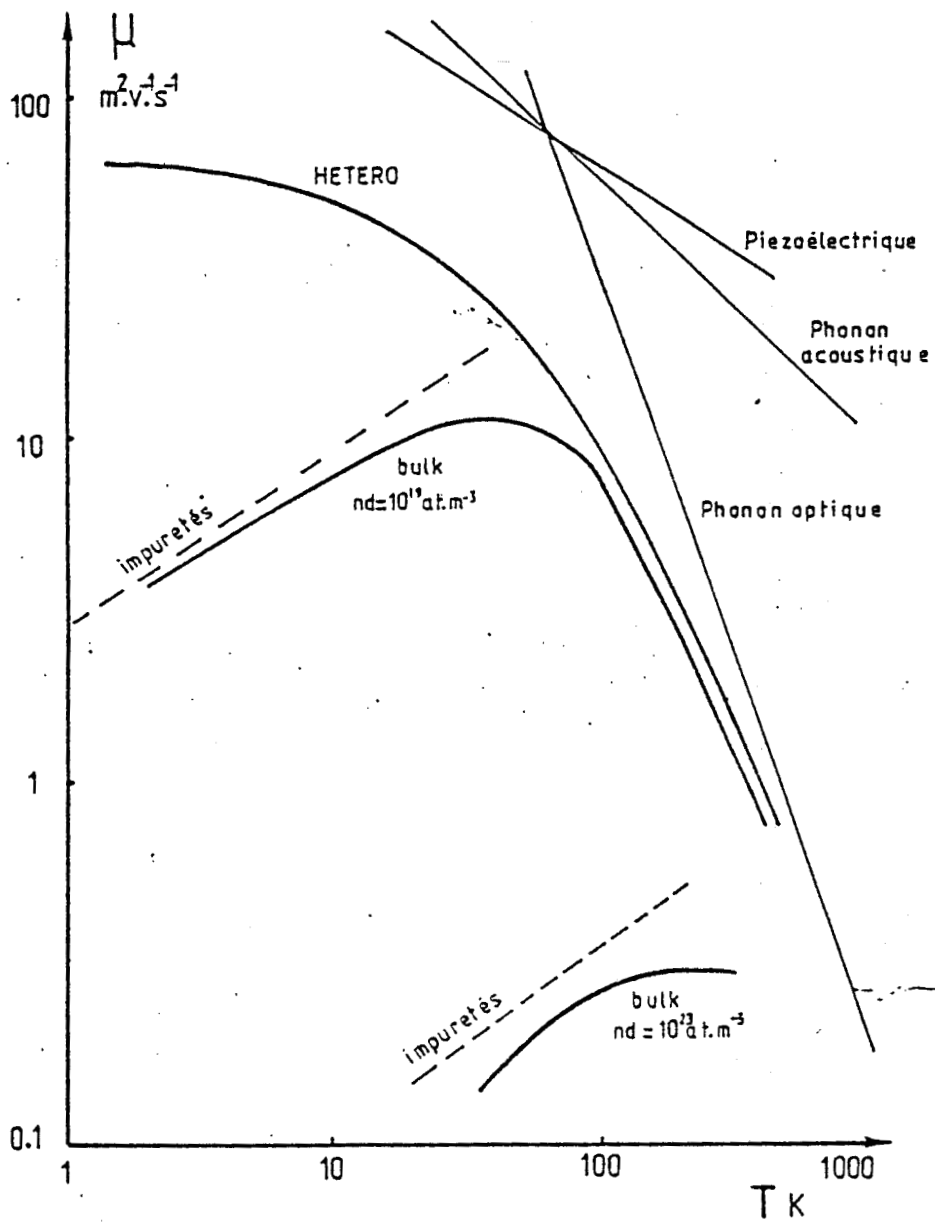


Fig. 17 : Evolution en température de la mobilité dans le matériau

dues aux impuretés ionisées , aux températures d'étude , puisque nous avons un exposant n négatif . La figure n°17 rend assez bien compte de tout ceci . Par contre dans le cas du TEGFET , la mobilité moyenne résulte de la conduction dans le gaz bidimensionnel et dans le matériau en volume dopé (AlGaAs) , et , comme la mobilité dans l'AlGaAs est alors faible devant celle dans le gaz bidimensionnel , on a donc une évolution mitigée mais plus proche de celle du gaz .

3) Evolution des éléments du schéma équivalent petit signal

Afin d'accéder aux performances hyperfréquences d'un composant , une détermination des éléments du schéma équivalent petit signal est nécessaire .

Au laboratoire , une méthode directe d'accès à ces éléments , à partir des paramètres S_{ij} mesurées dans la bande 2-4 Ghz , a été mise au point - (ref. 9) - . Elle s'effectue en deux étapes :

* la détermination des éléments d'accès par une mesure à $V_{ds} = 0 V$

* la détermination des éléments du schéma équivalent intrinsèque en fonction de V_{ds} et V_{gs}

La mesure s'effectue sur l'analyseur de réseaux 8510 .

Il ressort des caractéristiques une quasi insensibilité à la température de la capacité C_{gd} - (fig. 18) - , ce qui confirme l'idée que C_{gd} est essentiellement constituée de la capacité inter-électrode Drain-Grille .

L'évolution de la capacité C_{gs} n'apporte guère de plus amples renseignements et confirme les observations effectuées sur le $C(V)$.

Les évolutions de la transconductance et de la fréquence intrinsèques font apparaître une même loi pour les TEGFET et les MESFET - (fig. 27) - . Ceci sous-entend une même loi l'évolution de la vitesse de saturation équivalente dans ces matériaux . Elle serait en $T^{-0,85}$.

Lorsque l'on regarde l'évolution de la conductance G_d , on constate que celle-ci tend à augmenter avec la température , quand on s'approche de la tension de pincement V_p - (fig. 19) - . Par contre , à canal ouvert , elle diminue avec la température . On peut expliquer ces faits comme suit :

* L'augmentation de G_d , quand on approche V_p , appuie l'idée d'une augmentation des phénomènes d'injection par le buffer . Ceci pourrait provenir de l'augmentation avec la température de la densité de charge intrinsèque - (ref. 10) - , accompagnée de l'augmentation de l'activité des impuretés compensatrices qui , étant proche du niveau de Fermi , ne participent à la capture que de manière succincte .

* La diminution de G_d , à canal ouvert , appuierait l'idée d'une diminution de la vitesse de saturation - (ref. 2) - , en accord avec la diminution du courant moyen .

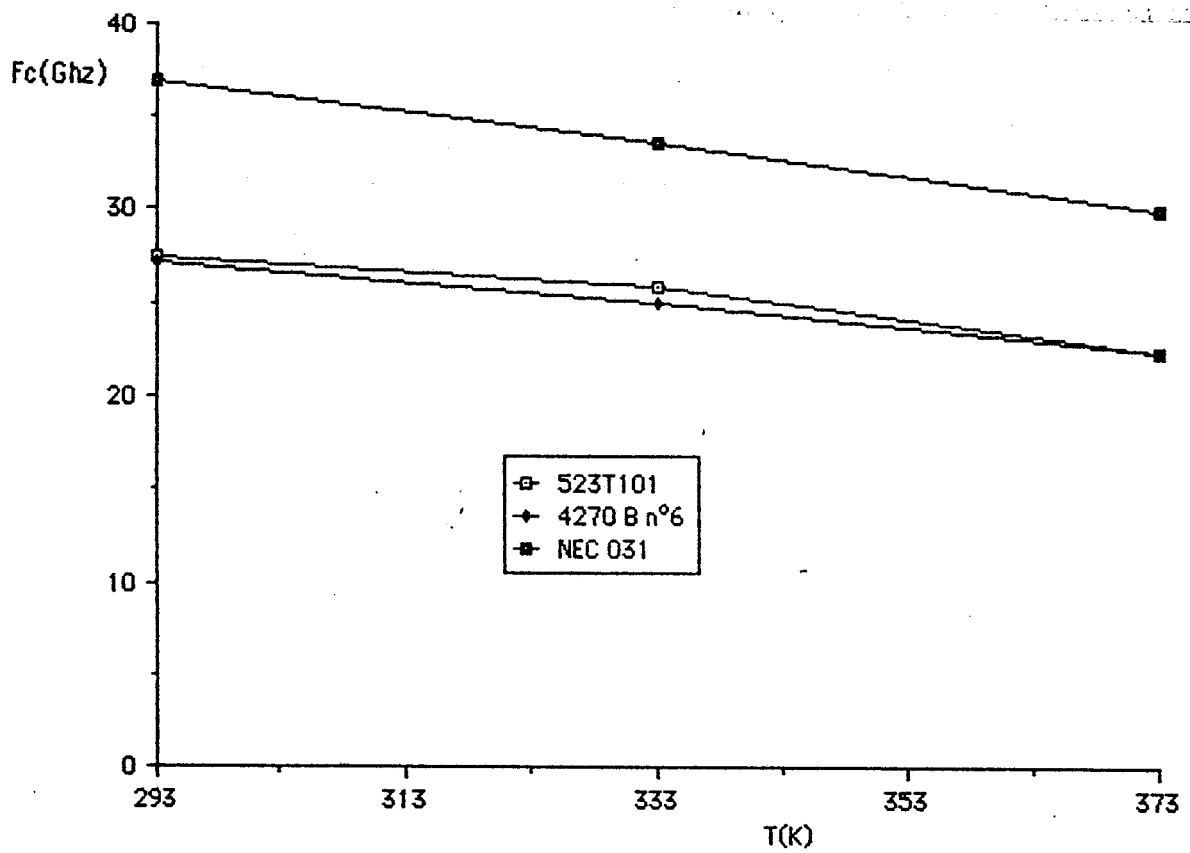


Fig. 27 : Comparaison de l'évolution en température de la fréquence de coupure maximale des TEGFET et MESFET

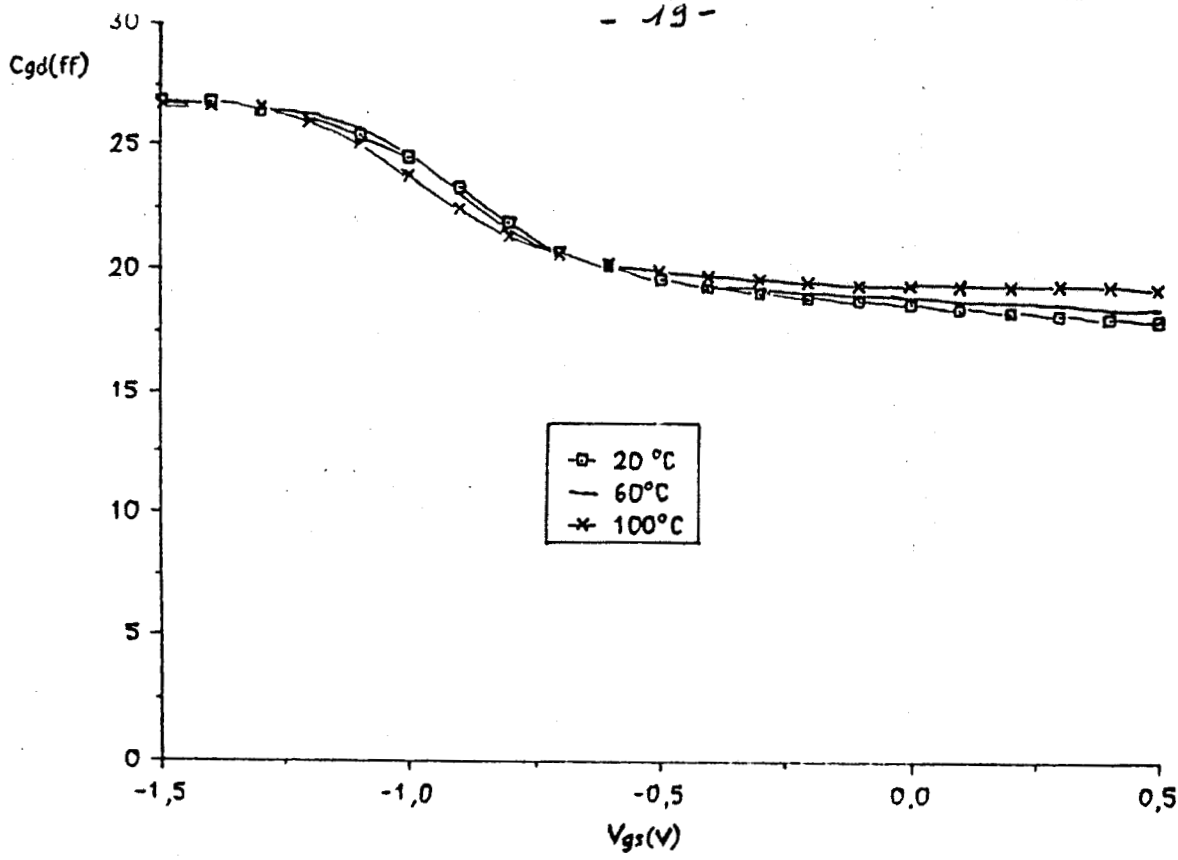


Fig. 18 : Evolution type de la capacité C_{gd} en exemple le 523T101

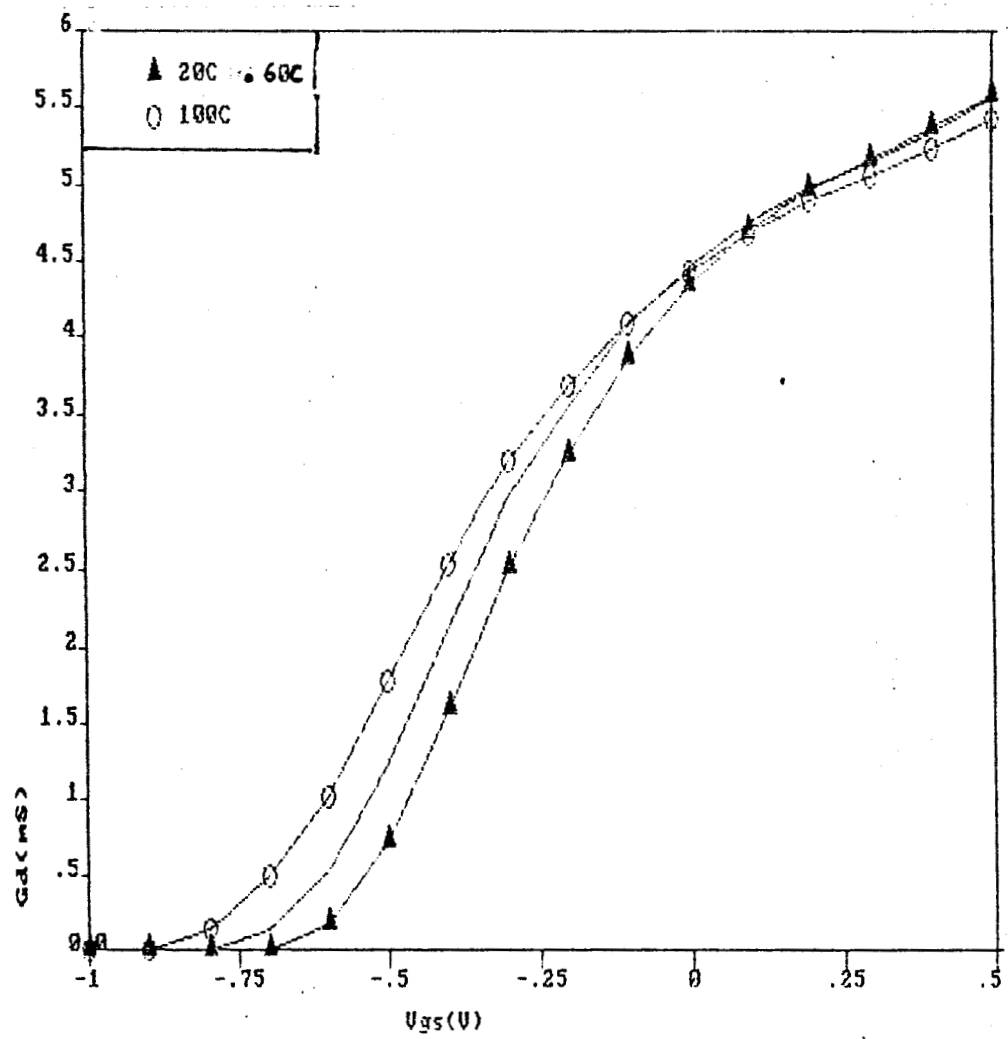


Fig. 19 : Exemple d'évolution en température du G_d ex : 3588 B n°10

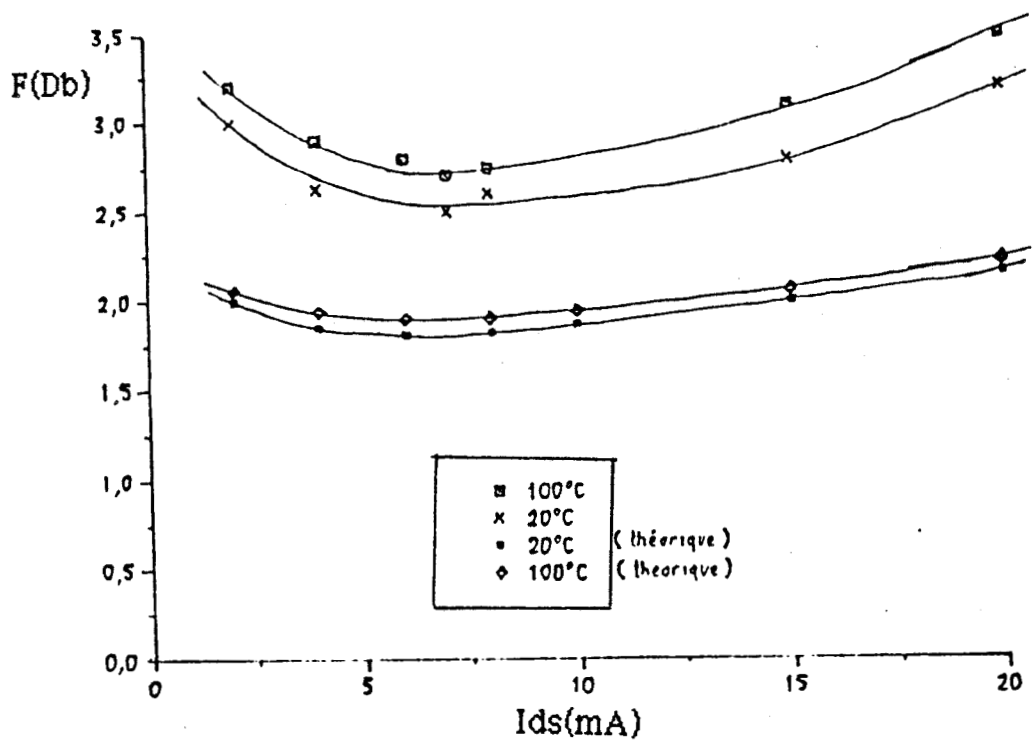


Fig. 20 : Facteur de Bruit en fonction de la température sur le TEGFET 3588 B n° 10

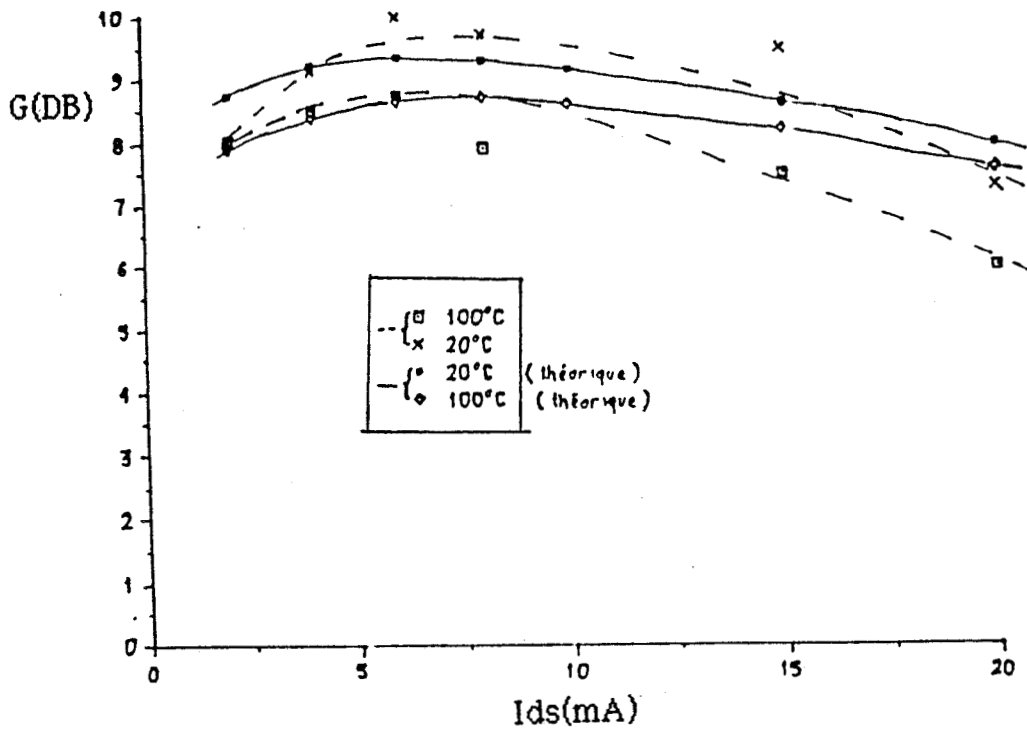


Fig. 21 : Gain Associé en fonction de la température sur le TEGFET 3588 B n° 10

Une dernière mesure a été abordée afin de mieux rendre compte des conséquences d'un échauffement thermique sur les performances du composant . C'est le facteur de bruit .

4) Facteur de Bruit

La partie expérimentale a été traitée en utilisant le banc de manipulation et le programme de dépouillement de Baghdad - (ref. 11) - . Vu les difficultés rencontrées , lors de l'expérimentation , la complexité de la manipulation et le temps qui nous était imparti , nous n'avons effectué qu'une série de mesures sur un TEGFET , alors qu'il aurait été intéressant de confronter les résultats obtenus sur MESFET et TEGFET ..

Il ressort des résultats de cette manipulation que le facteur de bruit , ainsi que son gain associé , ne s'altèrent pas de manière dramatique , lors d'un échauffement thermique - (fig. 20 , 21) - . Il est difficile de tirer d'autres remarques sur les résultats , la manipulation ayant été unique .

Pour la partie théorique , nous avons considéré l'expression analytique de Cappy - (ref. 9) - , tirée de celle de Fukui , qui s'écrit :

$$F_{\min} = 1 + f \cdot \sqrt{\frac{I_g}{f_c} \cdot 8 \cdot \pi \cdot (a \cdot W + b \cdot I_{ds}) (R_s + R_g)}$$

où a et b sont des constantes universelles et valent :

$$a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ SI} \quad b = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$$

Pour le gain associé , nous avons considéré la formule de Fukui , à savoir :

$$G = \left(\frac{f_c}{f}\right)^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot G_d \left(R_o + \frac{w \cdot l_s}{2}\right) + 2 \cdot w \cdot c \cdot G_d (R_o + R_g + w \cdot l_s)}$$

Conclusion

Il apparait , de cette étude préliminaire , que des phénomènes nouveaux surviennent au dessus de l'ambiante , altérant de ce fait les performances des TEGFET et MESFET . Il semblerait que le TEGFET en présente le plus , sans que , toute fois , cela ait des conséquences dramatiques

Le manque de renseignements concernant les évolutions des matériaux à base d'AsGa ou d'AlGaAs en " hautes " températures , constitue un problème lors de l'interprétation des résultats expérimentaux .

Deuxième Partie

Il était intéressant de réaliser , conjointement à l'étude expérimentale , une approche théorie par le biais de la simulation . Pour cela , Il était nécessaire que le programme tienne compte , dans la mesure du possible , du plus grand nombre de phénomènes physiques intervenant dans le fonctionnement des composants étudiés . Compte tenu du temps qui nous était imparti , pour mener à bien ces deux études , et vu l'existence au laboratoire de programmes satisfaisant à nos exigences , nous avons choisi de faire usage de l'un d'entre eux , en l'adaptant , si besoin est , à notre étude .

Nous avons ainsi choisi d'utiliser le programme de simulation mis au point par M^{me} Godts et M^r Depreuw .

1) Présentation du programme

Le programme s'exécute en deux grandes étapes :

* Dans un premier temps , il détermine les différentes populations électroniques existant sous la grille , ainsi que leurs propriétés en dynamique électronique en champs faibles .

* Une deuxième étape permet la détermination des phénomènes de transport de charge dans le canal conducteur suivant l'axe Drain-Source , et ainsi d'obtenir l'ensemble des caractéristiques du composant .

La souplesse du programme , ainsi que sa méthode de résolution , permettent d'envisager l'étude de presque tous les types de TEC , ayant ou non des hétérojonctions .

Ce programme tient compte , entre autre , de l'auto-échauffement du composant sous l'influence de la puissance continue qui lui est appliquée , du courant grille , l'influence des centres DX , le transfert dans l'espace réel ,

l'injection dans la couche tampon , l'influence des zones d'accès Drain-Source , la géométrie du composant ...

Tenant compte de l'autoéchauffement du composant , ce programme permet , dans une faible mesure tout fois , de travailler en dehors de la température ambiante . Comme nous travaillons dans une relativement grande plage de température , il a été nécessaire de mieux adapter ce programme aux circonstances .

II) Adaptation du programme pour des fonctionnements aux températures élevées

Lors des premiers usages de ce programme , il nous est apparu que l'on devait introduire les lois d'évolutions en température d'un certain nombre de paramètres . Aussi , faute de renseignements complémentaires et la partie expérimentale n'étant pas encore achevée , nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'évolution de la mobilité en faibles champs , ainsi qu'à celle de la structure de bande .

1) Evolution de la mobilité

Nous nous sommes référés , pour cette partie , aux travaux expérimentaux et théoriques de Aspnes , Blood et Fortini - (ref. 4 , 5 , 12) - . Ces travaux ont été essentiellement menés sur l'AsGa , or , comme nous l'on déjà fait remarquer , il est généralement supposé que les composés dérivés de l'AsGa , tel que l'AlGaAs , tant que leur taux d'alliage reste modéré , suivent des évolutions proches de l'AsGa . C'est sur cette hypothèse que nous nous sommes basés , faute de plus amples renseignements .

Il ressort ainsi de leur étude que la mobilité suivrait une loi en $T^{-1.25}$, pour les températures supérieures à l'ambiante . Nous avons donc appliqué ce résultat , à la fois au cas de l'AlGaAs et au gaz bidimensionnel .

De plus , il apparait de leurs études que la mobilité aurait une loi d'évolution , aux " hautes " températures , en $m^{-1.5}$ - (ref. 3 , 4 , 5) - au lieu de m^{-1} , comme initialement considéré dans le programme - où m représente la masse de l'électron dans le matériau - ..

2) Evolutions de la structure de bande

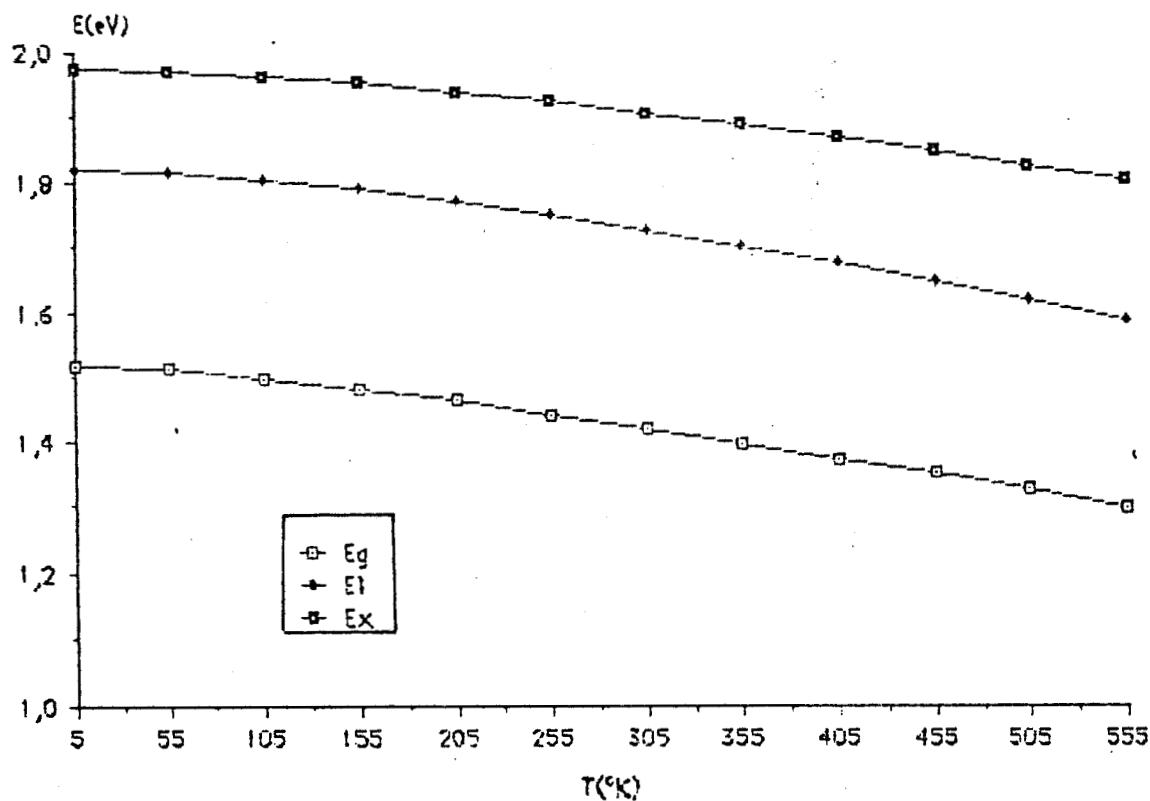


Fig 22

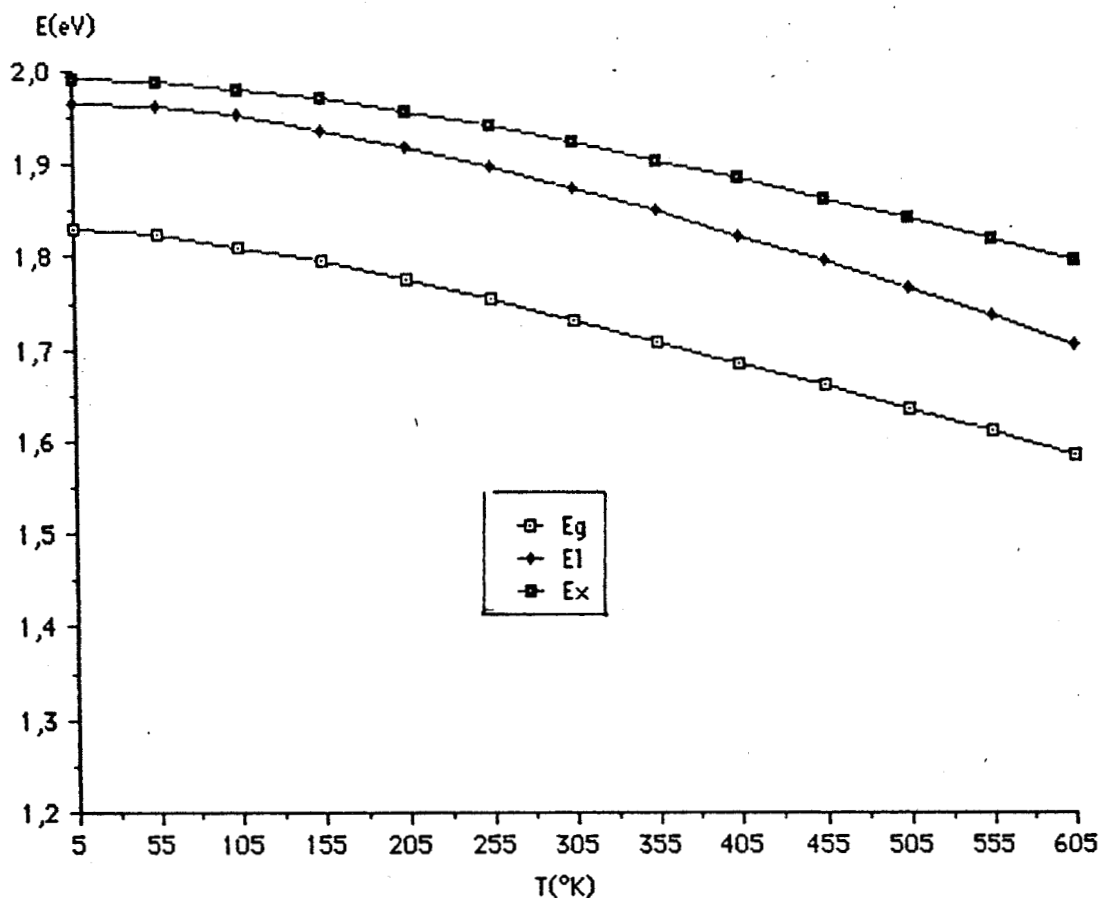


Fig 23

Fig.22 , 23: Evolution du minimum d'Énergie des bandes I , L , X en température dans l' $Al_xGa_{1-x}As$ exemples pris : Fig 22 : $x = 0$ Fig 23 : $x = 0,25$

Il est apparu à travers les travaux d'Aspnes et Lee - (ref. 5 , 13 , 14) - que la structure de bande évoluait dans des proportions non négligeables aux températures considérées et que leur loi d'évolution s'écrivait sous la forme - (fig. 22 , 23) - :

$$E_i(T) = E_i(0) - \frac{a_i \cdot T^2}{b_i + T}$$

où E_i représente le minimum d'énergie de la bande i , avec $i = \Gamma, L, X$

Comme ces auteurs avaient aussi fait ressortir l'évolution de la masse des électrons , dans ces différentes bandes , en fonction de la température , et que la masse résultante dans , l'AlGaAs , présentait une assez forte sensibilité vis à vis de la température , ceci dès l'ambiante et dès que le taux d'alliage devenait supérieur à 0,2 - (fig. 24) - , il nous est alors apparu judicieux d'en tenir compte dans le programme .

Ces considérations nous ont amené à tenir compte de l'influence de la bande X dans le calcul de la population électronique lors de l'échauffement du composant .

Enfin , il est apparu que , pour le calcul de cette population électronique , il était utile , aux températures considérées , de tenir compte de la non parabolicité de la bande Γ , étant fonction elle aussi de la température , - (ref. 10 , 15) - . La population en bande Γ est aussi donnée par l'équation suivante , qui prend en compte la dégénérescence du matériau :

$$n_{\Gamma} = N_c \cdot (F_{1/2}(n) + \frac{15 \cdot a \cdot k \cdot T}{4 \cdot E_{\Gamma}(T)} F_{3/2}(n))$$

où a représente le coefficient de non parabolicité

3) Premiers résultats de la simulation

Les figures 25 , 26 donnent un aperçu de résultats obtenus par cette simulation .

On peut remarquer un assez bon accord avec l'expérimentation bien que l'évolution de certains phénomènes n'ait pas encore été abordée , ou réajustée en tenant compte de résultats expérimentaux , .

Ainsi l'évolution en température de la capacité C_g est assez bien respectée , bien que dans certains cas - grand spacer et faible dopage , en particulier - l'évolution soit assez peu marquée comparativement à l'expérimentation - l'influence du spacer n'ayant pas , entre autre , été introduite - . Malgré tout , on peut estimer que l'évolution en température de la charge sous la grille est bien appréhendée . La simulation de la caractéristique statique laisse apparaître une certaine surestimation de

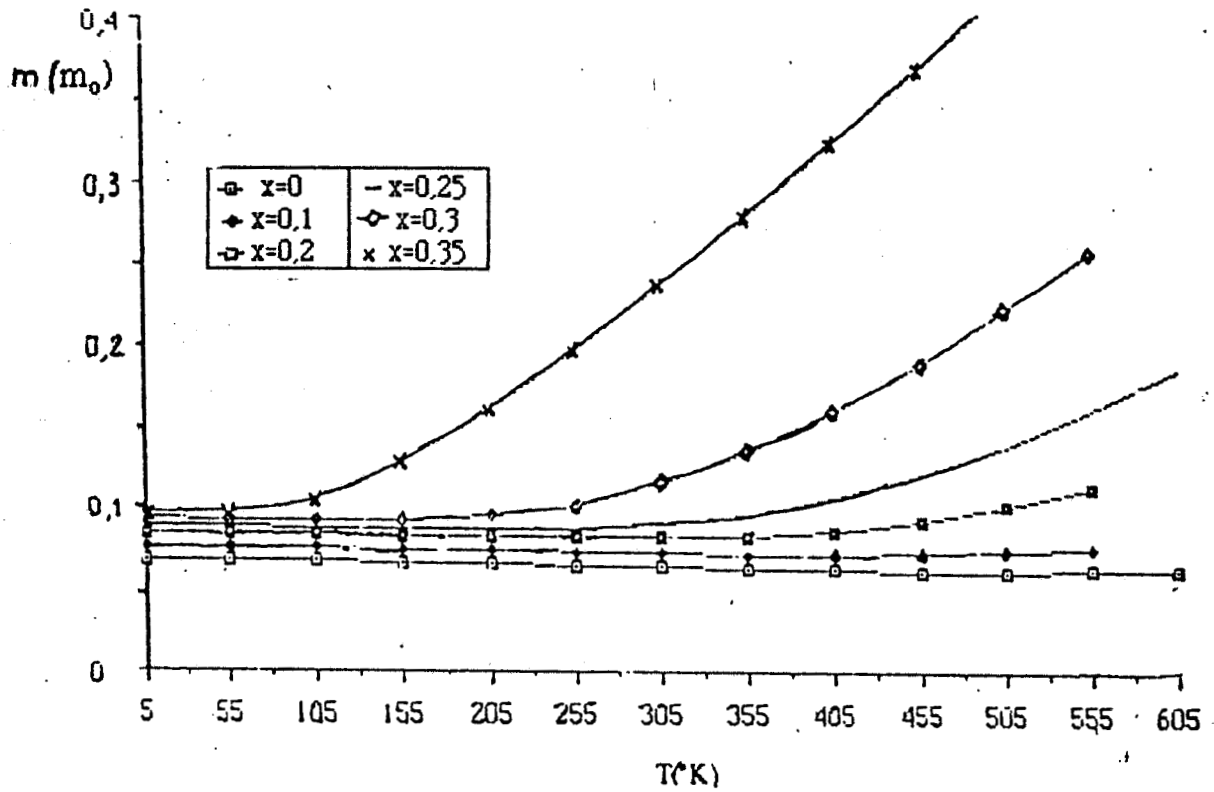


Fig. 24 : Evolution de la masse effective avec la température dans l' $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

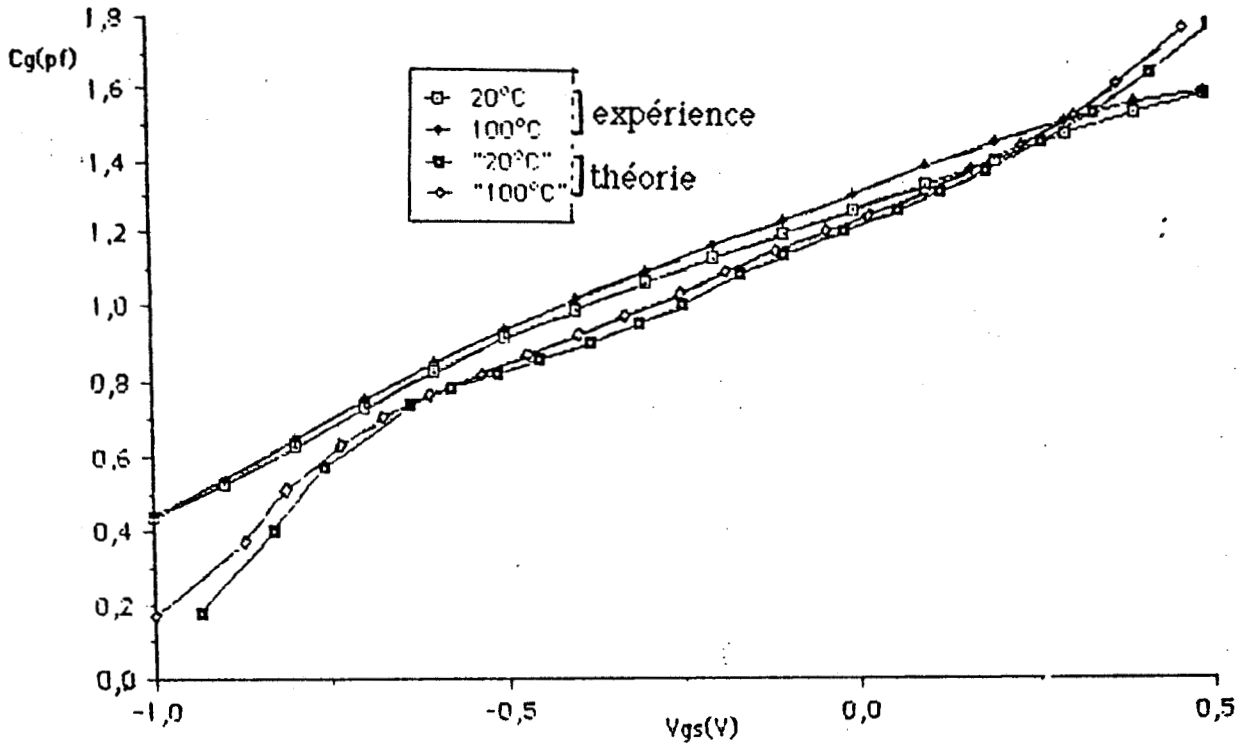


Fig. 25 : C(V) Confrontation théorie-expérience en exemple le TEGFET 112T306

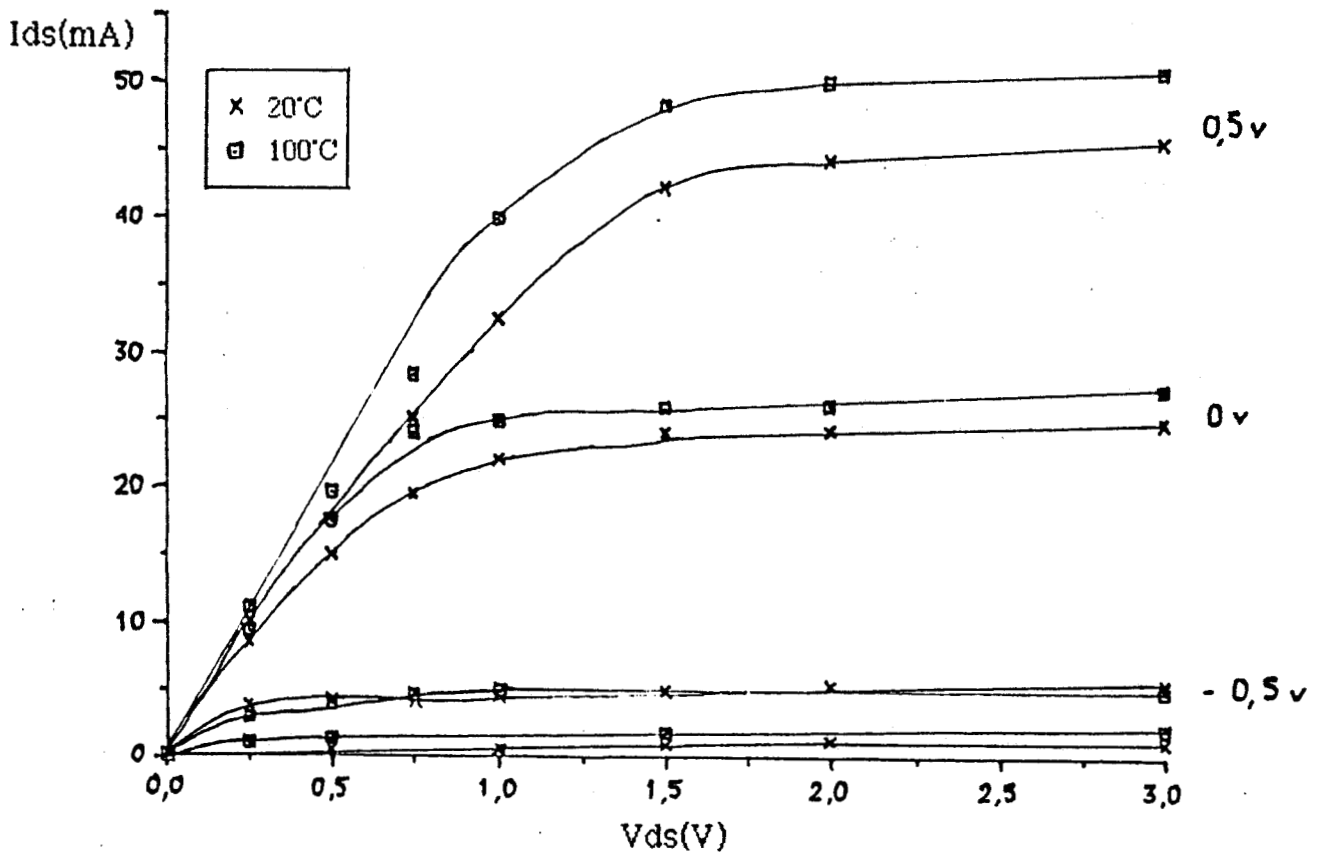


Fig. 26 : Simulation du $I_{ds}(V_{ds})$ en fonction de la température - simulation d'un TEGFET 112T306-

l'évolution du courant moyen à canal ouvert . Ceci provient du fait que nous avons considéré une loi d'évolution de la mobilité dans les différentes couches en $T^{-1.25}$, alors que l'expérimentation nous a fait apparaître une loi plus modérée . Or , comme à canal ouvert , la couche d'AlGaAs joue un rôle non négligeable sur le courant , et que , dans le programme , la décroissance de la mobilité a été surestimée dans cette couche , il n'est pas surprenant d'observer une diminution du courant plus marquée .

Ces résultats expérimentaux étant survenus tardivement , nous n'avons pas eu l'occasion d'en tenir compte dans le programme . Toute fois à l'avenir , nous comptons bien tirer profit , dans la limite du possible , de nos résultats expérimentaux en les appliquant à ce programme

Conclusion

Le fait d'avoir effectué une approche expérimentale , somme toute , complète , tant en type de caractérisations qu'en variété de structures étudiées - MESFET , TEGFET , MBE , MOCVD - , aura permis de faire un survol des phénomènes apparaissant lors d'un échauffement thermique , de les cerner et d'en déterminer les causes principales .

Il ressort de cette étude que les évolutions observées en température n'ont pas d'effets catastrophiques , au point de remettre en cause l'intérêt d'un composant au profil d'un autre , expérimentalement , bien que l'on constate une plus grande sensibilité à l'élévation de la température chez les TEGFET comparativement aux MESFET - telle qu'en ce qui concerne la mobilité - .

Bien que la littérature faisait très souvent défaut , ce qui aurait pu permettre un meilleur appui théorique , les phénomènes se sont révélés assez facilement explicables . Des relations de causes à effets ont pu être aussi mis en évidence , tel que l'influence du spacer , permettant déjà de donner un profil plus adapté au composant .

Certains points restent encore à vérifier . Ainsi , de nouvelles manipulations plus spécifiques pourraient permettre de confirmer ou d'éclaircir certaines hypothèses . Par exemple , pour vérifier , voir chiffrer , l'influence des effets d'injection par le buffer , il serait intéressant de caractériser des transistors présentant un superréseau ou une structure assimilable , étant reconnu qu'alors les effets d'injections deviennent quasiment inexistant , puis , de là , vérifier par la suite l'influence du spacer sur le V_p , toujours à partir de ces structures - si elles se révèlent satisfaisant - . De plus certains points n'ont pu être abordés , faute de disponibilité en composants , tel que l'influence du taux d'alliage , ce qui nécessitera de nouvelles prospections .

L'approche théorique aura fait apparaitre la difficulté de tenir compte d'un grand nombre de phénomènes , ce d'autant plus que l'on évolue en température . Nous pensons affiner cette approche et la développée dans un proche avenir .

Références Bibliographiques

- [1] Theis
Dx Centers in GaAs and AlGaAs : device instabilities and defect
Physics , 14th international symposium on GaAs and related
compounds , Héraklion (Crête) , 87 .
- [2] Windhorn and al.
High field temperature dépendent électron vélocities in GaAs
Appl. Phys. Lett. , 40 (6) , march 82
- [3] Saxéna
Electron mobility in $Ga_{1-x}Al_xAs$ alloys
Physical review B , Vol 24 , n°6
- [4] Blood
Electrical properties of n -type epitaxial at high températures
Physical review B , vol 6 , n°6
- [5] Aspnes
GaAs lower conduction-band minima : ordering and properties
Physical review B , vol 14 , n°12
- [6] Subramanian
Model for the température dependence of the threshold of
Modulation-Doped-Field-Effect-Transistors
IEEE Trans. Elect. Devices , vol ED 32 , n°5 , may 85
- [7] Godts
Modélisation et optimisation en vue de réalisations technologiques
de MESFET et de TEGFET AlGaAs/GaAs
Thèse de troisième cycle , Lille , 88
- [8] Drummond , Morkoc , Hess
Hall effect and mobility in hétérojunction layers
J. Appl. Phys. , 53 (2) , Feb. 82
- [9] Cappy

Propriétés physiques et performances potentielles des composants submicroniques à effet de champ : structures conventionnelles et à gaz bidimensionnel

Thèse de Doctorat d'état , Lille , 86

- [10] Blakemore
J. Appl. Phys. , 53 (1) , Jan. 82
- [11] Baghdad
Mémoire de DEA , Juillet 88
- [12] Fortini
Analysis of polar scattering of electrons in GaAs
J. Appl. Phys. , vol 41 , n° 7 , june 70
- [13] Lee and al.
Electron transport and band structure of $Ga_{1-x}Al_xAs$ alloys
Physical review B , vol 21 , n°2 , jan. 80
- [14] Lee and al.
Electrical transport and band structure of GaAs
Can. J. Phys. , 57 , 1979
- [15] Thobel
Simulation Monté Carlo de composants submicroniques à effet de champ et à hétérojonctions . Application au TEGFET et à ses structures dérivées
Thèse de troisième cycle , Lille , 88

